



ДЕСЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ)

# БУДУЩЕЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ РОССИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

25–28 сентября 2017 г.



Союз машиностроителей России



Московский государственный технический  
университет имени Н. Э. Баумана



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2017

УДК 621  
ББК 34.4  
Д25

Д25 **Десятая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России»** : сборник докладов. 25–28 сентября 2017 г. / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 673, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4791-6

В сборник включены доклады, представленные на Десятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», которая состоялась в сентябре 2017 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Структура сборника отражает тематическую направленность конференции. Тексты докладов размещены в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

УДК 621  
ББК 34.4

*Конференция проводится при финансовой поддержке РФФИ  
(грант № 17-08-20381 «г»)*

ISBN 978-5-7038-4791-6

© МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017



УДК 666.97

## Совершенствование технологии изготовления шпиндельной бабки металлорежущего станка

© | Дегтярева Анастасия Сергеевна  
Дьяконов Александр Анатольевич

asdegtyareva24@gmail.com  
sigma-80@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет), Челябинск, 454080, Россия

*Описаны этапы изготовления шпиндельной бабки металлорежущего станка из металлобетона, начиная с подбора оптимального состава, заканчивая изготовлением экспериментального образца.*

**Ключевые слова:** шпиндельная бабка, бетон, металлобетон, железобетон, металлорежущий станок.

Российский рынок металлорежущего оборудования на 80 % зависит от импорта, но каждый грамотный руководитель понимает, что станки — это основа любой отрасли промышленности. Данный факт делает развитие отечественного станкостроения важной и перспективной задачей. Конструкции из металлобетона известны давно и активно применяются в строительной отрасли, но при попытке использовать их в станкостроении для изготовления базовых элементов металлорежущего оборудования возник ряд трудностей, связанных с особенными требованиями к базовым элементам.

Деталь несущей системы станка после изготовления и завершения периода стабилизации деформаций усадки должна пройти необходимую механическую обработку и впоследствии работать в составе станка, воспринимая действия статических и динамических нагрузок и сохраняя при этом все параметры стабильности и точности рабочих поверхностей и крепежных отверстий [1, 2]. Необходимо обеспечить возможность получения бетонов, быстро набирающих прочность в процессе нормального твердения, что позволит им уже на третий день иметь прочность, позволяющую осуществлять распалубку изделия, а на 10–14-й день — эксплуатационную прочность, позволяющую выполнять механообработку металлических деталей металлобетонной конструкции.

Шпиндельная бабка является одной из базовых элементов металлорежущего станка. Основным критерием ее работоспособности является жесткость, которая

необходима для правильной работы механизмов, что влияет на точность обработки и виброустойчивость системы. Недостаточная жесткость часто вызывает необходимость снижения режимов резания, приводящего к уменьшению производительности и эффективности станка. Чтобы удовлетворить всем перечисленным выше требованиям, для шпиндельной бабки были разработаны составы бетонной смеси, которые состоят из растворной части в виде цемента (по ГОСТ 31108–2003), добавки и воды, а также крупного заполнителя в виде дробленного гранитного щебня различных фракций (по ГОСТ 8267–93) и мелкого заполнителя в виде фракционированного кристаллического песка (по ГОСТ 8736–2014).

Вид цемента выбран в соответствии с назначением конструкций и условиями их эксплуатации, требуемым классом бетона (марки), значением отпускной прочности бетона по ГОСТ 31108–2003. В качестве вяжущего вещества для изготовления металлобетонных базовых деталей станков применяется быстротвердеющий портландцемент типа ЦЕМ I 52,5Б, без каких-либо добавок в поставочном виде.

Одним из важных мероприятий для реализации высоких требований к бетонам, используемым при изготовлении металлобетонных базовых конструкций станков, является применение так называемых «зашебенистых» бетонных смесей. Для получения таких смесей рекомендуется увеличить расход крупного заполнителя (щебня). На основе проведенных исследований [3, 4] его принимают равным от 0,45 до 0,55 объемной массы бетонной смеси. В качестве крупного заполнителя для бетона применен фракционированный щебень по ГОСТ 8267–93 прочностью не ниже 100 МПа. Фракционирование крупного заполнителя должно осуществляться исходя из размеров базовых деталей станков и их элементов (стенок, полок, ребер и т. д.) и насыщенности этих деталей арматурой. Максимальный размер крупного заполнителя не должен превышать 3/4 наименьшего расстояния между стержнями арматуры. Поэтому для изготовления шпиндельной бабки станка, применен мелкозернистый бетон, для которого основным заполнителем являются крупнозернистые пески, содержащие до 35...40 % зерен крупностью до 7,5 мм. В качестве модифицирующих и пластифицирующих добавок в бетонную смесь рекомендовано вводить 10...20 % (от количества цемента в замесе) органоминерального модификатора типа МБ (МБ 10-01, Эмбелит 8-100 и др.), повышающего прочность бетона.

После проведенных расчетов получено шесть вариантов составов бетонной смеси: три с добавкой МБ-10-01 и три с Эмбелит 8-100. Для определения состава, наиболее удовлетворяющего предъявляемым требованиям, выполнены исследовательские испытания на определение прочности, деформации усадки, модуля упругости. В результате испытания составов бетонов для изготовления шпиндельной бабки получено, что классу бетона В60 соответствуют только три состава, удовлетворяющие требованиям по прочности при сжатии. Все составы бетонных смесей удовлетворяют требованиям по усадке, так как всем им свойственно незначительное увеличение линейных размеров.

Из бетонов подобранных составов были изготовлены три экспериментальных образца шпиндельной бабки с целью дальнейших исследовательских испытаний. Было отмечено увеличение производительности при изготовлении экспериментального образца из бетона по сравнению с аналогичной конструкцией из чугуна.

#### **Выводы.**

В результате проведенных исследований получены три состава бетонной смеси для изготовления шпиндельной бабки из металлобетона. Для выбора наиболее оптимального состава необходимы дополнительные исследования эксперименталь-

ных образцов шпиндельной бабки, изготовленных из полученных составов бетонных смесей.

Отмечено повышение производительности изготовления экспериментального образца шпиндельной бабки за счет сокращения числа операций механической обработки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России,  
соглашение № 14.577.21.0170 от 27.10.2015 г.  
(уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57715X0170).*

### Литература

- [1] Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Высокопрочные бетоны с органоминеральными модификаторами серии «МБ». *I Всероссийская конф. по проблемам бетона и железобетона.* Москва, 2001, с. 1019–1026.
- [2] Kardumian H., Kapriellov S. Shrinkage Controlling of Self Compacting High-Strength Concrete. *15 Internationale Baustofftagung.* Weimar, Deutschland, 2003, b. 2, pp. 513–523.
- [3] Щербаков Е.Н. О прогнозе величин деформаций ползучести и усадки тяжелого бетона на стадии проектирования конструкций. *Сб. трудов ЦНИИС.* Москва, Транспорт, 1969, вып. 70, 54 с.
- [4] Горчаков Г.И., Хигерович М.И. Вяжущие вещества, бетоны и изделия из них. Москва, Высшая школа, 1976.

## Improvement of Manufacturing Technology of the Headstock of the Machine Tool

© | Degtyareva A.S.  
Dyakonov A.A.

asdegtyareva24@gmail.com  
sigma-80@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, 454080, Russia

*This article describes the stages of manufacture of the headstock of the machine tool made of reinforced concrete: from the selection of optimum structure to manufacture the experimental sample.*

**Keywords:** *reinforced concrete, concrete mixtures, machine spindle headstock.*

УДК 621.993.2

## Исследование геометрических параметров резбовых фрез с винтовыми стружечными канавками

© | Карельский Александр Сергеевич

sakarel@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрено построение геометрической модели срезаемого слоя для резбовой гребенчатой фрезы с винтовыми стружечными канавками посредством CAD-программы. Исследовано влияние параметров фрезы, резьбы и подачи на зуб на колебания площади контакта передней поверхности фрезы со срезаемым слоем.*

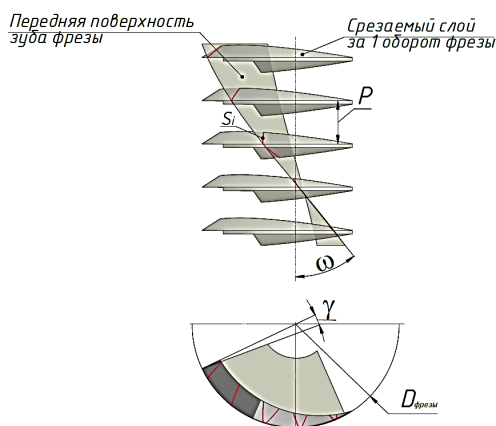
**Ключевые слова:** *резьбофрезерование, резбовая фреза, внутренняя резьба, сечение срезаемого слоя, угол наклона стружечной канавки.*

В настоящее время резьбофрезерование, наряду с получением резьбы другими способами механической обработки, имеет устойчивую область применения, связанную с рядом преимуществ, таких как обработка одним инструментом ряда типоразмеров диаметров резьбы одного шага, левой и правой, однозаходной и многозаходной резьбы, возможности легкого извлечения сломанного инструмента и других.

Однако, как и классическое фрезерование, резьбофрезерование сопровождается переменной силой резания, связанной с переменным сечением срезаемого слоя. Анализ литературных источников [1, 2] показал, что увеличение амплитуды колебаний силы при фрезеровании уменьшает стойкость инструмента и увеличивает высоту неровностей профиля обработанной поверхности. Основным способом уменьшения амплитуды колебаний является замена прямых стружечных канавок винтовыми. На основании существующего понятия «равномерности фрезерования» [1] в работе предложено понятие «равномерности резьбофрезерования», которое предлагается оценивать значением амплитуды колебания суммарного сечения срезаемого слоя при резьбофрезеровании. В отличие от классического фрезерования при резьбофрезеровании срезаемый слой является неравномерным по длине режущей кромки и вдоль угла контакта, что не позволяет рассчитать коэффициент равномерности для резбовой фрезы по известной формуле [1]. Поэтому было принято решение определить такое сочетание угла наклона винтовой стружечной канавки и числа зубьев фрезы, при котором коле-

бания площади контакта передней поверхности фрезы со срезаемым слоем будут минимальными.

Для этого в программе Autodesk Inventor 2014 (учебная версия) построена модель срезаемого слоя гребенчатой фрезой, представленная как совокупность резов однодисковой резбовой фрезы [3–5], и передняя винтовая поверхность ее зуба (см. рисунок). При вращении поверхности относительно оси фрезы имитировалось прохождение зуба через срезаемый слой. Поскольку наличие винтовых стружечных канавок в совокупности с передним и задним углами зубьев приводят к необходимости профилирования зубьев [6], принималось, что зубья фрезы профилированы и получаемая резьба соответствует требованиям стандарта.



Модель срезаемого слоя для гребенчатой резбовой фрезы

В местах контакта передней поверхности со срезаемым слоем определяют площадь  $S_i$  для каждого профиля на фрезе. Для анализа равномерности фрезерования, полученные значения суммируют и для суммарной контактной площади строят графики зависимости от угла контакта фрезы с заготовкой для разных значений угла наклона винтовой стружечной канавки  $\omega$  и числа зубьев  $z$  при фиксированных параметрах подачи на зуб, диаметра и шага нарезаемой резьбы и переднего угла в торцевом сечении зубьев инструмента.

В работе исследовано влияние входных параметров модели на амплитуду колебания суммарной площади сечения, таких как  $S_z$  — подача на зуб,  $P$  — шаг формируемой резьбы,  $D$  — диаметр формируемой резьбы,  $D_{\text{фрезы}}$  — диаметр фрезы,  $\gamma$  — передний угол фрезы. Также исследовано влияние входных параметров на суммарную максимальную площадь сечения срезаемого слоя и проведено ранжирование параметров на основании частных зависимостей.

Установлено, что наибольшее влияние на максимальное значение площади сечения оказывает шаг резьбы  $P$ , далее по убыванию влияния идут диаметр инструмента  $D_{\text{фрезы}}$ , подача  $S_z$ , номинальный диаметр резьбы  $D$  и длина фаски профиля зуба  $f$ .

### Литература

- [1] Грановский Г.И., Грановский В.Г. *Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов*. Москва, Высшая школа, 1985, 304 с.

- [2] Андреев В.Н., Боровский Г.В., Боровский В.Г., Григорьев С.Н. *Инструмент для высокопроизводительного и экологически чистого резания. Сер. «Библиотека инструментальщика»*. Москва, Машиностроение, 2010, 480 с.
- [3] Мальков О.В., Головки И.М. Моделирование силы резания при резьбофрезеровании. *Будущее машиностроения России: Сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, с. 24–25.
- [4] Головки И.М., Карельский А.С., Мальков О.В. Математическое моделирование срезаемого слоя при резьбофрезеровании. *Будущее машиностроения России: Сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, с. 17–20.
- [5] Мальков О.В. Исследование точности резьбы при резьбофрезеровании сверло-резьбофрезой. *«Наука и образование. Инженерное образование», Электронный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2007, № 11. [Электрон. ресурс]. <http://technomag.bmstu.ru/doc/68985.html> (дата обращения 10.02.2016).
- [6] Мальков О.В. Профилирование зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками. *«Наука и образование. Инженерное образование», Электронный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2013. № 6. [Электрон. ресурс]. <http://technomag.bmstu.ru/doc/579350.html> (дата обращения 01.06.2013). DOI: 10.7463/0613.0579350.

## Mathematic modeling of theoretical chip for thread milling

© | Karelskiy A.S.

sakarel@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In this article is presented geometric modeling for section parameters of theoretical chip, which describe in case of internal thread milling by cutter screw shaving grooves, also is researched influence of thread features, tool parameters and parameters of the milling on the vibration when cutting.*

**Keywords:** thread milling, thread mill, internal thread, theoretical chip, screw shaving grooves.

УДК 621.914.22

## Определение коэффициента удельной силы резания при фрезеровании однозубой фрезой

© | Ларин Николай Александрович  
Потапова Мария Сергеевна

nixon-lar@yandex.ru  
legenda12@bk.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Предположен и обоснован метод определения коэффициента удельной силы резания и значения крутизны удельной силы для вертикальной составляющей при фрезеровании однозубой фрезой. Показано, что данный метод позволяет сократить время эксперимента и затраты на обрабатываемый материал.*

**Ключевые слова:** удельная сила резания, однозубая фреза, силы резания.

Для определения удельной силы резания используют формулу [1, 2]:

$$k_c = k_{c1.1} b a^{1-m},$$

где  $k_{c1.1}$  — удельная сила резания при толщине сечения срезаемого слоя  $a = 1$  мм, Н;  $b$  — ширина сечения срезаемого слоя, мм;  $1 - m$  — значение крутизны удельной силы для вертикальной составляющей.

Точность исследования зависимости коэффициента  $k_{c1.1}$  от толщины сечения срезаемого слоя  $a$  повышалась при увеличении количества подач. Для каждого сечения подачи получали только одну экспериментальную точку. Было предположено что определить коэффициент  $k_{c1.1}$  и показатель степени  $m$  при фрезеровании на одном режиме. Изменение толщины сечения срезаемого слоя послужит для получения зависимости удельной силы резания от толщины стружки, причем количество экспериментальных точек тем больше, чем выше частота съема данных динамометра.

Эксперимент проводился на вертикально-фрезерном станке мод. 6Р-12. В качестве заготовки использована плита из материала Д16 с габаритными размерами Д×Ш×В 320×120×10 мм. Установка представлена на рис. 1. Силы фиксировались с помощью многокомпонентного динамометра *Kistler* [3–5]. Было проведено четыре эксперимента при встречном фрезеровании со следующими режимными параметрами: частота вращения  $n = 100$  об/мин, глубина резания  $t = 1$  мм, ширина фрезерования  $B = 190$  мм (угол контакта  $\psi = 180^\circ$ ), минутная подача  $S_{\text{мин}} = 35; 53; 65; 85$  мм/мин, частота съема данных  $\nu = 2000$  Гц. Диаметр фрезы  $D = 190$  мм, количество зубьев  $z = 1$ .



Рис. 1. Экспериментальная установка

Касательную силу резания рассчитывают в зависимости от угла контакта  $\psi$  по следующим формулам (1), (2):

$$F_{ci} = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2} \cos \left( \psi_i - \arctg \frac{F_{yi}}{F_{xi}} \right) \text{ для } \psi_i = 0 \dots 90^\circ; \quad (1)$$

$$F_{ci} = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2} \cos \left( \psi_i - \pi - \arctg \frac{F_{yi}}{F_{xi}} \right) \text{ для } \psi_i = 90 \dots 180^\circ, \quad (2)$$

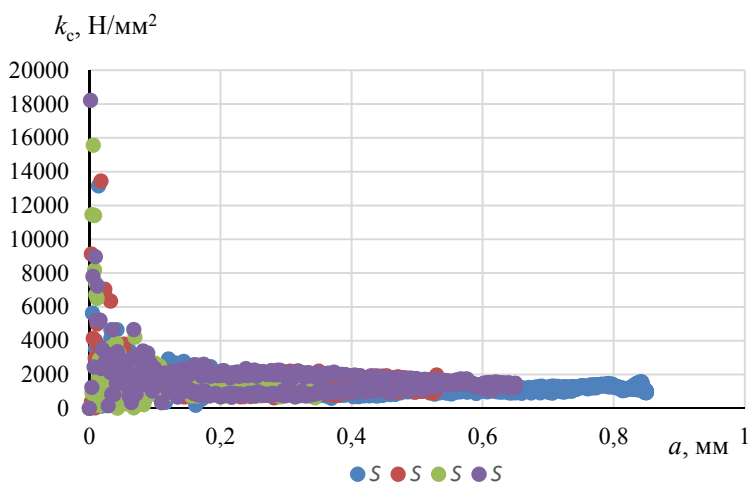
где  $F_x, F_y$  — составляющие силы резания по оси  $x$  и  $y$  в соответствии с установкой динамометра.

По полученным данным определяют удельную силу резания:

$$k_{c1.li} = \frac{F_{ci}}{ba_i},$$

где  $a_i = \frac{S_{\text{мин}}}{n} \sin \psi_i$ ;  $b = t = 1$  мм.

На рис. 2 представлена зависимость удельной силы резания от толщины сечения срезаемого слоя, полученной вдоль одной «запятой» по длине стружки для различных подач.



**Рис. 2.** Зависимость удельной силы резания от толщины сечения срезаемого слоя

Из рис. 2 следует, что при толщине сечения срезаемого слоя  $a < 0,1$  мм имеется большой разброс и нельзя с достаточной точностью определить требуемые параметры. По полученным данным среднее значение  $k_{c1.1} = 800$  Н/мм<sup>2</sup>, в [2] для алюминиевых сплавов с пределом прочности до 600 МПа  $k_{c1.1} = 780$  Н/мм<sup>2</sup>.

### Литература

- [1] *Справочник по технологии резания материалов*. Пер. с нем. под ред Ю.М. Соломцева. Москва, Машиностроение, 1985.
- [2] *Maching Handbook*. [электрон. ресурс] <http://www.cnc-trainer.com/downloads/garant-maching-handbook.pdf> (дата обращения 15.08.1917).



- [3] Виноградов Д.В., Древаль А.Е., Васильев С.Г. Комплекс для оценки износостойкости материалов и сил резания при точении. *Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.*, 2014, № 09, с. 33–42. [электрон. ресурс] <http://engbul.bmstu.ru/doc/727928.html> (дата обращения 01.06.2016).
- [4] Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В. Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.*, 2014, № 12, с. 22–58. [электрон. ресурс] <http://technomag.bmstu.ru/doc/749286.html> (дата обращения 01.06.2016), DOI: 10.7463/1214.0749286.
- [5] Мелкерис Т.В., Виноградов Д.В. Определение силы резания для криволинейного сечения срезаемого слоя. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 12, с. 124–135. DOI: 10.7463/1114.0740472.

## Irregularity Cutting Force for Cutting with Serrated End Mills at Different Feeds and Depth of Cut

© | Larin N.A.  
Potarova M.S.

nixon-lar@yandex.ru  
legenda12@bk.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The cutting force change during milling with serrated end mill is studied. Using the ratio of the amplitude of cutting force oscillation to its average value for the milling irregularity evaluation is proposed. It is founded that the uniformity of the milling with serrated end mills is achieved if the wave cutting edge step to fit whole number of times in the depth of cut magnitude.*

**Keywords:** *specific cutting force, single-tooth cutter, the cutting force.*

621.91.01:02

## О путях создания высокоэффективного режущего инструмента

© | Леквеишвили Мария Анатольевна<sup>1</sup>  
Оленин Леонид Дмитриевич<sup>2</sup>

m.shaparovskaya@mail.ru  
olenin003@mail.ru

<sup>1</sup>Московский политехнический университет, Москва, 107023, Россия

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены результаты стойкостных сравнительных испытаний концевых фрез, спроектированных и изготовленных на основе аналитической методики расчета оптимальной геометрии вращающегося инструмента, и стандартных фрез.*

**Ключевые слова:** *фрезы, режущий инструмент, косоугольное резание, деформационное упрочнение, удельная работа разрушения, пластическая деформация, контактное трение, вращающийся инструмент.*

Развитие технологии в области создания новых обрабатываемых материалов накладывает особые требования для их обработки. Так, одной из основных проблем при фрезеровании лопатки является низкая стойкость инструмента. Наряду с применением новых инструментальных материалов и износостойких покрытий стойкость инструмента повышают за счет оптимизации геометрии режущей части.

Оптимальную геометрию режущей части фрезы обычно отрабатывают опытным путем — это надежный и универсальный метод, но вместе с тем весьма дорогостоящий и трудоемкий. Кроме того он требует дополнительного расхода обрабатываемого материала уже на этапе создания инструмента.

Уменьшить затраты и существенно сократить сроки создания инструмента и подготовки производства можно за счет использования при проектировании инструмента расчетных методик, основанных на физических моделях процесса резания.

В докладе представлены результаты сопоставительных стойкостных испытаний концевых фрез, созданных на основе расчетной методики прогноза оптимальной геометрии вращающегося инструмента, и стандартных фрез.

В основе методики лежит аналитическая модель косоугольного резания материала, обладающего деформационным упрочнением [1, 2]. Решение рассматривает резание как процесс непрерывного пластического деформирования материала, обладающего деформационным упрочнением. Анализ выполнен энергетическим методом, что позволяет учесть мощность разрушения, связанную с образованием двух новых поверхностей в плоскости резания, что невозможно при анализе процесса резания в статике [3]. Кроме того, модель учитывает влияние угла наклона главной режущей кромки на силовые параметры резания, поэтому она пригодна для анализа резания вращающимся инструментом. Как известно, чтобы надежно удалять стружку, резание вращающимся инструментом, как правило, выполняют с углом наклона режущей кромки.

На основе модели косоугольного резания создана методика расчета резания вращающимся инструментом с торцевым и боковым зубом, позволяющая прогнозировать оптимальные геометрические параметры режущей части концевой фрезы. Методика позволяет корректно учесть изменение кинематических углов в зависимости от фазы расположения зуба, а также величины и направления подачи.

На основании разработанной методики были спроектированы и изготовлены концевые фрезы и проведены их стойкостные сравнительные испытания на производственных площадях фирмы ООО «Завод точного машиностроения (ИННОМАШ)». Работа фрез сравнивалась с работой двух стандартных фрез. Геометрические параметры фрез следующие:

- фрезы, предложенные авторами: передний угол на боковой режущей кромке  $\gamma_6 = 5^\circ$ , передний угол на торцевой режущей кромке  $\gamma_6 = 2^\circ$ ;
- фреза фирмы Sandvik —  $\gamma_6 = 10^\circ$ ,  $\gamma_T = 12^\circ$ ;
- фреза Кривоухова В.А. [4] —  $\gamma_6 = 5^\circ$ ,  $\gamma_T = 0^\circ$ .

Испытания проводили на титановом сплаве ВТ6 со следующими механическими характеристиками:

- твердость HB = 301;
- удельная работа распространения трещины  $a_p = 43,463$  кгс/мм;
- истинный предел текучести на входе и выходе с выделенного участка кривой упрочнения —  $\sigma_1 = 110,14$  кгс/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_2 = 116,22$  кгс/мм<sup>2</sup> соответственно;
- предел прочности обрабатываемого материала  $\sigma_B = 100$  кгс/мм<sup>2</sup>;
- константа, характеризующая склонность материала к упрочнению  $B = 0,074$ .

Рассмотрены два случая фрезерования — уступа и кармана с предварительным засверливанием.

Установлено, что фрезы, сконструированные на основе аналитической методики прогноза оптимальной геометрии вращающегося инструмента, показали результаты, не хуже стандартных фрез.

Таким образом, методика обеспечивает прогноз оптимальной геометрии и может быть использована при проектировании вращающегося инструмента с торцевым и боковым зубом. Данная методика позволяет существенно сократить сроки производства и снизить затраты на начальном этапе проектирования.

### Литература

- [1] Оленин Л.Д. К анализу механики резания упрочняемого материала. Стружкообразование. *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2008, № 1 (2), с. 183–190.
- [2] Оленин Л.Д., Сторчак М.Г., Леквеишвили М.А. К разработке аналитической модели ко-соугольного резания. *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2014, № 1 (2), с. 123–128.
- [3] Максимов Ю.В., Оленин Л.Д., Шапаровская М.А. Сопоставительный анализ методов расчета процесса резания (к разработке аналитической методики расчета процесса резания). *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2011, № 1 (11), с. 159–169.
- [4] Кривоухов В.А., Чубаров А.Д. Обработка резанием титановых сплавов. Москва, Машиностроение, 1970, 180 с.

## On the Ways of Creating a Highly Efficient Cutting Tool

© | Lekveishvili M.A.<sup>1</sup>  
Olenin L.D.<sup>2</sup>

m.shaparovskaya@mail.ru  
olenin003@mail.ru

<sup>1</sup> Moscow polytech, Moscow, 107023, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In this paper the results of comparison testing end mills, designed and produced based on the analytical method of calculating the optimal geometry of a rotating tool, and standard end mills, are given.*

**Keywords:** *milling cutter, cutting tool, oblique cutting, strain hardening, specific fracture performance, plastic deformation, contact friction, rotating tool.*

УДК 621.914

## Разработка программы определения сечения срезаемого слоя и силы резания при фрезеровании фрезой с волнистой режущей кромкой

© | Миненков Сергей Игоревич

nzpv11@jmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлено методическое алгоритмическое обеспечение и компьютерная программа для определения формы и размеров криволинейного сечения срезаемого слоя,*

*образующегося при фрезеровании фрезой с волнистой режущей кромкой, а также расчета действующей на фрезу окружной силы резания. С помощью программы находят лучшую форму и размеры волнистой режущей кромки, а по ним рассчитывают силу, действующую на фрезу, что позволяет увеличивать глубину фрезерования без потери прочности фрезы и, следовательно, повышать производительность фрезерования.*

**Ключевые слова:** черновая фреза, волнистая режущая кромка, сила резания, сечение срезаемого слоя.

Для черновой обработки заготовок характерен большой припуск, который при использовании концевых фрез, имеющих ограничения по прочности, удаляется за несколько проходов. Увеличение глубины резания позволит уменьшить число проходов, повысить производительность и снизить себестоимость обработки. Увеличения толщины снимаемого за один проход материала можно добиться применяя концевые фрезы с волнистыми режущими кромками [1], использование которых целесообразно только на операциях, характеризующихся повышенным съемом материала и невысокими требованиями к шероховатости обработанной поверхности [2] (обычно, это черновые операции).

Применение фрез с волнистой режущей кромкой упирается в одну проблему: производители обычно не указывают параметры режимов резания, с которыми следует эксплуатировать такие фрезы. Для правильного назначения глубины резания и подачи можно использовать силы резания, действующие на фрезу, и при уменьшении силы пропорционально увеличивать глубину резания. Проведенные ранее исследования [3], показав целесообразность такого подхода, выявили большую трудоемкость определения размеров криволинейного сечения срезаемого слоя, образующегося при использовании фрезы с волнистой режущей кромкой. Причем форма и размеры сечения меняются при изменении подачи и параметров волны режущей кромки [4]. Поэтому разработка компьютерной программы для автоматизирования расчетов, является актуальной задачей.

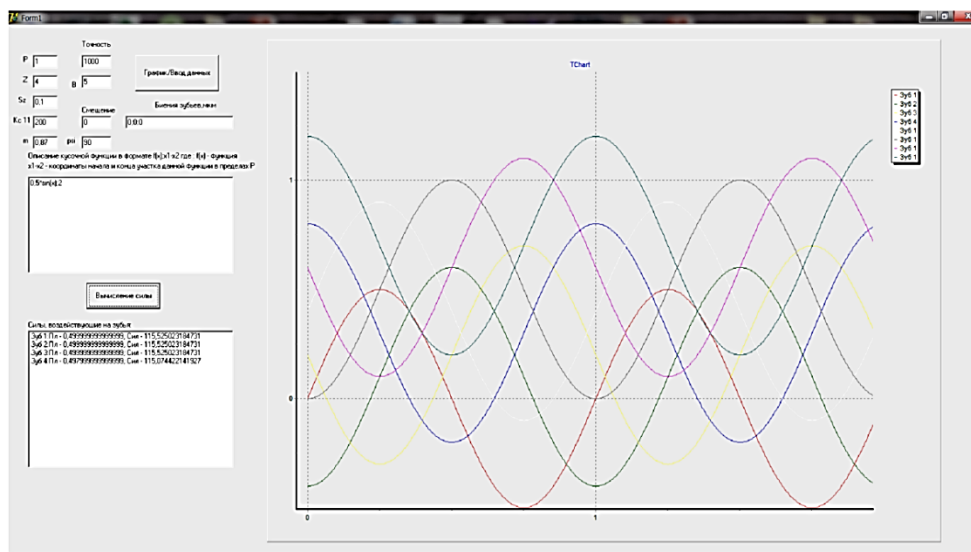
Программа имеет интерфейс, позволяющий вводить в качестве переменных подачу на зуб фрезы, глубину фрезерования, число зубьев фрезы, а также параметры, характеризующие форму и размеры волнистой режущей кромки (см. рисунок). В качестве «базовой» взята режущая кромка, описываемая функцией «синус» [3], но возможно введение в программу любой другой формы режущей кромки, описываемой каким-либо уравнением, например частью параболы, прямыми и др., или даже режущей кромки, состоящей из частей разных функций.

Для расчета силы резания использована зависимость [5]

$$P = K_{C1.1} a^{1-m} b,$$

где  $a$ ,  $b$  — толщина и ширина сечения срезаемого слоя;  $K_{C1.1}$  — удельная сила резания, приходящаяся на сечение срезаемого слоя размером  $1 \times 1$  мм.

Результатами работы программы являются схема срезания припуска разными зубьями фрезы (см. рисунок) и силы резания, действующие на каждый зуб фрезы. При этом программа учитывает неравномерность площади сечения слоя, срезаемого каждым зубом, и рассчитывает неравномерность фрезерования, что позволяет определять максимальную силу резания и возможное увеличение глубины резания по сравнению с работой фрезой с «гладкой» режущей кромкой.



Общий вид интерфейса программы

Корректность работы программы подтверждена сравнением полученных результатов с информацией, изложенной в [3], и экспериментальными данными, полученными при фрезеровании в ходе исследований на кафедре «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана с использованием современного контрольно-измерительного комплекса [6, 7].

Разработанная программа может быть использована в научных исследованиях и инженерных расчетах, например, для определения наилучшей формы режущей кромки, оптимизации параметров режима резания и др.

### Литература

- [1] Потапова М.С., Виноградов Д.В. Обзор фрез с криволинейной режущей кромкой. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 11, с. 21–33. DOI: 10.7463/1114.0740472.
- [2] Потапова М. С., Матасова Е.Ю., Виноградов Д.В. Высота неровностей на поверхности после обработки фрезой с волнистой режущей кромкой. *Известия вузов. Сер. Машиностроение*, 2016, № 7, с. 19–27.
- [3] Мелкерис Т.В., Виноградов Д.В. Определение силы резания для криволинейного сечения срезаемого слоя. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 12, с. 124–135. DOI: 10.7463/1114.0740472.
- [4] Потапова М. С., Виноградов Д.В. Компьютерное моделирование рельефа поверхности, обработанной фрезой с криволинейной режущей кромкой. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2015. №6. С.42–55. DOI:10.7463/0615.0778064
- [5] Справочник по технологии резания материалов. В 2 кн. Кн. 1 / Ред. нем. изд. Г. Шпур, Т. Штефферле; пер. с нем. В.Ф. Колотенкова и др. Под ред. Ю.М. Соломенцева. Москва, Машиностроение, 1985, 616 с.
- [6] Виноградов Д.В., Древаль А.Е., Васильев С.Г. Комплекс для оценки износостойкости материалов и сил резания при точении. *Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2014, № 09, с. 33–42. [Электрон. ресурс]. <http://engbul.bmstu.ru/doc/727928.html> (дата обращения 01.07.2017).

- [7] Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В. Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 12, с. 22–58. DOI: 10.7463/1214.0749286.

## **Development Program Determine the Cross-Section Cutting Layer and the Cutting Forces when Milling with a Milling Cutter with a Wavy Edge**

© | Minenkov S. I.

nzpv11@jmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Methodical, algorithmic support and software for determining the shape and size of the curved cross section of the shear layer formed during the milling cutters with wavy cutting edge, and calculate the force on the cutter circumferential cutting forces. The program allows you to determine the best shape and size of the wavy cutting edge, and for them to calculate the force acting on the cutter. This allows to increase the cutting depth without sacrificing strength of the cutter and, consequently, to improve milling performance.*

**Keywords:** rough mill, a wavy cutting edge, cutting force, cross-section cutting layer.

УДК 621.923.9

**Теоретические подходы к проектированию циклов механической обработки**© | Акинцева Александра Викторовна  
Алсигар Масар Кадимakintseva\_av@mail.ru  
masar8937@gmail.com

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, 454080, Россия

*Представлены основные теоретические подходы к проектированию оптимальных циклов механической обработки, позволяющие осуществлять комплексную оптимизацию параметров управления циклом. В качестве математического метода оптимизации использован метод динамического программирования, который можно применить для комплексной оптимизации цикла обработки в многомерном пространстве параметров управления при любом количестве ограничений, проверяемых на каждом шаге направленного перебора вариантов расчета.*

**Ключевые слова:** *параметры управления циклом, оптимизация, метод динамического программирования.*

Появление современных станков с числовым программным управлением (ЧПУ), позволяющих производить обработку по циклам и на повышенных режимах резания, выявило в машиностроительной отрасли России проблему отсутствия нормативно-справочной литературы и методик для проектирования оптимальных циклов. В результате производственная мощность современных станков с ЧПУ используется лишь на 40...60 %. Часто производительность данных станков ниже, чем на универсальных станках, особенно при малых партиях деталей.

Под циклом обработки понимается совокупность параметров управления, которые изменяются во времени и зависят от значения снимаемого припуска. Параметры управления циклом оказывают решающее влияние на точность и качество обрабатываемой поверхности, а также на производительность процесса механической обработки.

Выделим четыре основных группы параметров управления циклом и рассмотрим их на примере внутреннего шлифования. В *первую группу* входят структурные составляющие цикла, а именно количество его ступеней, распределение припуска по ступеням цикла. Ко *второй группе* относятся режимы резания — радиальная и осевая

подачи, число оборотов заготовки, скорость круга. *Третья группа* включает в себя параметры инструмента — характеристику шлифовального круга. *Четвертая группа* является достаточно обширной, в нее входят параметры наладки (значение перебега круга, вылет оправки и др.). Количество параметров управления циклом исчисляется десятками и находится в зависимости от структуры цикла. Например, для трехступенчатого цикла количество параметров управления равно 21.

При проектировании цикла исходными данными служат чертеж детали, карта эскизов, операционная карта, сведения об заготовки, номенклатура и паспортные данные станков, номенклатура и характеристики инструмента и другие параметры (см. рисунок). Цикл ограничивается множеством факторов: требованиями чертежа по точности и качеству, стойкостью инструмента и т. д. Исходные данные могут служить как параметрами управления циклом, так и ограничениями. Выходными данными цикла являются показатели процесса (основное время, себестоимость, время цикла и др.), оптимальные параметры управления, показатели точности и качества.



Структурная схема формирования цикла

Решением проблемы низкоэффективного использования станков с ЧПУ является разработанная авторами данной статьи теория проектирования оптимальных циклов механической обработки, позволяющая одновременно проводить оптимизацию комплекса управляющих параметров управления циклом [1, 2]. Основой данной теории служит математическая модель управления процессом обработки, адекватно описывающая процесс съема металла с использованием всего комплекса управляющих параметров как при всех возможных сочетаниях основных технологических факторов, так и в широких диапазонах их допустимого варьирования.



В качестве математического метода оптимизации используется метод динамического программирования (МДП), не требующий предварительного построения границ области допустимых ограничений и не являющийся чувствительным к свойствам моделей управления и ограничений [3]. Этот метод не ограничивает количество оптимизируемых параметров управления. В результате становится возможным не только проектирование структуры оптимального цикла, но и проведение комплексной оптимизации управляющих параметров цикла всех перечисленных выше четырех групп. Увеличение числа оптимизируемых параметров приводит к усложнению процесса оптимизации. В качестве критерия оптимальности применяется минимальное время обработки, что в свою очередь обеспечивает оптимальность процесса обработки.

#### **Вывод.**

Предлагаемая теория проектирования оптимальных циклов механической обработки [1, 2]:

- позволяет охватывать все виды операций механической обработки, выполняемых на станках с ЧПУ;
- базируется на развитии применения МДП для комплексной оптимизации цикла в многомерном пространстве параметров управления при любом количестве ограничений, проверяемых на каждом шаге направленного перебора вариантов расчета.

#### **Литература**

- [1] Переверзев П.П., Акинцева А.В. Теория проектирования оптимальных циклов для металлорежущих станков с ЧПУ. Ч. 1. *СТИН*, 2017, № 1, с. 11–18.
- [2] Переверзев П.П., Акинцева А.В. Теория проектирования оптимальных циклов для металлорежущих станков с ЧПУ. Ч. 2. *СТИН*, 2017, № 2, с. 13–18.
- [3] Беллман Р. Динамическое программирование. Москва, изд-во иностранной литературы, 1960, 400 с.

## **Theoretical Approaches to Design of Cycles of Mechanical Processing**

© | Akintseva A.V.  
Alsigar M.K.

akintseva\_av@mail.ru  
masar8937@gmail.com

South Ural State University, Chelyabinsk, 454080, Russia

*The basic theoretical approaches to design of optimal machining cycles which allow optimization of complex control parameters for cycle (number of stages, selection of efficient cutting conditions and tools, optimizing the geometric parameters of cutting, fundamentals of the selection of cutting tool geometry parameters, process parameters, etc). Also, mathematical optimization method a way to describe a dynamic programming which are methods used to solve complex optimization in multidimensional parameters space for any number of restrictions with calculation options.*

**Keywords:** cycle control parameters, optimization, method of dynamic programming.

УДК 621.922

## Повышение эффективности операций шлифования на основе учета работоспособности шлифовальных кругов

© | Ардашев Дмитрий Валерьевич

ardashevdv@susu.ru

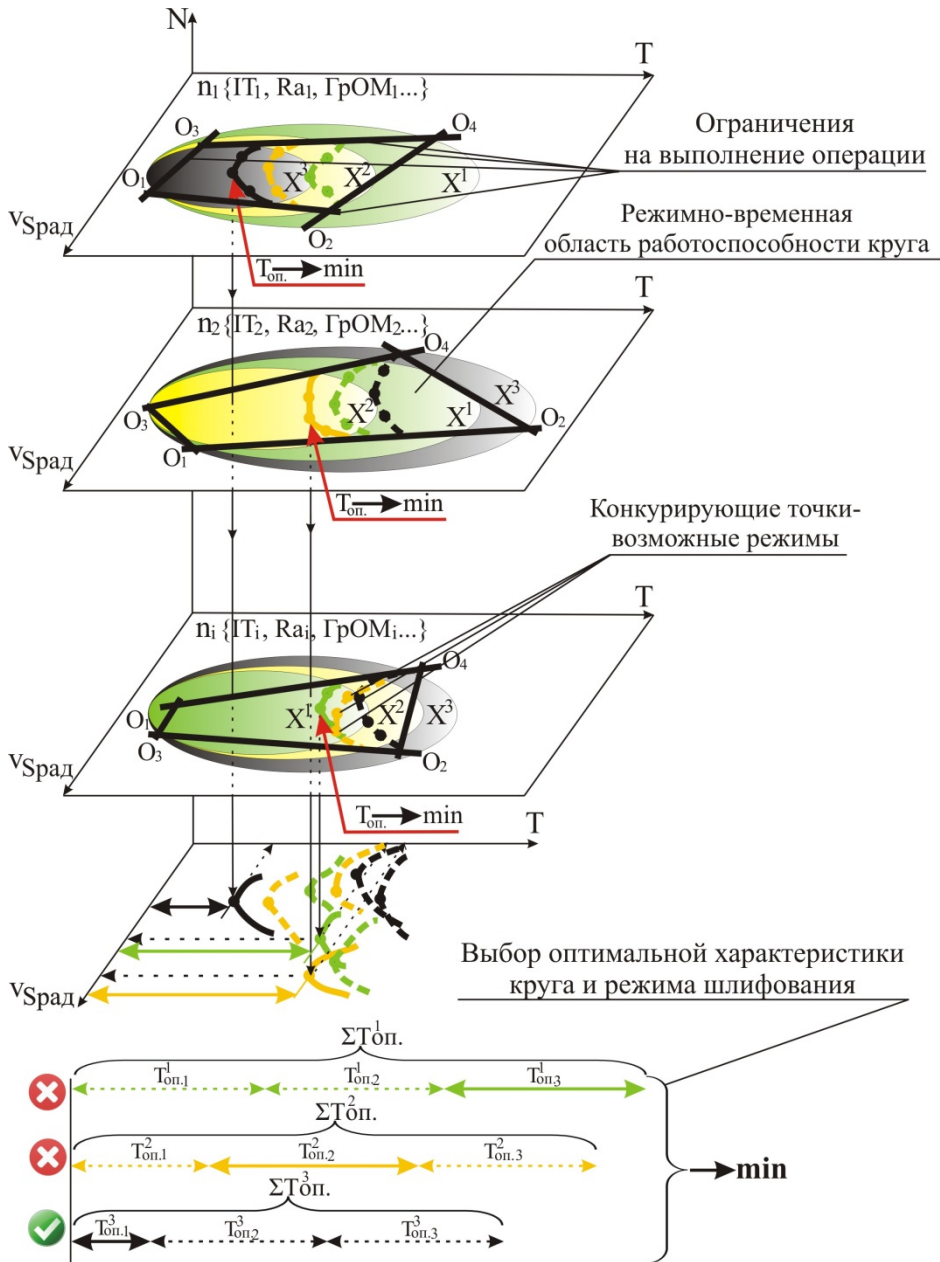
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, 454080, Россия

*Для многономенклатурного производства в настоящее время характерна низкая эффективность операций шлифования, связанная с тем, что существующие рекомендации по назначению характеристик инструмента и режимов обработки ограничивают условия эксплуатации шлифовальных кругов. Повышение эффективности операций шлифования может быть достигнуто за счет учета работоспособности инструмента на этапе проектирования операций. При этом работоспособность шлифовальных кругов должна быть представлена в виде комплекса показателей, для которых прогнозируется режимно-временная область эффективной эксплуатации инструмента.*

**Ключевые слова:** режимно-временная область, шлифование, эффективность.

В условиях многономенклатурного производства заготовки поступают на обработку на станок в порядке, зависящем от конъюнктуры рынка. При этом основную часть параметров технологической среды, в которой происходит обработка, следует считать квазипостоянной (станок, СОТС (смазочно-охлаждающие технологические вещества), квалификация рабочего и т. д.), а управление процессом осуществляется изменением характеристики шлифовального круга (ШК) и режимов обработки. Следовательно, при проектировании операций шлифования необходимо постоянное обновление текущей информации о номенклатуре заготовок, планируемых к обработке, а также об эксплуатационных свойствах ШК. Обязательным условием также является наличие сведений о функциональных взаимосвязях между параметрами управления процессом, либо объектом и выходными показателями. При этом формирование управленческих решений осуществляется с учетом обратной связи, полученной от объекта управления — ШК, после реализации процесса для начальных условий, что позволяет системе в дальнейшем реализовывать алгоритмы адаптации и самоорганизации [1]. Такой метод назовем методикой континуального проектирования операций шлифования.

Общая структура методики континуального проектирования операций шлифования показана на рисунке. Реализация методики в следующем. Известна перспективная производственная ситуация: заготовки для обработки будут поступать на станок партиями  $n$  (показаны плоскостями —  $n_1, n_2, n_i$ ). Каждая партия заготовок изготовлена из определенного материала, относящегося к конкретной группе обрабатываемости (ГрОМ). К обработке заготовок предъявляется ряд требований — по точности (IT), шероховатости (Ra). В начале, на основе различных рекомендаций [2, 3] формируется номенклатура ШК, рекомендованных для обработки каждой партии заготовок. В дальнейшем прогнозируется работоспособность каждого инструмента при обработке всех партий заготовок. Прогнозирование может осуществляться на основе имитационных моделей показателей ШК [4–6].



Общая структура методики континуального проектирования операций шлифования

Наложением технологических ограничений на работоспособность каждого ШК определяется режимно-временная область эффективной эксплуатации инструмента, в которой на различных режимах обеспечивается выполнение всех требований  $O_i$  чертежа детали. Вычисляется время обработки каждой партии заготовок каждым ШК.

Данное время включает основное время на обработку детали —  $T_o$ , а также вспомогательное время на правку круга —  $T_b$ . При этом для каждого сочетания «ШК–обрабатываемая партия заготовок» это время будет свое. Далее для каждой партии заготовок определяется ШК и режим шлифования (из возможных –конкурирующих точек), обеспечивающий минимум  $T_{оп}$ . На завершающем этапе, для каждого круга находят суммарное время обработки всех партий заготовок и выбирается тот круг, для которого суммарное  $T_{оп}$  по всем партиям минимально, при этом для каждого круга уже определен режим шлифования каждой партии.

В результате применения разработанной методики:

1. Существенно сокращается время на наладку станка, связанную с заменой ШК.
2. Сокращается себестоимость операции, за счет более эффективного использования ресурса работоспособности имеющегося инструмента и отсутствия необходимости приобретать другой инструмент для обработки новой партии заготовок, как рекомендуют справочники [2, 3].

*Южно-Уральский государственный университет выражает благодарность Министерству образования и науки Российской Федерации за финансовую поддержку настоящей работы (грант № 9.5589.2017/8.9).*

#### Литература

- [1] Путилин А.Б. *Континуальные системы обработки информации. Москва, Квадрат-С, 2005, 156 с.*
- [2] *Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. 3: Протяжные, шлифовальные и доводочные станки.* Москва, Изд-во ЦБНТ при НИИ Труда, 1978, 360 с.
- [3] Ардашев Д.В., Анельчик Д.Е., Буторин Г.И., Дьяконов А.А. *Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуватоматах: справочник.* Челябинск, Изд-во АТОКСО, 2007, 394 с.
- [4] Дьяконов А.А., Ардашев Д.В., Лепихов А.В. Имитационное моделирование процессов шлифования на основе применения высокопроизводительных кластеров и технологий параллельных вычислительных процессов. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2011, № 2/2, с. 29–34.
- [5] Ардашев Д.В., Шипулин Л.В. Геометрическая имитационная модель процесса шлифования с учетом износа абразивного зерна. *СТИН*, 2016, № 8, с. 18–22.
- [6] Ардашев Д.В. Прогнозирование работоспособности абразивного инструмента при проектировании многономенклатурных операций. *СТИН*, 2014, № 9, с. 14–17.

## Improving the Efficiency of Grinding Operations based on the Working Capacity of Grinding Wheels

© | Ardashev D.V.

ardashevdv@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, 454080, Russia

*At present, for multinomenclature production the grinding operations have low efficiency. This is due to the fact that the existing recommendations on the designation of the characteristics of the tool and the processing modes limit the conditions for the exploitation of grinding wheels. Increasing the efficiency of grinding operations can be achieved by taking into account the efficiency of the tool at the design stage of operations. At the same time,*

*the performance of grinding wheels should be presented in the form of a set of indicators for which the regime-time range of effective tool operation is predicted.*

**Keywords:** *regime-time domain, grinding, efficiency.*

УДК 621.9.042

## **Обработка винтовой поверхности миниатюрных роторов героторных микродозаторов на станках с ЧПУ**

© | Гончаров Александр Александрович      al.goncharow@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены результаты экспериментального исследования возможности изготовления винтовой поверхности роторов микродозаторов. Обработка винтовой поверхности была реализована с использованием непрофилированного инструмента на стандартном оборудовании с ЧПУ за счет применения оригинальной стратегии съема припуска. Исследование показало принципиальную возможность обработки винтовых поверхностей с сечениями малого диаметра и позволило выявить направления дальнейшего исследования данного процесса.*

**Ключевые слова:** *обработка на станках с ЧПУ, стратегия обработки винтовой поверхности, винтовой ротор, героторная пара, микродозирование.*

Устройства высокоточного дозирования вещества нашли широкое применение в электронике, медицине, фармацевтике и машиностроении. В частности, в машиностроении, высокая точность и равномерность подачи вещества необходима при нанесении клеевых швов, паяльных паст, герметиков и других вязких субстанций. Для реализации данных процессов применяют высокоточные дозаторы, в основе конструкции которых лежит героторная пара (рис. 1).



**Рис. 1.** Сечение типового микродозатора

Ввиду того, что требования к точности и равномерности дозирования высоковязких, сыпучих веществ с высоким содержанием абразивных включений возрастают

с каждым годом, производители вынуждены уменьшать габаритные размеры героторных пар. Так например, для обеспечения точности дозирования в пределах 0,002 мл необходима героторная пара, ротор которой имеет диаметр сечения 2..3 мм. Технологические возможности традиционных методов обработки винтовых поверхностей не позволят изготовить подобное изделие [1, 2] ввиду чрезвычайно малой жесткости обрабатываемого изделия.

Однако в предыдущих работах автора был предложен универсальный метод обработки сложнопрофильных винтовых поверхностей непрофилированным инструментом на станках с ЧПУ [3–5]. Данный метод реализуется за счет применения специальной стратегии движения цилиндрического инструмента.

С помощью описаного выше метода был проведен ряд экспериментов по обработке винтовой поверхности роторов на горизонтально-фрезерном станке с ЧПУ, оснащенный поворотным столом (рис. 2).



Рис. 2. Обработка винтовой поверхности с диаметром сечения 1,2 мм

В качестве заготовки использовал пруток из сплава Л63 диаметром 4,8 мм. Обработку проводили концевой фрезой из быстрорежущей стали диаметром 4 мм. В результате были получены образцы с диаметрами сечения 3,2 мм, 1,2 мм и 0,8 мм (рис. 3).

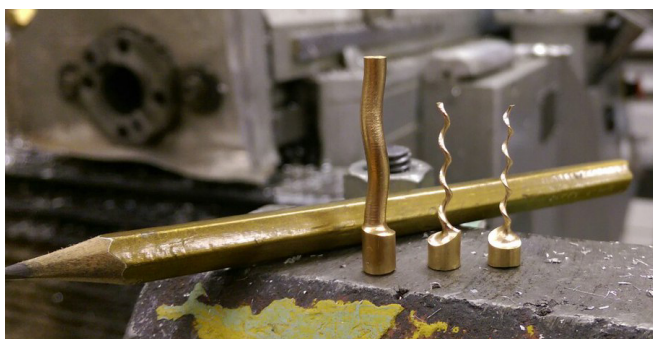


Рис. 3. Примеры обработанных поверхностей

В ходе метрологического исследования полученных образцов было обнаружено, что диаметр сечения винтовой поверхности уменьшается при удалении от торца. Данное уменьшение связано с изменением жесткости заготовки в процессе обработки. Чтобы избежать этого, необходимо использовать подводимую снизу протяженную призматическую опору, которая обеспечила бы сохранение жесткости заготовки и, как следствие, позволил повысить точность обработки поверхности.

Проведенное экспериментальное исследование показало принципиальную возможность обработки винтовых поверхностей малого диаметра и позволило выявить направления дальнейшего исследования данного процесса. Также, результаты эксперимента позволяют предполагать возможность обработки роторов из высокотвердых материалов (закаленные стали, металлокерамика, твердые сплавы), используя вместо лезвийного инструмента абразивные головки в комбинации с высокочастотными шпинделем.

### Литература

- [1] Benchmarking of Progressive Cavity Pump Technology. [Электрон. ресурс]. <https://www.viscotec.de> (дата обращения 10.02.2016).
- [2] Гончаров А.А., Васильев А.С., Гемба И.Н. Современные методы обработки винтовых поверхностей роторов винтовых насосов. *Вестник РГАТУ им П.А.Соловьева*, 2017, № 1 (40), с. 202–208.
- [3] Гончаров А.А., Гемба И.Н. Обработка сложнопрофильных деталей типа тел вращения на станках с ЧПУ. *Главный механик*, 2015, № 8, с. 26–31;
- [4] Гончаров А.А., Гемба И.Н. Обработка винтовых поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ. *Главный механик*, 2016, № 1, с. 48–50.
- [5] Гончаров А.А., Васильев А.С., Гемба И.Н. Обработка многозаходной винтовой поверхности ротора винтового насоса на фрезерных станках с ЧПУ. *Справочник. Инженерный журнал с приложением*, 2017, № 4, с. 8–16.

## Helical Surface Machining of Miniature Rotors of Progressive Cavity Dispensers on a CNC Machines

© | Goncharov A.A.

al.goncharow@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The paper presents the results of experimental study of the possibility of helical surface manufacturing of dispenser rotors. The machining of the helical surface was realized using unprofiled tool on standard CNC equipment due to the original chip removal strategy. The study showed the principal possibility of machining screw surfaces with small diameter sections and made it possible to identify the directions for further investigation of this process.*

**Keywords:** *machining on CNC machines, the strategy of the helical surface machining, progressive cavity rotor, micro dispensers.*

УДК 621.923.9

## Сравнительный анализ температурных полей при обработке микрошлифованием

© | Городкова Анастасия Евгеньевна

gor-nastya@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет), Челябинск, 454080, Россия

*Описана промежуточная стадия разработки комплексной имитационной модели процесса микрошлифования — апробацию разработанной теплофизической модели с помощью визуализации теплового воздействия режущего инструмента на заготовку. В статье отражены результаты сравнительного анализа температурных полей, построенных по расчетным и экспериментальным данным. Для получения расчетных данных применен программный комплекс «Расчет температуры обрабатываемой заготовки при микрошлифовании на станках с ЧПУ».*

**Ключевые слова:** высокоскоростные процессы резания, микромеханическая обработка, микрошлифование, теплофизика, температурные поля.

Микрошлифование является одним из прогрессивных направлений высокоскоростной обработки. Его суть заключается в обработке особо точных изделий инструментом, диаметр которого не превышает 1 мм. Важным преимуществом метода является отсутствие ограничений со стороны обрабатываемого материала, в отличие от альтернативных методов изготовления микроизделий (нанопринтная литография, обработка лазером и др.).

На данный момент ведутся работы по созданию комплексной имитационной модели и ее реализации в виде программного комплекса. Это поспособствует внедрению метода обработки на действующих предприятиях, так как нельзя заранее предопределить все возможные материалы и задачи, а следовательно, составить рекомендации.

Воздействие температур, возникающих в зоне резания, имеет негативное воздействие как на структуру и качество обрабатываемого материала, так и на режущий инструмент. Исследованию теплофизических особенностей процесса микрошлифования посвящены работы Sang Won Lee и Hyung Wook Park [1–3], однако они охватывают узкий спектр обрабатываемого материала. Выявление зависимостей и разработка модели микрошлифования позволит расширить область применения технологии, так как исчезнет необходимость в проведении большого количества экспериментов, что не всегда возможно из-за темпа работы современных предприятий.

В статье представлен сравнительный анализ температуры, рассчитанной с помощью программы «Расчет температуры обрабатываемой заготовки при микрошлифовании на станках с ЧПУ», созданной по разработанной теплофизической модели микрошлифования, и экспериментальных данных, полученных при микрошлифовании пазов. Данные были собраны в результате прохождения стажировки в Индийском институте технологий Патны (г. Патны, Индия). В качестве обрабатываемого материала выбрано стекло ВК-7, так как оно обеспечивает минимальную погрешность при измерениях температуры тепловизором.



Полученные результаты позволяют наглядно оценить температуру, характер распространения тепла в заготовке и определить потребность в дополнительном охлаждении или изменении режимов резания.

На рис. 1 показаны температурные поля, данные для которых рассчитаны в программе «Расчет температуры обрабатываемой заготовки при микрошлифовании на станках с ЧПУ». Три варианта температурных полей соответствуют различному типу инструмента. Иллюстрации наглядно демонстрируют характер распространения тепла в заготовке. По оси абсцисс и ординат показано расстояние в пикселях: 1 пиксель = 330 мкм. Максимальная температура в 40 °С соответствует радиусу 0,6 мм от точки касания режущего инструмента с заготовкой в случаях а, б и радиусу 0,33 мм в случае в. К расстоянию 1,32 мм тепловое воздействие полностью рассеивается, и температура заготовки остается равной температуре окружающего воздуха.

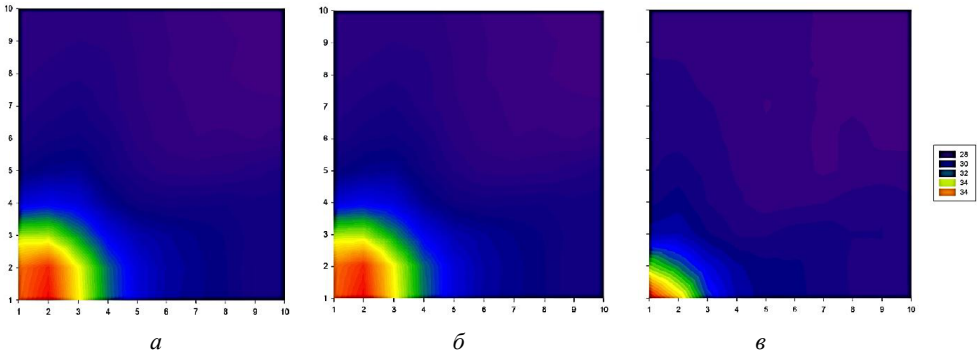


Рис. 1. Визуализация температурных полей при моделировании процесса микрошлифовании

На рис. 2 показаны температурные поля, данные для которых получены эмпирическим путем. В некоторых случаях распространение тепла имеет неоднородный характер, по сравнению с расчетными данными, что связано с наличием случайных ошибок при измерениях. В целом диапазон температур и характер распространения тепла в случае экспериментальных и расчетных температурных полей совпадает — это означает адекватность разработанной теплофизической модели и программного комплекса.

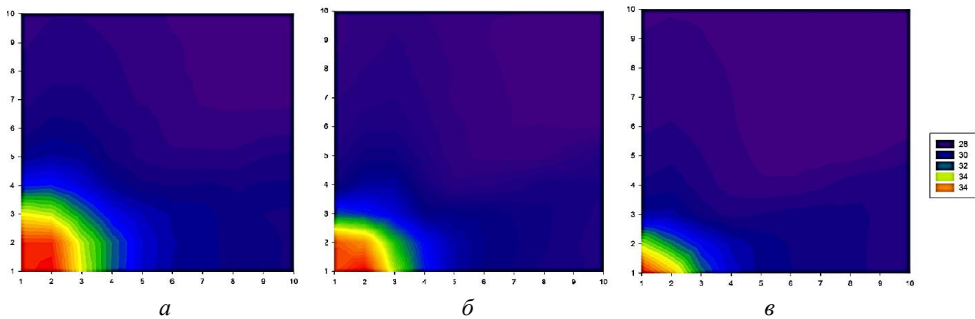


Рис. 2. Визуализация температурных полей при микрошлифовании

На рис. 3 показаны графики распределения температуры в заготовке, построенные по экспериментальным и расчетным данным.

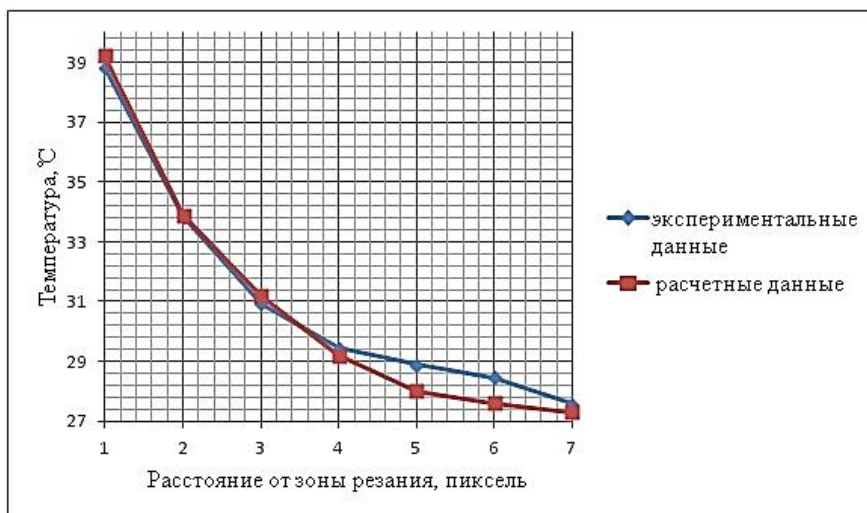


Рис. 3. График распределения температуры в заготовке при микрошлифовании

Полученные результаты показывают хорошую сходимость экспериментальных данных с расчетными, погрешность находится в пределах 5...8 %. Следовательно, позволительно использовать данную модель для прогнозирования температурных полей в зависимости от варьирования режимов резания и технологических параметров процесса микрошлифования.

Представленное исследование является частью общей модели микрошлифования, разработка которой позволит адаптировать технологию микрошлифования для ее реализации на станках с ЧПУ.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МД-932.2017.8*

### Литература

- [1] Lee P.-H., Lee S.W., Lim S.-W., Lee S.-H., Ko H.S., Shin S.-W. A Study on Thermal Characteristics of Micro-Scale Grinding Process Using Nanofluid Minimum Quantity Lubrication (MQL). *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2015, vol. 16, no. 9, pp. 1899–1909. DOI: 10.1007/s12541-015-0247-2.
- [2] Lee P.-H., Lee S.W. Experimental characterization of micro-grinding process using compressed chilly air. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2011, no.51, pp. 201–209. DOI: 10.1016/j.ijmactools.2010.11.010.
- [3] Park H.W., Liang S.Y. Force modeling of microscale grinding process incorporating thermal effects. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, no. 44 (5), pp. 476–486. DOI: 10.1007/s00170-008-1852-3

## Comparative Analysis of Temperature Fields at Processing by Micro-Grinding

© | Gorodkova A.E.

gor-nastya@mail.ru

South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, 454080, Russia

*Approbation of the developed thermophysical model by visualizing the thermal effect of the cutting tool on the workpiece is described in the article. The article reflects the results of a comparative analysis of temperature fields constructed from calculated and experimental data. The software package «Calculation of the workpiece temperature during micro-grinding on CNC machines» was used to obtain calculated data.*

**Keywords:** high-speed cutting processes, micromechanical processing, micro-grinding, thermal physics, temperature fields.

УДК 621.91.01

## Система автоматического определения эффективных режимов токарной обработки

© | Гусев Антон Валерьевич

antosha21@list.ru

Закураев Виктор Владимирович

tm@nsti.ru

Новоуральский технологический институт НИЯУ МИФИ, Новоуральск, 624130, Россия

*Показан алгоритм обработки вибросигналов, необходимый для создания системы определения эффективных режимов резания. Цель работы — создание метода автоматического определения режимов резания самой системой управления станка.*

**Ключевые слова:** стружкообразование, эффективная скорость резания, конструкционные стали.

В наших работах [1–4] показана возможность определения эффективных режимов резания путем измерения сигналов виброускорения с вибродатчика, установленного на резце токарного станка. Основными предпосылками к созданию метода определения режимов резания на основе диагностирования вибросигнала из зоны стружкообразования являются следующие.

- Стружкообразование при резании материалов — комплексный процесс, обеспечивающий формообразование новой поверхности. Основой этого процесса является предельная высокоскоростная пластическая деформация с последующим отделением слоя припуска материала.

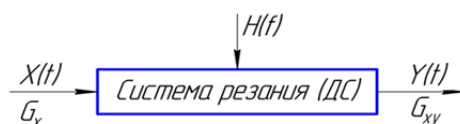
- Сложность процесса направленной деформации при резании с учетом многоуровневого характера структурных преобразований на микро-, мезо- и макроуровнях, высоких удельных энергетических затратах и потоках энергии в различных структурных элементах материала и самой технологической системе резания предполагает использование синергетического подхода для описания и анализа указанных процессов [5].

Эффективность работы современных металлообрабатывающих систем во многом определяется режимами резания. Выбор эффективного режима особенно актуален на начальной стадии запуска изделий в производство (период освоения).

Цель работы — создание метода автоматического определения режимов резания самой системой управления станка. Для достижения поставленной цели решали задачу выявления информативных параметров стружкообразования, а также корреляционных связей и спектральных характеристик процесса стружкообразования с вибросигналами в технологической системе.

Основанием для описания процесса резания методами вероятностного анализа случайных процессов и поведения динамических систем при случайных воздействиях [6] являются выполненные ранее исследования [7] по изучению физических явлений процесса резания.

Упругая динамическая система — станок, инструмент, заготовка — с некоторым допущением рассматривается как линейная система с одним входом и постоянными параметрами для данного режима резания (см. рисунок).



Линейная система с одним входом

Контроль процесса резания осуществляется по следующему алгоритму. На разных скоростях резания получают осциллограммы напряжений сигналов с вибропреобразователя. Далее эти данные, согласно формуле, преобразуются с помощью быстрого преобразования Фурье и затем из всего спектра выделяется диапазон частот стружкообразования по максимальному пику.

Затем выполняют расчет спектральной плотности мощности виброускорения  $G_y$  согласно формуле [1]:

$$G_y(f) = 2a \left[ \frac{1}{a^2 + 4p^2(f + f_0)^2} + \frac{1}{a^2 + 4p^2(f - f_0)^2} \right]. \quad (1)$$

Через передаточную функцию системы (в нашем случае  $H = 1$ ) находят спектральную плотность на входе системы:

$$G_x(f) = \frac{G_y}{|H(f)|^2}, \quad (2)$$

следовательно,  $G_x \approx G_y$ .

Определяют значение  $\Delta x$  из выражения

$$G_x = \frac{\Delta x^2}{\Delta f}, \quad (3)$$

$$\Delta x = \sqrt{G_x(F) \cdot \Delta f}. \quad (4)$$

Вычисленное значение  $\Delta x$  сравнивают с толщиной срезаемого слоя  $a$ . Изменение (подбор) скорости резания производят то тех пор, когда будет выполняться условие  $\Delta x/a = 1$ , т. е.  $a = \Delta x$ .

Нашими исследованиями (изучение деформационных параметров стружкообразования, результаты износа лезвий) [8] показано, что при выполнении данного условия мы получаем искомый эффективный режим резания.

### Литература

- [1] Гусев А.В., Закураев В.В., Хадеев С.И. Обоснование возможности контроля процесса механической обработки. *Машиностроение — традиции и инновации: сб. тр. Всерос. молодежной конф.* Юргинский технологический институт, Томск, Изд-во Томского политехнического университета, 2011, с. 195–198.
- [2] Гусев А.В., Закураев В.В., Турыгин Ю.В. Процесс стружкообразования и его изучения на основе частотного и спектрального анализа. *Интеллектуальные системы в производстве*, 2013, № 2, с. 49–54.
- [3] Гусев А.В., Закураев В.В., Ничков А.Г. Предпосылки к созданию метода автоматизированного выбора режимов резания. *Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства. Тр. IV Междунар. науч.-технич. конф. (Резниковские чтения)*, Тольятти, 2015, с. 207–214.
- [4] Гусев А.В., Закураев В.В., Ничков А.Г. О связи деформационных параметров стружкообразования с характеристиками колебаний при резании. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*, 2015, № 3-1, с. 52–59.
- [5] Иванова В.С. Синергетика разрушения и механические свойства. *Синергетика и усталостное разрушение металлов*. Москва, Наука, 1989, с. 6–29.
- [6] Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа. Москва, Мир, 1983, 312 с.
- [7] Гусев А.В., Закураев В.В., Ничков А.Г. О связи деформационных параметров стружкообразования с характеристиками колебаний при резании. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Тольятти*, 2015, № 3–1, с. 52–59.
- [8] Гусев А.В., Закураев В.В. Процесс стружкообразования и характеристики износа инструмента при точении конструкционных сталей. *Вестник Иркутского государственного технического университета*, Иркутск, 2016, № 11, с. 24–36.

## Automatic Determination of Effective Turning Conditions

© | Gusev A.V.  
Zakuraev V.V.

antosha21@list.ru  
tm@nsti.ru

Novouralsk institute of technology of NRNU MEPhI, Novouralsk, 624130, Russia

*This article describes the algorithm for processing vibration signals needed to create the system of determining effective modes of cutting. The work purpose — to create a method for automatic determination of cutting conditions by the machine control.*

**Keywords:** chip formation, effective cutting speed, structural steel.

УДК 629.3

## Постановка задачи проектирования циклов круглого врезного шлифования

© | Дегтярева Анастасия Сергеевна asdegyareva24@gmail.com  
| Дьяконов Александр Анатольевич sigma-80@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет), Челябинск, 454080, Россия

*Определены цели и задачи проектирования круглого врезного шлифования.*

**Ключевые слова:** *износ, шлифование, моделирование, циклы обработки.*

На основе обзора методов проектирования операций круглого врезного шлифования, можно выделить три направления исследований в зависимости от вида используемых данных: применение нормативных справочных материалов; на основе эмпирических данных предприятия; на основе моделирования процесса с учетом технологических ограничений. Результатом проектирования является рабочий цикл шлифования. Одни ученые описывают методику проектирования рациональных циклов для конкретных условий обработки, что сужает условия их применения [1, 2], другие предлагают управлять процессом шлифования с помощью оценки составляющей силы резания  $P_r$  через изменение мощности привода. Последний метод оценки является достаточно грубым [3].

Моделирование циклов шлифования с учетом ряда технологических ограничений предложено П.П. Переверзевым [4]. Однако используемый автором подход позволяет проектировать цикл шлифования только для заранее заданного количества ступеней цикла шлифования.

В работе Шмидт И.В. и Дьяконова А.А. [5] была разработана математическая модель расчета подач для каждой ступени цикла обработки шлифовального круга в зависимости от теплофизических свойств материала, а также бесприжоговости обработки, причем критерий по бесприжоговости обработки рассчитывается из условия: размер прижога меньше или равен припуску на последующую обработку. Данное условие проверяется после каждого оборота заготовки.

Другая работа Дьяконова А.А. и др. [6] посвящена моделированию профиля шлифовального круга, а именно распределения зерен на его поверхности. В предложенной модели распределение происходит случайным образом на пятне контакта шлифовального круга с заготовкой.

В продолжение работы создан программный модуль, который включил в себя математическую модель расчета подач и модель профиля шлифовального круга. Данный модуль позволяет рассчитать наиболее производительное значение подачи для каждой ступени цикла, что увеличивает эффективность обработки [7]. Количество же ступеней цикла задает технолог, что является не совсем корректным, поскольку остается влияние квалификации технолога, оказывающее влияние на качество и производительность обработки. Другим слабым местом данной программы является учет износа абразивных зерен. Размер площадок затупления абразивных зерен по данным эксперимента имеет нормальное распределение, поэтому задаются

значения среднего квадратического отклонения случайной величины и математического ожидания [8]. Автор работы [9] — Нуркенов А.Х. — разработал программное обеспечение, позволяющее учитывать размер упругих деформаций системы при расчете циклов шлифования.

На последних стадиях шлифования главным ограничением является шероховатость обрабатываемой поверхности. В работах Шипулина Л.В. разработана геометрическая модель, в которой шероховатость поверхности описывается как наложение множества следов от абразивных зерен за один проход. Рассчитывается шероховатость путем выбора множества поперечных сечений и определения наиболее часто встречающихся неровностей. Также Шипулиным Л.В. предложена комплексная модель для плоского шлифования, в которой объединены геометрическая, силовая и теплофизическая модели [10].

Цель нашего исследования — повышение производительности круглого врезного шлифования. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать программный модуль, который по заданным мощности станка, материалу круга и заготовки, их размерам и снимаемому припуску, определит количество ступеней цикла и подачи на них, обеспечивающих максимальную производительность и отсутствие брака. Основу разрабатываемой программы составят теплофизическая модель Шмидт И.В. и Дьяконова А.А. [5], а также модель поверхности шлифовального круга Дьяконова А.А. [6] и модель учета упругих деформаций системы Нуркенова А.Х. [9] и геометрическая модель Шипулина Л.В. [10].

2. Разработать молекулярно-динамическую модель для определения износа абразивных зерен, учитывающую вероятностное возникновение и отслоение частиц абразивного зерна под действием сдвиговых и растягивающих напряжений. Молекулярно-динамический метод необходим для определения положения и уровня напряжений, вероятности откола, химического взаимодействия. Для создания модели выбрано программное обеспечение LAMMPS, которое установлено в лаборатории «Суперкомпьютерного моделирования» ЮУрГУ.

### Литература

- [1] Маслов Е.Н. *Теория шлифования материалов*. Москва, Машиностроение, 1974, 320 с.
- [2] Братан С.М., Ярошенко А.А., Столяров Н.Н. Разработка алгоритмов управления операцией круглого шлифования, учитывающих коррекции цикла за период стойкости инструмента. *Вестник СевНТУ*, 2014, № 150, с. 28–35.
- [3] Кульгин В.Л., Кульгин С.В. Управление режимными параметрами операций круглого наружного шлифования с продольной подачей на основе силовой модели процесса. *Прогрессивные технологии в машиностроении* Челябинск, 2016, с. 22–28.
- [4] Переверзев П.П., Попова А.В. Разработка методики оптимизации циклов внутришлифовальной обработки в многомерном пространстве. *Современные проблемы теории машин*, 2015, № 3, с. 22–24.
- [5] Шмидт И.В. Дьяконов А.А. Модель температурного поля цикла круглого шлифования. *Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства*. Гольягги, ТГУ, 2015, с. 123–129.
- [6] Дьяконов А.А., Батуев В.В., Дегтярева А.С., Городкова А.Е., Ковалерова О.В. Дискретная теплофизическая модель процессов абразивной обработки. *Современные проблемы науки и образования*, 2014, № 6, с. 78.
- [7] Дьяконов А.А., Ковалерова О.В. Особенности проектирования цикла обработки для шлифовальных станков с числовым программным управлением. *Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук*, 2014, с. 407–412.

- [8] Дьяконов А.А., Геренштейн А.В. Регрессионно-качественная модель процесса износа абразивных зерен шлифовального круга. *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*, 2007, № 3, с. 31–33.
- [9] Нуркенов А.Х. Проектирование многоступенчатых циклов круглого врезного шлифования для станков с ЧПУ. *Научные технологии на современном этапе развития машиностроения*, 2016, с. 151–153.
- [10] Шипулин Л.В. Совершенствование методики проектирования операций плоского шлифования периферией круга на основе комплексного моделирования процесса. *Современные проблемы науки и образования*, 2013, № 2, с. 214–222.

## Goal and Objective of Grinding Cycles

© | Degtyareva A.S. asdegyareva24@gmail.com  
Dyakonov A.A. sigma-80@mail.ru

South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, 454080, Russia

*Identifies goals and objectives for the design of the round mortise grinding.*

**Keywords:** wear, grinding, modeling, processing cycles.

УДК 621.77

## Обеспечение износостойкости поверхностей прецизионных деталей в гетерогенных технологических структурах с использованием лазерной закалки

© | Лютиков Юрий Алексеевич bakela01@yandex.ru  
Васильев Александр Сергеевич vas@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены тезисы предстоящей работы по диссертации, включая исследования гетерогенности структур и изучения технологической наследственности, а также действия по достижению необходимых результатов: разработана апробированная компьютерная модель, составлена матрица проведения эксперимента, а также определены основные параметры и условия необходимые для изучения их в практической части исследования. Приведены достижения, полученные в ходе проведения настоящей работы, а также определены основные перспективные направления дальнейших исследований по рассматриваемой тематике.*

**Ключевые слова:** технологический процесс, 30ХГСА, лазерная закалка, гетерогенные технологические структуры, технологическая наследственность, компьютерное моделирование.

В условиях постоянного совершенствования технологий изготовления прецизионных деталей, приоритетное направление занимают технологии, связанные с улучшением физико-механических свойств изнашиваемых поверхностей. Использо-



ние новых методов в технологическом процессе (ТП) позволит снизить себестоимость детали при производстве и эксплуатации, значительно улучшить физико-механические характеристики и увеличить срок службы. В последнее время активно развиваются технологии повышения износостойкости, связанные с применением лазерного луча. На сегодняшний день не было глубоко изучено влияние процессов обработки с разной физической природой на физико-механические свойства поверхностей деталей и передачи этих свойств на всем жизненном цикле изделия. В настоящее время вопрос о технологической наследственности свойств стали 30ХГСА в гетерогенных структурах является недостаточно изученным, так как основное внимание в опубликованных исследованиях уделяется изучению оптимизации эксплуатационных характеристик упрочняемых сталей [1–4]. Для создания гетерогенных структур и их исследования осуществлено внедрение лазерных технологий, которые позволяют:

- работать с широким спектром обрабатываемых материалов;
- обеспечивать прецизионность получаемых изделий без механического воздействия;
- работать в труднодоступных местах и с большой скоростью обработки;
- заменять традиционные методы обработки, повышая качество, культуру производства и уменьшая трудоемкость;
- работать с локальной зоной термического влияния и изменять структуру упрочняемого материала.

Основная цель данного исследования — увеличение ресурса работы прецизионных деталей и повышение их эксплуатационных характеристик внедрением в ТП операций с разной физической природой. Необходимо провести сравнительный анализ ТП (до и после внедрения новых технологических операций) и выявить положительный эффект от применения новых методов обработки. Изучить технологическую наследственность на стадиях обработки детали. Для поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- исследовать метод лазерной закалки прецизионных деталей из стали 30ХГСА;
- сформировать базы данных о свойствах и технологической наследственности материала во время обработки;
- исследовать влияние гетерогенных технологических структур на технологические показатели детали;
- разработать компьютерные модели и технологические процессы на основе проведенного исследования.

На данный момент в диссертации выполнен поиск и анализ литературы, позволяющий выделить и определить необходимые зависимости для проведения практической части исследования. Написана методика проведения эксперимента и определены основные параметры для изучения и обработки, представленные в матрице ниже (см. таблицу).

Для исследования была построена компьютерная модель методом конечных элементов с целью создания комплексной модели для отработки технологических режимов, улучшения эксплуатационных характеристик и оптимизации технологического процесса при лазерном упрочнении. Компьютерное моделирование процессов термической обработки облегчает задачу структурообразования и модернизации поверхности в реальных изделиях. При разработке модели лазерного термоупрочнения учитывается большое количество факторов разной природы (теплофизические, физико-химические и др.). Анализ этих факторов позволяет обеспечивать адекватное про-

гнозирование процессов термоупрочнения, образование структуры и улучшение качества поверхности.

**Матрица проведения эксперимента с выходными параметрами**

Опыт	Скорость охлаждения, $V_{\text{охл}}$	Углеродный потенциал	Плотность мощности	Коэффициент перекрытия	Шероховатость до обработки	Износостойкость
Шероховатость поверхности после обработки	–	–	+	+	+	–
Исследование микротвердости	–	+	+	+	–	–
Измерение износостойкости	–	–	+	+	–	+
Измерение глубины и ширины упрочненного слоя (металлографический анализ)	+	+	+	+	–	–
Химический анализ	+	+	+	+	–	–
Измерение скорости охлаждения металла после обработки и измерение температур в металле	+	+	+	+	–	–

В основе экспериментальных исследований будет выбран ТП изготовления прецизионной детали из стали 30ХГСА. Будет осуществлено внедрение лазерной закалки с использованием волоконного иттербиевого лазера в данный ТП и изучено ее влияние на изменение физико-механических свойств. В дальнейшем будет проведено сравнение двух ТП (базового и альтернативного). Будет изучено влияние гетерогенных технологических структур на получаемые эксплуатационные свойства детали (проведения исследований на изменение твердости, прочности, интенсивности изнашивания и т. д.), а также исследована передача свойств материала изделия в процессе обработки и выявлено их взаимное влияние друг на друга.

### Литература

- [1] Васильев А.С., Кондаков А.И., Шиганов И.Н. Обеспечение износостойкости поверхностей прецизионных деталей в гетерогенных технологических структурах с использованием лазерной закалки. *Сварочное производство*, 2013, № 3, с. 30–33.
- [2] Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / под ред. А.Г. Григорьянца. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 664 с.
- [3] Ярьско С.И., Горяинов Д.С. Разработка технологий импульсной лазерной обработки режущего инструмента с применением метода конечных элементов. *Новые материалы и технологии в машиностроении*, 2013, № 17, с. 97–104.
- [4] Лютиков Ю.А, Люхтер А.Б., Кравченко И.И. Исследование технологии лазерного термоупрочнения на детали «Гильза водометного двигателя» из стали 30ХГСА. *Справочник. Инженерный журнал*. 2017, январь, с. 11–15. DOI: 10.14489/hb.2017.01.pp.011-015

## Ensuring Wear Resistance of Surfaces Precision Parts in a Heterogeneous Technological Structures Using Laser Hardening

© | Lyutikov Y.A.  
Vasiliev A.S.

bakela01@yandex.ru  
vas@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The report contains abstracts of future work on the thesis including studies of the heterogeneity of structures and the study of technological heredity. This work presented tested computer model, matrix of the experiment and the main parameters and conditions that are necessary for learning them in the practical part of the study. The achievements were obtained during this work and perspective areas were identified for the future researching of this topic.*

**Keywords:** technological process, 30KGSA, laser thermal hardening, heterogeneous technological structures, technological heredity, computer modeling.

УДК 621.789

## Технология изготовления и упрочнения деталей на станках с ЧПУ

© | Малышев Василий Андреевич  
Иванова Юлия Сергеевна

acxol1994@yandex.ru  
yyulianius@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Проведен обзор и описана физическая сущность электромеханической отделочно-упрочняющей обработки. Показаны примеры использования данной технологии, а также выполнено сравнение с другими методами отделочной обработки. Рассмотрена возможность реализации метода на станках с ЧПУ.*

**Ключевые слова:** электромеханическая обработка, износостойкость, твердость, шероховатость, упрочнение.

Постоянный технический прогресс в машиностроении, возрастание требований по качеству изготовления и усложнение конструкций машин, а также необходимость повышения надежности и ресурса их работы, ставят проблему поиска новых методов обеспечения качества с минимальными затратами.

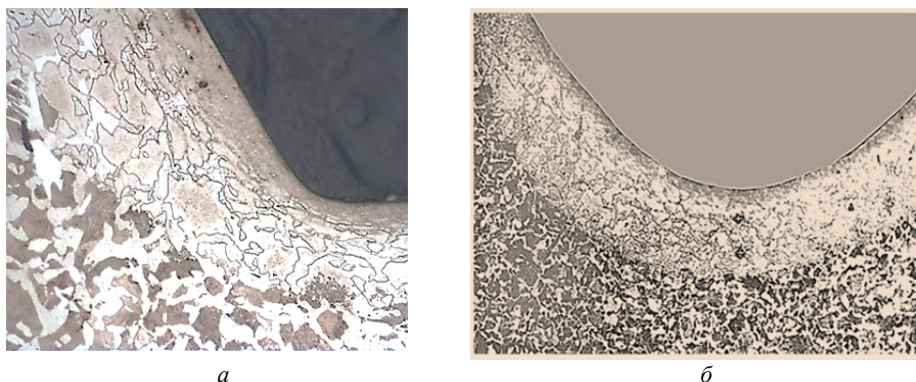
Анализ дефектов машин и деталей, производимых на предприятиях России, свидетельствует о недостаточной износостойкости и прочности наиболее нагруженных и ответственных поверхностей. Следовательно, существует необходимость внедрения на машиностроительных предприятиях России новых методов отделочной и упрочняющей обработки исполнительных поверхностей деталей машин.

Одним из изученных, однако недостаточно используемых методов является электромеханическая обработка (ЭМО) — способ повышения износостойкости,

прочности и предела выносливости деталей машин и технологического оборудования, основанный на использовании высококонцентрированного источника электрической энергии промышленной частоты, сосредоточенной в локальной области контакта «инструмент — обрабатываемая поверхность» и формирующей высокие эксплуатационные свойства поверхностного слоя изделий [1].

В настоящей работе рассмотрена разновидность ЭМО — отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка (ОУЭМО), объединяющая в себе эффекты методов поверхностной закалки и поверхностного пластического деформирования, вследствие чего получается особая структура поверхности металла (сталь 45, твердость до 64 HRC, глубина 0,02...0,3 мм) и микрогеометрия ( $Ra$  1,25...0,63 мкм), однако форма детали не изменяется. Методом ОУЭМО обрабатывают гладкие цилиндрические и плоские поверхности, резьбы и отверстия.

На рисунке приведена структура галтели и резьбы после ОУЭМО.



**Рис. 1.** Общий вид структуры металла после ОУЭМО  
*а* — галтель вала; *б* — впадина резьбы

Отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка происходит за счет воздействия тока высокой плотности и низкого напряжения в зоне контакта «инструмент — заготовка». В этой зоне происходит одновременный нагрев поверхности и пластическое деформирование с быстрым охлаждением вследствие распределения тепла в глубину металла. Результатом обработки является мартенситная структура с высокими значениями прочности и износостойкости [2].

Обработка резьб — одно из главных направлений использования ОУЭМО. Например, при исследовании эффектов ОУЭМО для повышения качества резьбовых соединений было выявлено следующее:

- электромеханическая обработка резьб позволяет устранить концентраторы напряжений и формирует благоприятную текстуру металла;
- значительно увеличивается циклическая долговечность при обработке нарезанной резьбовой части крепежных изделий — в среднем от 10 % и до 2 и более раз;
- при использовании оптимальных режимов и глубине упрочнения 0,1...0,2 мм твердость для материала Сталь 45 увеличивается до 52–58 HRC, а для стали 20Г2Р до 48–52 HRC [3].

Данный метод отделочно-упрочняющей обработки успешно использован на предприятиях, таких как НГДУ «Ямашнефть» для обработки резьб насосно-

компрессорных труб. Основными преимуществами, по сравнению со стандартными методами, являются стоимость, экологичность и отсутствие необходимости последующей механической или термической обработки (см. таблицу).

Сравнение ОУЭМО с аналогами

Метод упрочнения	Стоимость, млн руб	Экологичность	Твердость, HRC (Сталь 45)
Объемная термическая обработка	5,0	–	52
Объемная термообработка в расплавах солей, кислот или щелочей	6,5	–	54
Закалка токами высокой частоты	4,5	–	58
Химико-термическая обработка	7,0	–	60
Лазерная закалка	8,0	+	64
ОУЭМО	0,7	+	64

Основным направлением развития технологий ЭМО является автоматизация процесса — оснащение станков с ЧПУ модулями электромеханической обработки, так как единственным существенным недостатком данной технологии является невозможность ее использования в массовом производстве из-за высоких затрат на вспомогательное время.

Для воплощения данного метода на станках с ЧПУ необходим дополнительный привод, который позволит выполнить данную операцию. В МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся экспериментальные лабораторные исследования по автоматизации данного процесса и введения его на машиностроительных предприятиях России.

#### Выводы.

Отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка является перспективным методом для внедрения на машиностроительных предприятиях нашей страны, так как она, помимо стоимости и экологичности, объединяет в единой технологической схеме методы термической обработки и поверхностного пластического деформирования и позволяет получить свойства поверхности, недоступные ни одному из известных методов металлообработки, а использование системы ЧПУ позволит повысить точность и производительность обработки.

#### Литература

- [1] Аскинази Б.М. *Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой*. Москва, Машиностроение, 1989, 200 с.
- [2] Федоров С.К., Федорова Л.В. Закалка, отделочно-упрочняющая обработка и восстановление деталей электромеханическим способом. *Всерос. науч.-техн. конф. «Студенческая научная весна 2016: Машиностроительные технологии»*. Москва, 2010, 60 с.
- [3] Салов В.Б. *Повышение усталостной долговечности резьбовых соединений техники сельскохозяйственного назначения механической обработкой*: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2011, 185 с.

## Technology of Hardening and Producing Parts with CNC Machine Tools

© | Malyshev V.A.  
Ivanova Y.S.

acxol1994@yandex.ru  
yyulianius@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article contains a review of electromechanical hardening finishing process is made. Physical entity of the process is described. Examples of application and comparison to other frequently used methods are provided. Possibility of using this method for CNC machine tools is examined.*

**Keywords:** *electromechanical processing, wear resistance, hardness, roughness, hardening, CNC.*

УДК 65.011.56; 658.512.4; 621.792

## Автоматизация сборки клеевых соединений в дизельном двигателестроении

© | Мозгин Станислав Андреевич  
Игнатов Алексей Владимирович  
Островский Юрий Андреевич

mozgin.stas@gmail.com  
avi@bmstu.ru  
yost@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Показана актуальность исследований в области автоматизации проектирования технологических процессов сборки клеевых соединений. Представлена классификация клеевых соединений, применяемых в дизельном двигателестроении. В рамках задачи по разработке методики автоматизированного проектирования приведен алгоритм формирования технологического процесса сборки клеевого соединения в зависимости от типа клея и условий производства.*

**Ключевые слова:** *клеевые соединения, сборка, автоматизация проектирования, классификация, дизельный двигатель.*

В современном машиностроении используется большое количество клеевых соединений [1], качество которых во многом обеспечивается в процессе их изготовления. Однако при проектировании технологии склеивания в настоящее время существует ряд проблем. К ним относятся: множество альтернатив при формировании технологических решений, что является следствием большого разнообразия методов подготовки поверхности, клеевых композиций, оборудования нанесения и дозирования; субъективность решений, принимаемых технологом; недостаточная разработанность методики проектирования; нехватка технологов по сборке клеевых соединений. Перечисленные обстоятельства создают предпосылки для снижения

качества изделия и повышения трудоемкости и себестоимости процесса проектирования. Устранению приведенных недостатков способствует разработка и применение систем автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов (ТП) сборки клеевых соединений, задачи и функции, которой представлены в работе [2].

В качестве предмета исследования взяты клеевые соединения в дизельном двигателестроении. Разработана классификация клеевых соединений, используемых в дизельных двигателях, которая представлена на рис. 1. Анализ эксплуатационных требований клеевых соединений позволил выделить ряд клеевых композиций, которые им отвечают, — это силиконовые герметики, анаэробные, акрилатные, эпоксидные и цианоакрилатные клеи. Однако указанные клеевые композиции имеют разную природу отверждения, вязкость и химическую основу, что приводит к различным технологическим решениям в процессе формирования ТП сборки.

Предварительные исследования позволяют говорить, что возможно обойтись тремя разновидностями построения ТП. В общем случае ТП склеивания состоит из шести этапов: подготовка поверхностей; приготовление клея; нанесение клея; монтаж соединения; отверждение клея; контроль качества соединения [3]. Однако в случае использования герметика предварительного нанесения, который отверждается перед сборкой, этапы отверждения и монтажа меняются местами, что и приводит к возникновению одной из трех разновидностей ТП.

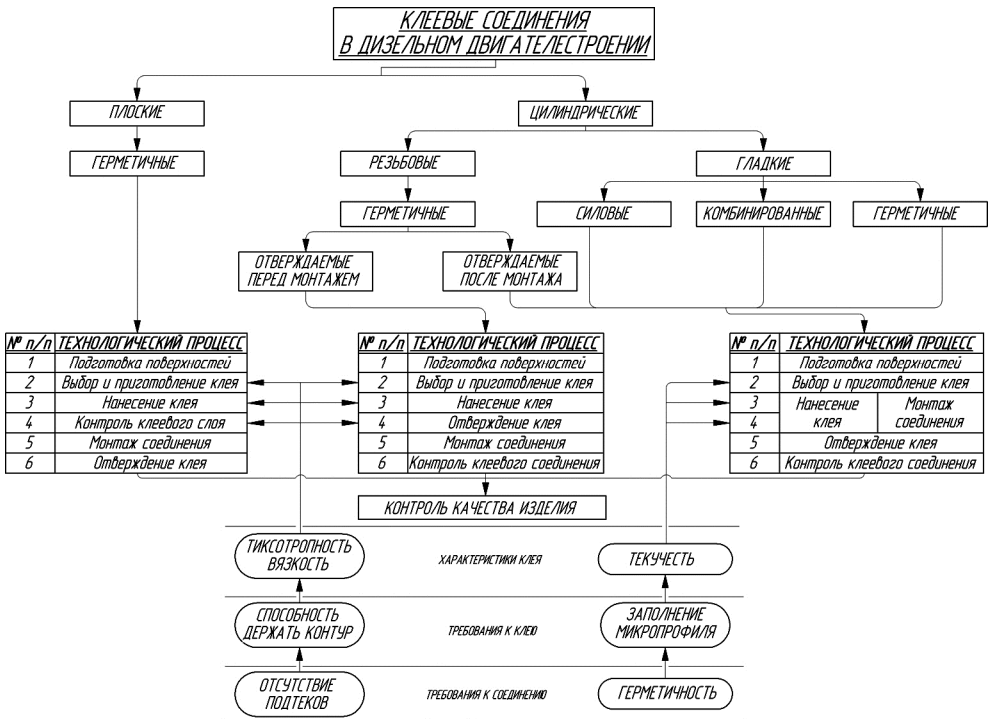


Рис. 1. Классификация клеевых соединений и технологических процессов их сборки, используемых в дизельном двигателестроении





В заключение отметим, что на сегодняшний день существует актуальная научная задача повышения эффективности проектных решений, принимаемых при проектировании ТП сборки клеевых соединений, имеющая важное значение для машиностроения РФ. Универсальным инструментом для выполнения указанной задачи является разработка САПР ТП сборки клеевых соединений.

#### Литература

- [1] Игнатов А.В. Новые тенденции развития сборки клеевых соединений в машиностроении. *Известия вузов. Сер. «Машиностроение»*, 2011, № 10, с. 62–68.
- [2] Островский Ю.А. Технологическое обеспечение САПР ТП сборки клеевых соединений. *Материалы IV Международного Балтийского морского форума*, Калининград, Изд-во БГАРФ, 2016, 1648 с.
- [3] Игнатов А.В. *Применение клеев при сборке изделий в машиностроении: учеб. пособие*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000, 43 с.

## Adhesive joints assembly automation in diesel engine building

©   Mozgin S.A.	mozgin.stas@gmail.com
Ignatov A.V.	avi@bmstu.ru
Ostrovskiy Y.A.	yost@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The research relevance in the adhesive joints computer-aided assembly planning area is shown. The adhesive joints used in diesel engine building classification is presented. The adhesive joints assembly planning formation algorithm depending on the adhesive type and manufacturing conditions to solve the task of computer-aided assembly planning method creation is presented.*

**Keywords:** *adhesive joints, assembly, computer-aided assembly planning, classification, diesel engine.*

УДК 621.791.011:621.791.015

## Основные аспекты формирования сварного соединения способом сварки трением с перемешиванием и учетом механизмов пластической деформации на разных структурно-масштабных уровнях

©   Рзаев Радмир Адильбекович	radmir.82@mail.ru
Чуларис Александр Александрович	

Астраханский государственный университет, Астрахань, 414056, Россия

*Исследовано формирование сварного соединения с учетом механизмов пластической деформации при сварке трением с перемешиванием. Выявлены зависимости между*

*углом наклона инструмента на мощность при такой сварке. Зависимость позволяет утверждать, что на третьем участке кривой свариваемый металл находится в сверхпластическом состоянии. При стремлении к увеличению теплового вклада пина в соединении представлены изменения конфигурации и формы пина инструмента. Рассмотрен вопрос об изменении механизмов пластической деформации на разных структурно-масштабных уровнях.*

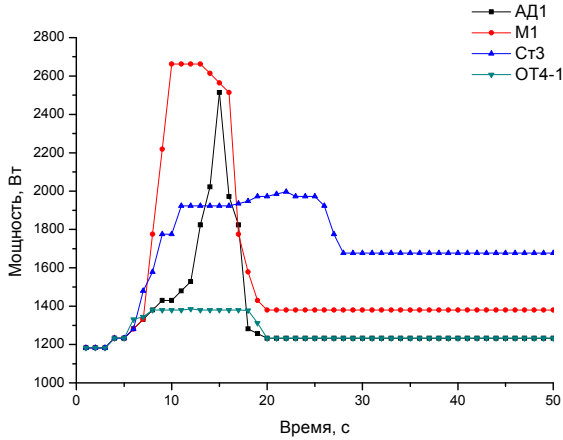
**Ключевые слова:** *сварка трением с перемешиванием, мощность, механизм образования, сверхпластическое состояние, однородное соединение.*

Сварка трением с перемешиванием (СТП) металлов и сплавов предполагает введение вращающегося пина инструмента в поверхностные слои свариваемых материалов для генерации (выделения) тепла в первые секунды (3...5 с.) процесса трения пина и торца заплечика. В месте контакта в результате процесса «сухого» трения этих частей инструмента со свариваемым металлом появляется тепловой поток. На структурно-микромасштабном уровне поверхностные зерна вовлекаются в пластическую деформацию, которая реализуется за счет движения скольжением решеточных дислокаций вследствие наличия градиента деформации [1, 2]. Однако в крупнокристаллических металлах большинство дислокаций заблокированы атмосферами Коттрелла и Судзуки, вследствие чего их старт затруднен и для распространения пластической деформации требуются источники подвижных дислокаций, в качестве которых могут выступать большеугловые границы зерен — их тройные стыки. Запуск последних осуществляется вводимым в свариваемый металл инструментом, с помощью которого в пластическую деформацию вовлекаются соседние в слое и по глубине упругодеформированные зерна, обеспечивая расширение зоны пластической деформации уже на глубинные слои металла, располагающиеся на первом или втором структурно-мезоскопическом масштабном уровнях [3–5].

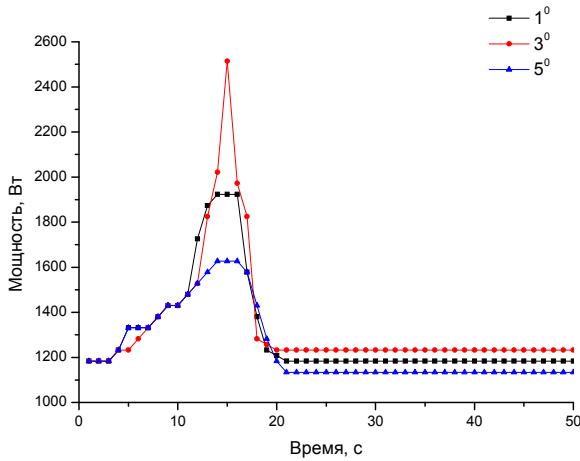
Благодаря заглуплению вращающегося и перемещающегося вдоль кромок пина инструмента происходит формирование нескольких (по толщине свариваемых пластин) мезозон локализаций пластической деформации и их расширение на все поперечное сечение или толщину свариваемых деталей. Этот этап характеризует переход локальной пластической деформации с мезо- на макромасштабный уровень, т. е. на завершение стадии микропластической деформации по толщине изделия. Переход на структурно-мезомасштабный уровень, когда совместно деформируются конгломераты, блоки зерен благодаря запуску ротационных механизмов пластической деформации и переходу к механизму адгезионного трения и, как результат, повышения температуры, в зоне сварки, особенно в области торца пина, начинают функционировать основные механизмы сверхпластичности мезоуровня — зернограничная диффузия и зернограничное проскальзывание [6–8].

Поэтому кривая, описывающая изменение энергозатрат на различных этапах образования соединений при СТП (рис. 1) имеет три характерных участка распределения энергии. Первый — левый, возрастающий, отвечает за энергозатраты в период ввода инструмента в свариваемые детали и возникновения «сухого» трения на микро- и первом мезомасштабном уровнях пластической деформации. Второй — средний, крутопадающий, демонстрирует наступление стадии адгезионного трения на втором мезомасштабном уровне при непрекращающейся тепловой подпитки, особенно в зоне пина, пластической деформации металла под действием пина в направлении вектора сварки и перехода в состояние сверхпластичности и термической стабилизации сварного соединения. Третий — правый, «гладкий» участок кривой, параллельный оси абсцисс,

указывает на протекание процесса образования сварного соединения СТП в установившемся режиме сверхпластичности на последнем макромасштабном (по всей толщине свариваемых деталей) уровне пластической деформации при экономном и стабильном в энергетическом отношении режиме СТП.



а



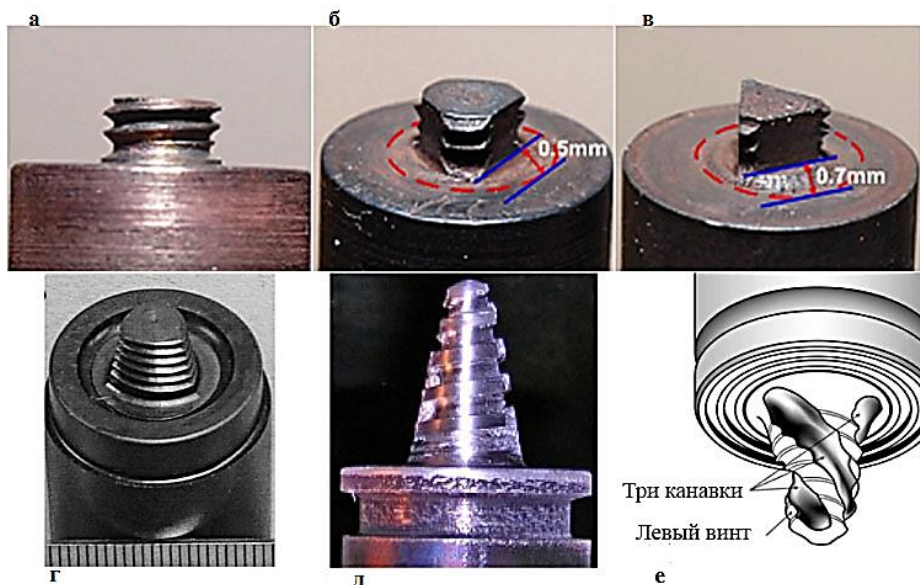
б

**Рис. 1.** Зависимость мощности от времени:

а — при угле наклона инструмента  $3^\circ$  для алюминиевого АД1, медного М1, титанового ОТ4-1 сплавов и стали Ст.3пс; б — для углов наклона инструмента  $1^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $5^\circ$  алюминиевого сплава АД1

Описанный характер изменения энергозатрат при образовании сварных соединений СТП был установлен при сварке алюминиевого сплава АД1, медного сплава М1, сталей разных структурных классов (Ст.3, Сталь 20, Сталь 12Х18Н10Т), технического ВТ1-0 и псевдо- $\alpha$ -сплава титана ОТ4-1 (см. рис. 1).

Важной составляющей процесса СТП является инструмент, его размеры и конфигурация. Необходимость создания при СТП термодформационных условий перевода определенного объема металла свариваемых кромок при заданной их толщине в СПС предопределила геометрические формы и размерные соотношения составных частей сварочного инструмента: выступающей части — пина — на толщину свариваемых деталей и пропорциональной ей диаметру; утолщенной части инструмента, генерирующей основной тепловой поток в свариваемые детали, — заплечика диаметром  $D_{зп} = (2 - 2,5)d_{пина}$ , реально приближающейся к ширине стыкового сварного шва, выполненного дуговыми способами сварки. Обычно используют заплечик с плоской или рельефной торцевой поверхностью, воздействующей на поверхностные объемы металла кромок свариваемых деталей, вовлекаемых в объем сварного шва. Необходимость накопления металла в СПС для формирования плотного без пор сварного шва с гарантированным проваром по толщине при значительном термическом и пластическом градиенте в начальные моменты образования шва потребовала разработки конструктивных решений и отхода от гладкой цилиндрической формы пина инструмента. Выполнение требования обеспечения стартового провара при минимальном значении аксиальной силы, прикладываемой при введении инструмента в стык между свариваемыми деталями, трансформировал цилиндр в усеченный конус. Стремление к увеличению теплового вклада пина в соединение (более 10 %), вначале было реализовано путем нарезания резьбы с крупным шагом, а в последствии перехода от кругового цилиндра, последовательно к пину треугольного, квадратного, шестигранного поперечного сечения. Стремление вовлечь в СПС повышенный объем свариваемого металла привело к созданию на боковых гранях многогранного пина цилиндрических сегментов (рис. 2).



**Рис. 2.** Эволюция изменения формы инструмента для СТП:

*а* — цилиндрический с резьбой; *б* — трехгранная с плавным переходом с резьбой; *в* — трехгранник с резьбой; *г* — конус с малым шагом резьбы; *д* — конический с резьбой; *е* — конусообразный с тремя канавками с резьбовой

Значительное влияние на объем металла, вовлекаемого в формирование сварного шва и его ядра, оказывает такой параметр процесса СТП, как угол отклонения оси инструмента от вертикали «углом назад». Так как от размера угла зависит эффективность превращения фрикционной энергии трения в тепловую, напряжение пластического течения твердого металла (сплава) в направлении сварки, объем пластифицированного под воздействием вращающегося пина свариваемого металла, принимающего участие в формировании геометрии сварного шва, в том числе провара по толщине, и его чешуйчатости.

В практике СТП различные исследователи использовали углы наклона от одного до пяти градусов. Замеры энергозатрат при указанных углах атаки (см. рис. 1), при идентичных значениях остальных параметров процесса СТП в условиях соединения алюминия, меди, стали и титана, показали, что кривая, описывающая закономерность изменения энергозатрат имеет различия только на начальных стадиях процесса СТП в виде длительностей и амплитуд зафиксированной энергии первой и второй стадий до достижения стабильности процесса. Вероятно, это можно объяснить кинетикой преодоления различных мезомасштабных уровней пластической деформации на всех экспериментальных материалах, с разной вязкостью и напряжениями пластического течения свариваемых материалов.

Анализ относительных энергозатрат при СТП алюминия, меди, сталей и титана показал на первый взгляд парадоксальный результат в отношении титана (см. рис. 1). Однако если принять во внимание основные механизмы, ответственные за переход в СПС [7–10], то следует учесть, что в отличие от остальных металлов, где в достижении сверхпластичности, кроме динамической или постдинамической непрерывной рекристаллизаций, аномальной и/или статической — собирательной рекристаллизации и при переходе на мезомасштабный уровень пластической деформации, и зернограничного проскальзывания, получают развитие процессы (небольших кристаллографических сдвигов по всему объему материала) ограниченного смещения атомов на расстояния менее 20 % параметра кристаллической решетки, которые наблюдаются при двойниковании и полиморфном ( $\beta \leftrightarrow \alpha'(\alpha'')$ ) превращении, имеющем место в титановых сплавах [7]. В результате этих превращений структура титанового сплава становится более дисперсной, что повышает эффект сверхпластичности за счет образования множественных зон межзеренного скольжения [7, 9–11], а также в 3–5 раз меньшего значения напряжения пластического течения, характерного для алюминия, стали, меди в условиях сверхпластичности [12].

Таким образом, привлечение современных представлений о многоуровневой пластической деформации металлов позволило раскрыть этапы формирования сварных соединений в условиях твердофазной сварки трением с перемешиванием пластичных черных и цветных конструкционных металлов и сплавов.

Анализ данных энергетических и металлофизических исследований позволил выявить основные механизмы пластической деформации, способствующие переходу свариваемых материалов в СПС в условиях процесса сварки.

### Литература

- [1] Дударев Е.Ф., Почивалова Г.П., Колобов Ю.Р., Бакач Г.П., Скосырский А.Б., Жоровоков М.Ф. Микропластическая деформация субмикрорекристаллического титана при комнатной и повышенной температурах. *Известия вузов. Сер. Физика*, 2012, т.55, № 7, с. 88–97.
- [2] Дударев Е.Ф., Почивалова Г.П., Колобов Ю.Р., Галкина Е.Г., Кашин О.А., Гирсова Н.В. Влияние глубокой пластической деформации и последующего отжига на истинное зерно-

- граничное проскальзывание в крупнокристаллическом и субмикрокристаллическом титане *Физическая мезомеханика. Спец. выпуск*, 2004, № 7, с. 30–33.
- [3] Панин А.В. *Масштабные уровни деформации в поверхностных слоях нагруженных твердых тел и тонких пленках*. Автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. Наук, Томск, 2006, 19 с.
- [4] Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В. *Структурные уровни деформации твердых тел*. Новосибирск, Наука, 1985, 229 с.
- [5] Панин В.Е., Егорушкин В.Е., Панин А.В. Природ локализации пластической деформации твердых тел. *Журнал физической физики*, 2007, т. 77, вып. 8, с. 62–69.
- [6] Грабовецкая Г.П. *Зернограничная диффузия и ползучесть субмикрокристаллических металлических материалов, полученных методами интенсивной пластической деформации*. Автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. наук, Томск, 2008, 34 с.
- [7] Бабарэко А.А., Эгиз И.В., Хорев А.И., Мартынова М.М., Самарин Е.Б. Сверхпластичность титановых сплавов разных классов. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1995, № 6, с. 30–35.
- [8] Боголюбова Д.Н., Гвоздев А.Е., Пантюхин О.В. Исследование закономерностей проявления эффекта динамической рекристаллизации в металлах. *Известия ТулГУ. Сер. Металловедение*, 2001, вып. 4, с. 276–286.
- [9] Галеев Р.М., Валиахметов О.Р., Салищев Г.А. Динамическая рекристаллизация крупнокристаллического титанового сплава ВТ 30 в ( $\alpha + \beta$ ) области. *Металлы*, 1990, № 4, с. 97–103.
- [10] Нестерова Е.В., Рыбин В.В. Механическое двойникование и фрагментация технически чистого титана на стадии развитой пластической деформации. *ФММ*, 1985, т. 59, вып. 2, с. 396–406.
- [11] Манохин С.С. *Закономерности фазовых и структурных превращений в нелегированном титане марки ВТ1-0*. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук, Белгород, 2012, 19 с.
- [12] Моисеева И.В., Пищак В.К. Деформация железа и титана в области температур полиморфного превращения. *ФММ*, 2008, № 2, с. 51–57.

## The Main Aspects of the Formation of a Welded Joint by Friction Stir Welding Taking into Account the Mechanisms of Plastic Deformation at Different Structural Scale Levels

© Rzaev R.A.  
Chularis A.A.

radmir.82@mail.ru

Astrakhan State University, Astrakhan, 414056, Russia

*This article is devoted to research of the formation of a welded joint with allowance for the mechanisms of plastic deformation in friction stir welding (FSW). Dependences between the angle of inclination of the instrument on the power at the FSW are revealed. The dependence allows us to state that in the third section of the curve the weld metal is in the superplastic state. With the desire to increase the thermal contribution of the pin to the connection, changes in the configuration and shape of the tool pin are presented. The problem of changing the mechanisms of plastic deformation at different structural-scale levels is considered.*

**Keywords:** friction stir welding, power, formation mechanism, superplasticity state, similar joining.

УДК 62-799

**Разработка программно-аппаратного комплекса диагностики роторных машин на базе фазохронометрического метода**

© | Болдасов Дмитрий Дмитриевич<sup>1</sup> boldasovd@gmail.com  
Лазарев Никита Юрьевич<sup>2</sup> nikitaterm@gmail.com  
Сырицкий Антони Борисович<sup>1</sup> syritsky@yandex.ru

<sup>1</sup> МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> Федеральная политехническая школа Лозанны, Лозанна, CH-1015, Швейцария

*Описан прототип средства измерений интервалов времени, предназначенный для работы в составе фазохронометрических систем мониторинга и диагностики циклических машин и механизмов. Указаны основные недостатки схемы прототипа и причины невозможности ее реализации на промышленном уровне, а также приведена новая компоновка, исключая описанные недостатки прототипа и уменьшающая количество модулей в системе.*

**Ключевые слова:** измерение интервала времени, мониторинг, диагностика, фазохронометрический метод.

Для задачи диагностики состояния циклических машин на базе фазохронометрического метода был разработан прототип информационно-измерительной системы. Однако, данный прототип имеет недостатки, которые не позволяют применить его схему в промышленном исполнении.

В общем виде система представляет собой информационно-измерительный комплекс, включающий датчик(-и) (энкодер(-ы)) ЛИР-158А производства СКБ ИС (Санкт-Петербург), систему сбора и обработки информации, прикладное и системное программное обеспечение. Данный способ измерений и его техническая реализация, сочетая в себе фактически рекордную точность и быстродействие, дает возможность эффективного применения компактных встраиваемых систем непосредственно на функционирующих объектах [1]. Принципиальная схема средства измерений (СИ) представлена на рис. 1 [2].

В разработанном прототипе навесного типа (рис. 2) аналоговый модуль с программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС) и ПЛИС с одноплатным компьютером соединяются посредством периферийных шин данных. Шина передает

значительный объем данных разной частоты, а система PLL (phase locked loop) обеспечивает распределение сигнала по всем участкам ПЛИС и выравнивает их частоту, т. е. отвечает за стабилизацию сигналов внутри ПЛИС. Такая реализация обеспечивает работу на относительно низких частотах, однако она не способна поддерживать стабильную работу системы на относительно высоких частотах.

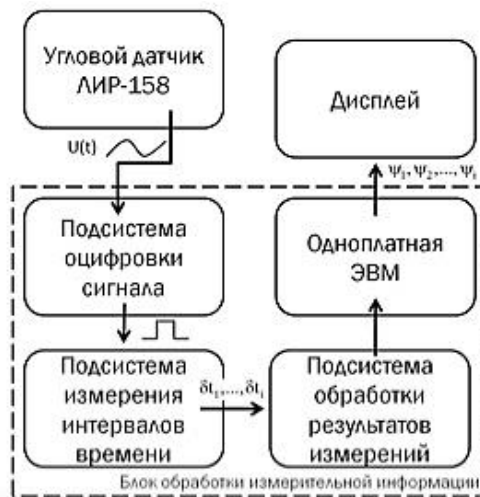


Рис. 1. Принципиальная схема устройства средства измерений



Рис. 2. Прототип системы



Используемые шестнадцатиразрядные шины подходят для данной задачи, но при увеличении частоты (или объема данных, передаваемых по шине) необходимо увеличивать разрядность шины в несколько раз. Во время производства промышленного прототипа большое количество проводов в шине не используется по причинам высокой стоимости и сложности реализации [3]. Также значительной проблемой при реализации передачи большого потока высокочастотных сигналов в шине является возникновение паразитных емкостей и индуктивностей.

Подобно обычному конденсатору, образованному двумя параллельными пластинами, паразитная емкость образуется каждый раз, когда два проводника расположены близко друг к другу, особенно, когда они параллельны и при этом не соединены между собой.

Как правило, проявление паразитной емкости, особенно на высоких частотах, может вызывать серьезные проблемы при настройке устройства. В качестве примеров сбоя работоспособности схемы, вызванных паразитной емкостью, можно привести повышение уровня шума, снижение частотного диапазона устройства и нестабильность. Строго говоря, паразитную емкость полностью устранить невозможно [4].

Также в проводнике при прохождении через него тока возникает индуктивное сопротивление. При увеличении частоты увеличивается реактивное сопротивление, на больших частотах вносит весомый вклад в искажение передачи сигнала.

Следует отметить, что само по себе применение «длинных» шин не эффективно с точки зрения передачи сигнала. Также заметим, что физическое исполнение интерфейса подключения периферийной шины к плате также может являться источником искажения сигнала.

Для устранения описанных недостатков предполагается выполнять систему оцифровки в виде печатной платы, которая будет подключена к ПЛИС посредством разъемов на печатной плате. Обмен данными между подсистемами происходит посредством вытравленных на плате дорожек разводки, заменяющими периферийные шины, используемые в прототипе системы, что повышает ее надежность и нивелирует шумы. Схема проектируемой аналоговой части системы измерений интервалов времени представлена на рис. 3.

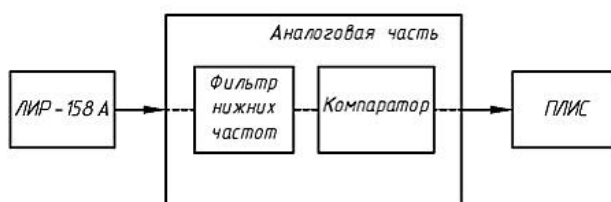


Рис. 3. Схема проектируемой аналоговой части

Разрабатываемая аналоговая часть не должна вносить при обработке погрешность в результат измерений больше, чем  $10^{-8}$  с.

Использовать ПЛИС предполагается со встроенным процессором, что позволит исключить из системы одноплатный компьютер.

#### Литература

- [1] Комшин А.С., Сырицкий А.Б. Измерительно-вычислительные технологии эксплуатации металлорежущего оборудования и инструмента. *Мир измерений*, 2014, № 12, с. 3–9.

- [2] Болдасов Д.Д., Потапов К.Г., Сырицкий А.Б. Применение фазохронометрического метода при диагностике металлорежущего оборудования токарной группы. *СТИН*, 2016, № 1, с. 5–10.
- [3] Авдеев В.А. *Организация ЭВМ и периферия с демонстрацией имитационных моделей*. Москва, ДМК Пресс, 2014, 708 с. + CD-ROM.
- [4] Эверитт Л.В. *Основы радио и электроники*. Москва, Профтехиздат, 1963, 804 с.

## Phasechronometric Cyclic Machines Diagnostics System Design

©	Boldasov D.D. <sup>1</sup> Lazarev N.U. <sup>2</sup> Syritsky A.B. <sup>1</sup>	boldasovd@gmail.com nikitaterm@gmail.com syritsky@yandex.ru
---	---	---

<sup>1</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> Federal Polytechnic University of Lausanne, Lausanne, CH-1015, Switzerland

*In the article time intervals measuring device prototype for operating as a part of phase-chronometric monitoring and diagnostics of cyclic machines and mechanisms is described. Main disadvantages of prototype's scheme and causes of responsibility of its implementation by industrial means are given, also a new scheme without described imperfections of prototype and lowering number of modules in the system is given.*

**Keywords:** *time intervals measurement, monitoring, diagnostics, phasechronometric method.*

УДК 519.254

## Задача разделения статистических характеристик составляющих суммарного сигнала и пути ее решения

©	Коленкин Александр Викторович <sup>1</sup> Чикмарев Александр Дмитриевич <sup>2</sup> Обухов Игорь Васильевич <sup>1</sup>	alexandr.kolenkin@mail.ru chikmarev87@mail.ru
---	--	--

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> РОСТЕСТ-МОСКВА, Москва, 117418, Россия

*Представлен подход к решению задачи разделения и оценки статистических характеристик суммарного сигнала при обработке параллельных результатов измерений от одного источника. Описанный подход к решению задачи позволяет с достаточной точностью оценить статистические характеристики источника сигнала по данным, полученным от измерительных приборов, обладающих собственными функциями погрешностей. Материал статьи может быть полезен специалистам, занимающимся вопросами обработки результатов измерений, метрологической оценкой средств измерений.*

**Ключевые слова:** *структурная функция, статистические характеристики, суммарный сигнал, случайный процесс.*

Задача разделения статистических характеристик суммарного сигнала и оценка точности предложенного метода рассматривается с помощью аппарата математического моделирования. Под статистической характеристикой суммарного сигнала понимается его структурная функция за ограниченный интервал времени.

При оценке основной статистической характеристики суммарного сигнала, для оценки точности метода, использующего смешанный момент второго порядка, описанный в [1], он сравнивается с прямым методом вычисления.

На рассматриваемом интервале времени моделируемый процесс носит нестационарный характер, что позволяет вrexfn его случайный процесс со стационарным приращением (СПСП).

Прямой метод заключается в построении структурных функций погрешностей  $\Delta_1(t)$  и  $\Delta_2(t)$  при известных значениях сигналов  $f_r(t)$ ,  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  [2], на заданном ограниченном интервале времени  $\tau$ , в соответствии с предложенной на рис. 1 схемой.

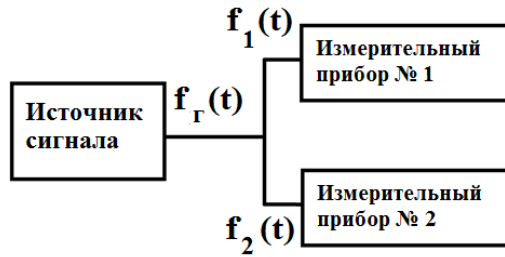


Рис. 1. Структурная схема моделируемого процесса

В математическом пакете Matlab, смоделируем исследуемый процесс как:

$$\begin{cases} f_1(t) = f_r(t) + \Delta_1(t); \\ f_2(t) = f_r(t) + \Delta_2(t), \end{cases} \quad (1)$$

где  $f_r(t)$  — оцениваемый суммарный сигнал;  $\Delta_1(t)$ ,  $\Delta_2(t)$  — вносимые погрешности измерительных приборов 1 и 2 соответственно.

Результаты моделирования сигналов  $f_r(t)$ ,  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  приведены на рис. 2.

Получая из (1) функции погрешностей  $\Delta_1(t)$  и  $\Delta_2(t)$ , по известной формуле [3] находят структурные функции погрешностей:

$$D_{\Delta_1}(m) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} \left[ \Delta_1(i+m) - \Delta_1(i) - \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} [\Delta_1(i+m) - \Delta_1(i)] \right]^2; \quad (2)$$

$$D_{\Delta_2}(m) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} \left[ \Delta_2(i+m) - \Delta_2(i) - \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} [\Delta_2(i+m) - \Delta_2(i)] \right]^2. \quad (3)$$

Результаты расчета структурных функций  $D_{\Delta_1}(m)$  и  $D_{\Delta_2}(m)$  при известных  $f_r(t)$ ,  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  приведены на рис. 3.

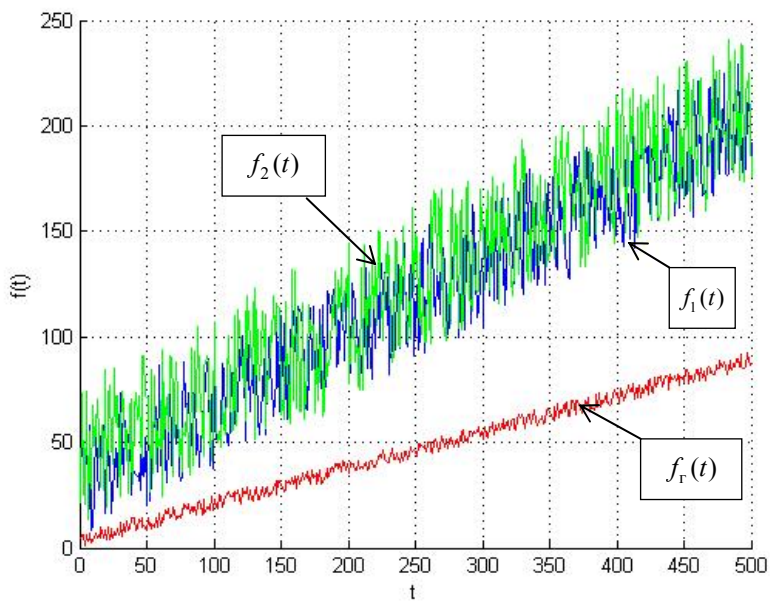


Рис. 2. Моделируемые сигналы  $f_r(t)$ ,  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$

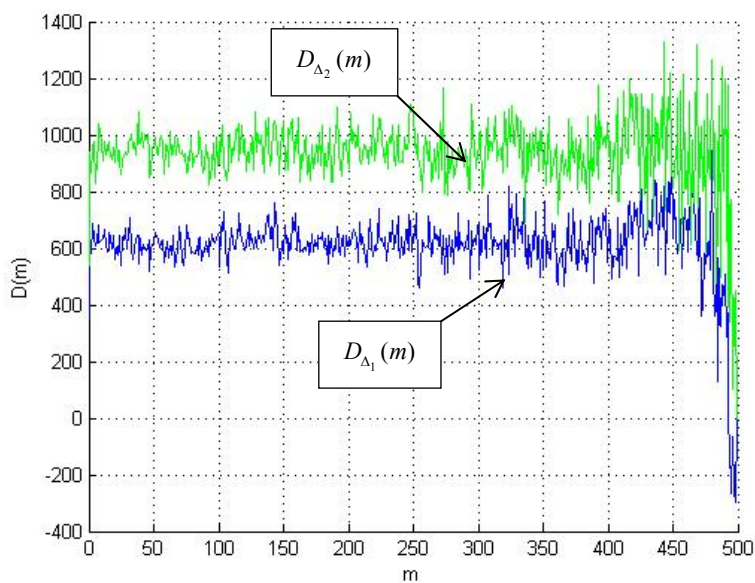


Рис. 3. Структурные функции  $D_{\Delta_1}(m)$  и  $D_{\Delta_2}(m)$

Метод оценки структурных функций погрешностей  $\Delta_1(t)$  и  $\Delta_2(t)$  при использовании смешанного момента второго порядка [1] заключается в построении этих функций погрешностей  $\Delta_1(t)$  и  $\Delta_2(t)$ , при только известных значениях сигналов  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  на заданном ограниченном интервале времени  $\tau$ , в соответствии с предложенной на рис. 1 схемой.

Построив структурные функции  $D_{f_1}(m)$ ,  $D_{f_2}(m)$  и смешанного момента  $D_{f_1f_2}(m)$  и принимая допущения некоррелированности функций  $f_r(t)$ ,  $\Delta_1(t)$  и  $f_r(t)$ ,  $\Delta_2(t)$ , структурные функции  $D_{\Delta_1}(m)$  и  $D_{\Delta_2}(m)$  можно определить как

$$D_{f_1f_2}(m) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} \left[ \left( f_1(i+m) - f_1(i) - \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} [f_1(i+m) - f_1(i)] \right) \times \right. \\ \left. \times \left( f_2(i+m) - f_2(i) - \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} [f_2(i+m) - f_2(i)] \right) \right]; \quad (4)$$

$$D_{\Delta_1}(m) = D_{f_1}(m) - D_{f_1f_2}(m); \quad (5)$$

$$D_{\Delta_2}(m) = D_{f_2}(m) - D_{f_1f_2}(m). \quad (6)$$

Результаты расчетов структурных функций  $D_{\Delta_1}(m)$  и  $D_{\Delta_2}(m)$  при известных только  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  приведены на рис. 4.

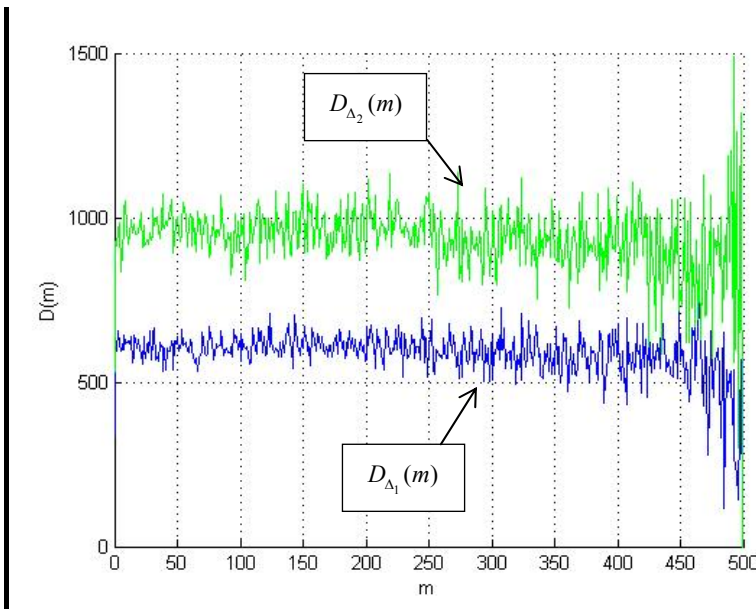


Рис. 4. Структурные функции  $D_{\Delta_2}(m)$  и  $\Delta D_{\Delta_2}(m)$

Из полученных результатов математического моделирования следует, что метод расчета структурных функций погрешностей  $D_{\Delta_1}(m)$  и  $D_{\Delta_2}(m)$ , предложенный в [1] при принятых допущениях является работоспособным.

Результат расчета разницы полученных структурных функций при определении их двумя методами представлен на рис. 5.

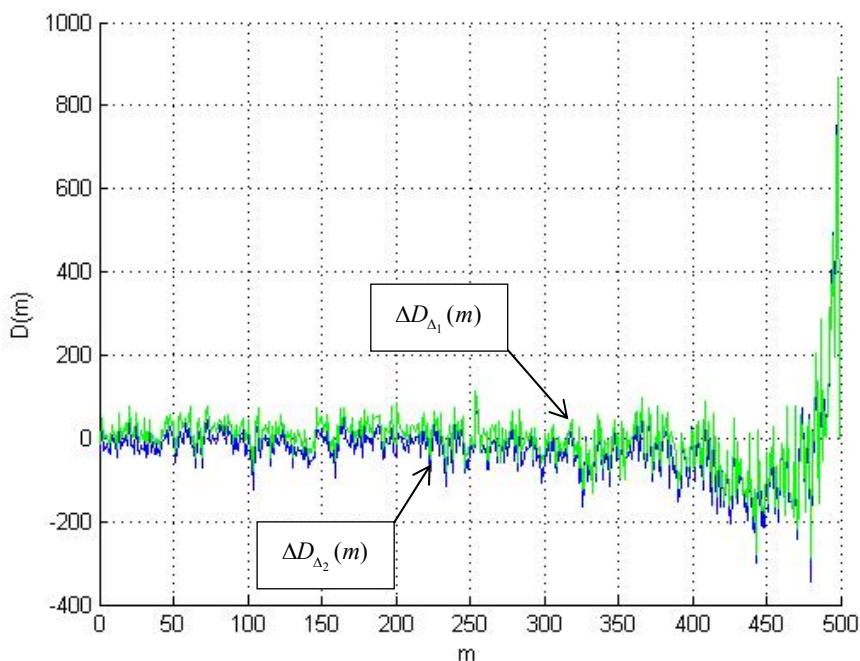


Рис. 5. Разница структурных функций  $\Delta D_{\Delta_1}(m)$  и  $\Delta D_{\Delta_2}(m)$

Как следует из полученных данных, при расчете структурной функции погрешностей, используя смешанный момент второго порядка, результаты увеличены на  $D_{\Delta_1}(m)$  и  $D_{\Delta_2}(m)$ , но при этом достаточно иметь только результаты измерений  $f_1(t)$  и  $f_2(t)$ , что существенно расширяет возможности для оценки исходного суммарного сигнала  $f_r(t)$  по отношению к  $f_1(t)$  и  $f_2(t)$ .

### Литература

- [1] Обухов И.В. Измерение статистических характеристик источников информационных сигналов. *Метрология*, 2015, № 4, с. 13–19.
- [2] Рытов С.М. *Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1. Случайные процессы*. Москва, Наука, 1976, 484 с.
- [3] Яглом А.М. Корреляционная теория процессов со случайными стационарными  $n$ -ми приращениями. *Математический сборник*. 1955, т. 37, № 1, с. 141–195.

## The Task of Separating the Statistical Characteristics of the Components of the Sum Signal and Ways of its Solution

© | Kolenkin A.V.<sup>1</sup>  
Chikmarev A.D.<sup>2</sup>  
Obuhov I.V.<sup>1</sup>

alexandr.kolenkin@mail.ru  
chikmarev87@mail.ru

<sup>1</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> ROSTEST-MOSCOW, Moscow, 117418, Russia

*The article presents an approach to solving the problem of separating and estimating the statistical characteristics of the sum signal during the processing of the parallel measurements from the same source. The described approach to solving the problem allows with sufficient accuracy to estimate the statistical characteristics of the signal source according to the data obtained from the measuring devices with their own functions errors. The article can be useful for specialists dealing with processing of measurement results and metrological evaluation of measuring instruments.*

**Keywords:** structural feature, statistical characteristics, the total signal random process.

УДК 519.254; 681.2.088.

## Оценка точности измерительных машин по результатам эксперимента

© | Коленкин Александр Викторович<sup>1</sup>  
Чикмарев Александр Дмитриевич<sup>2</sup>  
Обухов Игорь Васильевич<sup>1</sup>

alexandr.kolenkin@mail.ru  
chikmarev87@mail.ru

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> РОСТЕСТ-МОСКВА, Москва, 117418, Россия

*Предложен подход к решению задачи оценки точности измерительных машин на основе определения статистических характеристик сигналов. Предлагаемый подход предусматривает за счет определения информации об объекте выявлять составляющие погрешности средств измерений без использования эталонов. Материалы данной работы могут быть полезны специалистам, занимающимся вопросами метрологической оценки средств измерений и вопросами обработки результатов измерений.*

**Ключевые слова:** средство измерений, структурная функция, статистическая характеристика, случайный процесс, координатно-измерительная машина.

Современное производство для обеспечения конкурентоспособности на соответствующем рынке должно стремиться к повышению качества выпускаемого продукта и снижению издержек его производства. Разумеется, выполнение обоих условий

неразрывно связано с обеспечением средствами измерений требований технической документации: правильный подбор средств измерений (СИ) и постоянный контроль их технического и метрологического состояния.

В работе рассмотрена метрологическая часть, которая состоит из оценки текущих метрологических характеристик средств измерений, а именно их погрешности.

Основными методами оценки точности средств линейно-угловых измерений, в зависимости от поставленной задачи, являются процедуры калибровки (п. 9.6 [1]) и поверки (п. 9.9 [1]). Основным инструментарием обеих процедур являются эталонные СИ.

Применяемая на данный момент процедура оценки погрешности координатных СИ [2] достаточно сильно упрощена, и состоит из непосредственного измерения эталонных средств измерений и сравнения полученных значений с действительными. К сожалению, методика учитывает влияние только систематической составляющей погрешности измерений, при этом слабо учитывая случайную.

Необходимо отметить, что используемая на данный момент методика оценки составляющих погрешности СИ не учитывает внутренние случайные процессы, протекающие в них, что приводит к появлению некоторых вопросов при проведении оценки результатов оценочных измерений.

В сфере координатных измерений параметров поверхности наибольшее распространение получили координатно-измерительные машины, которые подразделяют на контактные и бесконтактные. С точки зрения оценки микронеровностей применение контактных машин исключено из-за некоторых нюансов заложенных в их (машин) конструкцию:

- измерение поверхности контактными методами не позволяют «заглянуть» в глубину микронеровностей из-за сферической формы наконечника и его минимального доступного диаметра 0,3 мм;
- используемые на контактных машинах датчики не предназначены для измерений параметров шероховатости.

Измерения только параметры волнистости и отклонений формы в проведении эксперимента недостаточно.

Бесконтактные машины (рис. 1), основанные на оптических принципах измерений, по сравнению с контактными, позволяют получить больше информации о поверхности, разумеется при некоторых допущениях, связанных с необходимостью подготовки к эксперименту. Основное ограничение связано с толщиной объекта, так как основным принципом работы подобного, изображенному на рис. 1 средству измерений, является проекционный принцип.

Для определения оценки точности проводился эксперимент и математическая обработка его результатов, суть которых описана в [3, 4]. Для проведения эксперимента использовались две координатно-измерительные машины (КИМ).

Главным условием проведения эксперимента являлось максимально точное воспроизведение системы координат детали при измерениях разными КИМ, а именно выполнение обоих циклов измерений в одной и той же системе координат. Цель постановки данного условия — снижение доли составляющих погрешности измерений зависящих от неточности в базировании.

Необходимо отметить, что понятия базирование и система координат в интерпретации специалистов в области координатных измерений имеют несколько иные значения (чем в [5]), а именно «разъяснение» машине: где и как расположено изделие относительно ее собственной системы координат.





Рис. 1. Оптическая бесконтактная координатно-измерительная машина

Упрощенно структурная схема измерений имеет вид, изображенный на рис. 2.

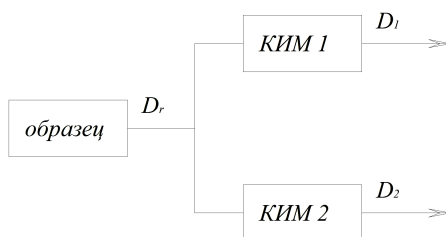


Рис. 2. Структурная схема измерений

Роль «КИМ 1» и «КИМ 2» выполняют две оптические координатно-измерительные машины, одна из которых показана на рис. 1.

Всего было выполнено два цикла измерений, по результатам которых были построены структурные функции (рис. 3).

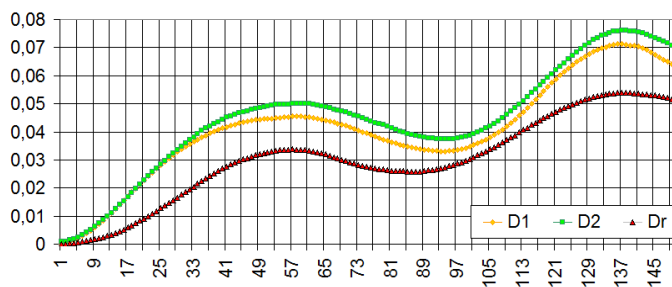


Рис. 3. Структурные функции

Кривые  $D_1$  и  $D_2$  характеризуют статистику выходных сигналов каждой из исследуемых машин,  $D_r$  — статистику микрогеометрии объекта. По этим данным с учетом соотношений

$$D_1 = D_r + D_{\text{КИМ1}};$$

$$D_2 = D_r + D_{\text{КИМ2}}$$

оценивается структурная функция погрешностей первой ( $D_{\text{КИМ1}}$ ) и второй ( $D_{\text{КИМ2}}$ ) КИМ:

$$D_{\text{КИМ1}} = D_1 - D_r;$$

$$D_{\text{КИМ2}} = D_2 - D_r.$$

В заключение необходимо отметить, что проведенный эксперимент показывает, что методами структурного анализа можно попытаться оценить точность измерительных машин, но есть необходимость совершенствования метода.

### Литература

- [1] РМГ29–2013. ГСИ. *Метрология. Основные термины и определения*. Москва, Стандартинформ, 2014.
- [2] МИ2569–99. *Рекомендация. ГСИ. Машины координатно-измерительные портального типа. Методика поверки*. Москва, ФГУП «ВНИИМС», 1999.
- [5] ГОСТ 21495–76. *Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения*. Москва, 1976.
- [3] Обухов И.В., Коленкин А.В., Миняева Л.Х. Линейный профиль поверхности как случайная функция со стационарными приращениями. *Приборы*, 2016, № 12, с. 26–29.
- [4] Обухов И.В. *Математическое моделирование и экспериментальное оценивание случайных погрешностей средств измерений (без их калибровки)*. Москва, Радио и связь, 2004.

## Evaluation of the Accuracy of Measuring Machines According to the Results of the Experiment

© | Kolenkin A.V.<sup>1</sup>  
 Chikmarev A.D.<sup>2</sup>  
 Obuhov I.V.<sup>1</sup>

alexandr.kolenkin@mail.ru  
 chikmarev87@mail.ru

<sup>1</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> ROSTEST-MOSCOW, Moscow, 117418, Russia

*In the given work the approach to the task of assessing the accuracy of measuring machines on the basis of determining the statistical characteristics of the signals. The proposed approach by defining information about the object, identify the components of the errors of measuring instruments without the use of standards. The materials of this work can be useful to specialist in the field of metrological evaluation of measuring instruments and processing of measurement results.*

**Keywords:** *measurement means, structural function, statistical description, random process, coordinate measuring machine.*

УДК 53.08, 658.58

## Измерительный комплекс для исследования подшипников качения

© | Крансуцкая Анастасия Алексеевна      kransutzkaya@yandex.ru  
| Тумакова Екатерина Владимировна

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Предложен измерительный комплекс на основе фазохронометрического метода для исследования подшипников качения и получения дополнительной информации о состоянии их рабочих поверхностей.*

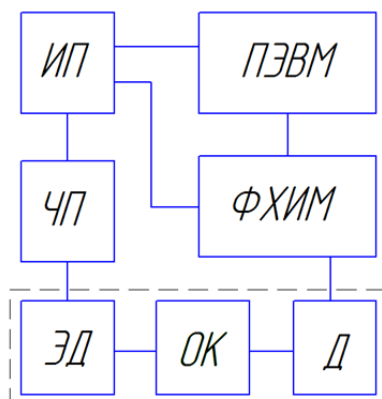
**Ключевые слова:** подшипники качения, измерительный стенд, фазохронометрический метод диагностики.

Современные системы исследования, мониторинга и диагностики машиностроительной продукции строятся на базе неразрушающих методов контроля. Объектами повышенного исследования в большинстве механизмов являются подшипниковые опоры, от технического состояния которых в значительной степени зависит безопасность эксплуатации механизма в целом. Причинами выхода подшипников из строя могут быть высокие нагрузки, чрезмерный натяг в посадке и, как следствие, слишком малый зазор, а также повреждения связанные с процессами усталости и неудовлетворительным смазыванием. Современное качество смазочных материалов не исключает износа деталей, а лишь уменьшает его интенсивность. Замена износившихся и разрушенных подшипников является одной из основных операций в деятельности ремонтных служб предприятий. Перечисленные особенности определяют важность вопроса нахождения соответствия между видами изнашивания и техническим состоянием подшипника качения с целью определения рациональных видов и параметров ремонтных воздействий для достижения максимальной длительности работы механизма [1].

Базой для достоверного расчета подшипниковой опоры является эксперимент. Однако экспериментальный путь улучшения характеристик подшипникового узла не всегда возможен. Причина состоит в том, что опора качения имеет достаточно много параметров, влияющих на эксплуатационные характеристики, и планируемый эксперимент, направленный на их улучшение, длится достаточно долго. Например, для некоторых высокоточных подшипниковых опор циклы сборки и разборки узла занимают несколько месяцев. Поэтому основным инструментом расчета и усовершенствования опоры качения является построение ее математической модели, опирающейся на результаты базовых исследований [2].

Для проведения подобных базовых исследований предлагается информационно-измерительный комплекс, реализованный в экспериментальном стенде на основе фазохронометрического метода диагностики циклических машин и механизмов. Изменяемой величиной являются интервалы времени, соответствующие кинематическим параметрам движения вращающихся элементов подшипникового узла. Обработка рядов интервалов времени позволяет получить стабильные характеристики для оценки технического состояния подшипника.

Структурная схема предложенного комплекса представлена на рисунке. На общем основании закреплены опора качения, с исследуемым подшипником, датчик — инкрементальный энкодер и привод — электродвигатель АИР56В2. Сигнал с датчика в виде парафазного синусоидального сигнала напряжения поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) фазохронометрического измерительного модуля (ФХИМ), оцифровывается и передается на персональный компьютер, в котором данные обрабатываются с помощью прикладного программного обеспечения.



Структурная схема комплекса:

ИП — источник питания; ЧП — частотный преобразователь; ЭД — электродвигатель; ОК — опора качения; Д — датчик; ФХИМ — фазохронометрический измерительный модуль; ПЭВМ — персональный компьютер

В данной системе измерительная информация снимается с вала. Такой вариант получения данных применим для диагностики закрытых подшипниковых узлов, в которые смазка вносится заранее и они не нуждаются в дополнительном уходе. Для взаимосвязи результатов измерений интервалов времени с конструкцией опоры качения и зарождающимися дефектами используют математическую модель в фазохронометрическом представлении на базе теории машин и механизмов [3]. Результаты расчета представляют собой ряды интервалов времени, соответствующие данным реальным измерениям.

Таким образом, предложенный информационно-измерительный комплекс, разработанный для проведения исследований подшипников на основе фазохронометрического метода, дает возможность выявить стабильные характеристики для оценки технического состояния подшипника и позволяет получить дополнительную уточняющую информацию для математической модели опоры качения.

## Литература

- [1] Крансуцкая А.А. Исследование геометрических параметров подшипников качения в целях повышения надежности эксплуатации. *Молодежный научно-технический вестник*. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн., 2015, № 5. [Электрон. ресурс] <http://sntbul.bmstu.ru/doc/839510.html> (дата обращения 01.06.2017).

- [2] Галахов М.А., Бурмистров А.Н. *Расчет подшипниковых узлов*. Москва, Машиностроение, 1988, 272 с.
- [3] Пронякин В.И., Кудрявцев Е.А., Комшин А.С., Потапов К.Г. Диагностика подшипников качения фазохронометрическим методом. *Известия вузов. Машиностроение*, 2017, № 3, с. 48–55.

## Measuring Complex for Research of Rolling Bearings

© | Kransutskaya A.A.  
Tumakova E.V.

kransutzkaya@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This paper presents the measuring complex for research of rolling bearings and receiving the information about the state of their working surfaces. The measuring system based on phase-chronometric method.*

**Keywords:** rolling bearings, measuring stand, phasechronometric method of diagnostics.

УДК 004.942; 621.165; 621.313.126

## Оптимизация функционирования и диагностика технических систем летательных аппаратов на базе энергоэффективных измерительных технологий

© | Метелкина Екатерина Дмитриевна  
Комшин Александр Сергеевич

katya2110m@yandex.ru  
komshin\_as@mail.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрено состояние дел, связанных с диагностикой сложных технических систем. Приведен анализ основных направлений, получивших развитие в настоящее время для прогнозирования и предупреждения аварийных ситуаций и катастроф. На примере углового редуктора вертолета построена измерительно-диагностическая система.*

**Ключевые слова:** фазохронометрический метод, контроль, вертолет, редуктор, энергетическая система, измерительная технология, метрологическое обеспечение

По мнению многих ведущих ученых мира мы уже вступили в эпоху четвертой промышленной революции, которая сопровождается тем, что цифровые технологии все глубже и глубже проникают в различные сферы нашей жизни на уровне самообучаемых систем, облачных технологий, аддитивных технологий, живых и биосистем и т. п.

*«Все новые достижения имеют одну общую особенность: они эффективно используют всепроникающую силу цифровых и информационных технологий... Аналогичным образом перспективные роботы не могут существовать без искусственного интеллекта, который в свою очередь во многом зависит от вычислительной мощно-*

сти... эти тренды ... (физический, цифровой и биологический) связаны между собой...», — К. Шваб [1].

Стоит отметить, что современный этап является особенным именно в части развития *технологий*. В то же время, нельзя не отметить роль и влияние процессов самоорганизации систем и нейронных сетей в различных отраслях: обеспечения безопасности технических объектов, предотвращения техногенных катастроф, авиационной и космической техники, экономики и управления массовым сознанием и др.

Постепенно рождаются более сложные межотраслевые системы, междисциплинарные направления, в основе своей построенные на процессах самоорганизации, характерных для живой природы и объектах биосферы.

Задача инновационного развития промышленности в рамках шестого технологического уклада сопровождается необходимостью эффективного сопровождения потенциально опасных объектов до полной замены изношенного оборудования новым, по единой информационной измерительной технологии.

Для прогнозирования и предупреждения аварийных ситуаций и катастроф необходимо внедрять существенно новые подходы [2, 3].

С целью диагностики, прогноза безаварийной работы, повышения ресурса, обеспечения безопасности эксплуатации циклических машин и механизмов существует комплекс разработок, включающий в себя [4]:

- диагностику состояния оборудования и его основных элементов в соответствии с требованиями нормативно-технической документации;
- непрерывный мониторинг и диагностику элементов циклических роторных систем по параметрам вибросостояния;
- непрерывный и дискретный мониторинг на основании результатов текущих измерений о прогнозе аварийных и внештатных режимов эксплуатации.

Специалисты и ученые выделяют несколько основных направлений, получивших развитие в ближайшее время [4]:

- диагностика на всех стадиях жизненного цикла сложного технического изделия, в том числе объектов машиностроения;
- определение рисков возникновения техногенных аварий и катастроф;
- мониторинг и оценка рисков в процессе эксплуатации.

В то же время следует выделить группу задач непрерывной эксплуатации сложных технических систем — объектов машиностроения [5, 6]. В процессе эксплуатации одной из ключевых задач является диагностика технического состояния функционирующего объекта. При этом для сложных циклических объектов машиностроения и вспомогательного оборудования, не выработавших ресурс, требуется *фундаментальное* научное обоснование возможности продления работы оборудования, учитывая, что для полного обновления отечественного парка необходимо порядка 10–15 лет.

Основой измерительно-вычислительных технологий поддержки жизненного цикла являются:

- оперативное в режиме реального времени использование прецизионной измерительной фазохронометрической информации;
- встроенные в объекты фазохронометрические блоки;
- постоянно идентифицируемые математические модели функционирующих объектов.

Итогом внедрения решений, основанных на современных достижениях науки и техники должны явиться не только более рациональный жизненный цикл эксплуатации техники, но и наиболее совершенный замкнутый цикл циркулирования — обо-

та металла, включая заготовительный, производственный, эксплуатационный, утилизационный этапы с последующим возвращением на заготовительный этап. Тем самым можно будет гарантировать минимальный ущерб экологии.

*Измерительно-вычислительные фазохронометрические технологии* предполагают уникальную с одной стороны и универсальную последовательность действий, которая позволяет независимо от исследуемого объекта обеспечивать единый подход к построению технологии информационно-метрологического сопровождения объектов машиностроения [7]:

- предварительное определение и перечень диагностируемых параметров и возможных дефектов машины и структурное разбиение машины на части, критически важные для диагностирования параметров и возможных дефектов;
- разбиение рабочего цикла машины и ее частей на отдельные фазы;
- определение диагностируемых параметров и возможных дефектов, математических моделей рабочего цикла частей машины;
- установку в частях машины прецизионных (с относительной погрешностью не более  $10^{-4}$  %) систем измерения фазы рабочего цикла, расположение датчиков обусловлено конструкцией, а места установки датчиков определяют с точки зрения получения наиболее полной информации о работе частей объекта;
- прецизионные измерения интервалов времени фаз рабочего цикла элементов и частей объекта и их взаимодействия с представлением обработанной измерительной информации в едином метрологическом формате на всех этапах жизненного цикла машины и в математическом моделировании рабочих циклов частей машины и их взаимодействия;
- уточнение значений параметров, входящих в математические модели, на соответствие текущему техническому состоянию машины, а также по результатам имитационного математического моделирования с использованием уточненных моделей определяют значения диагностируемых параметров и возможных дефектов объекта, по которым оценивают текущее техническое состояние.

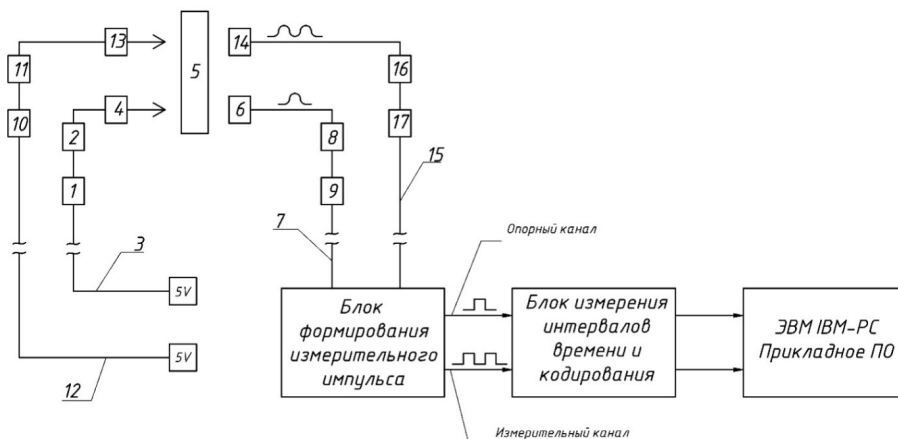
Следует отметить реальность и перспективность развиваемого подхода к информационно-метрологическому обеспечению жизненного цикла промышленной продукции в режиме его самоорганизации [8]. На этом фоне инженерные решения в машиностроении должны представлять интеллектуальные информационные измерительные системы, включающие в себя передовые решения из областей создания новых материалов, приборостроения, анализа данных, систем управления, реализации безлюдных технологий [9].

На примере углового редуктора вертолета рассмотрим построение измерительно-диагностической системы. На вертолет устанавливаются два угловых редуктора — один с правой (правый угловой редуктор), другой с левой (левый угловой редуктор) стороны. Редуктор пригоден для эксплуатации во всех климатических условиях.

Информационно-измерительная система стенда для диагностирования технического состояния углового редуктора предназначена для измерений частоты вращения и крутящего момента на выходном валу, температуры масла в редукторе, значения виброускорения, а также проведения сбора измерительной диагностической информации [10].

Функциональная схема фазохронометрической системы представлена на рисунке.

В качестве меры измерения количества информации используется понятие энтропии, которое выражает неопределенность [10].



Функциональная схема фазохронометрической системы:

2, 6, 11, 14 — входные коллиматоры; 3, 7, 12, 15 — кабели оптические; 4, 8, 13, 16 — выходные коллиматоры; 5 — измерительный диск; 9, 17 — фотодиоды

Минимальная скорость вращения выходного вала, согласно нормативной документации, составляет 3900 об/мин. Следовательно, максимально возможная длительность прохождения одного кванта будет составлять 154 мкс. Предельная погрешность измерения интервалов времени для фазохронометрического метода на данный момент составляет 100 нс.

Тогда информационная эффективность метода составит:

$$I = \log_2 \frac{154 \cdot 10^{-6} - 79 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 8,551 \text{ бит.}$$

Согласно [11] информационная эффективность метода вибрационной диагностики составляет 5,6 бита. Следовательно, фазохронометрический метод диагностики обладает большей информационной емкостью.

В целях получения наиболее полного и практически полезного результата рекомендуется совместное применение указанных двух методов.

Сравнение значений собственных частот механизма, полученных в результате математического и экспериментального моделирования, на частоте, соответствующей режиму «малый газ» представлены в таблице.

**Собственные частоты механизма, полученные в результате математического и экспериментального моделирования**

Значение собственных частот механизма, Гц		Относительная погрешность собственных частот $\Delta\omega$ , %
Результат математического моделирования	Результат обработки экспериментальных данных	
26,008	26,025	$6,5 \cdot 10^{-2}$
65,001	65,048	$7,2 \cdot 10^{-2}$
124,580	124,594	$1,1 \cdot 10^{-2}$
338,571	338,585	$4,2 \cdot 10^{-3}$

*Примечание:* К приведенным значениям добавлена случайная составляющая погрешности — 10 % номинального значения.



Предложенная информационно-диагностическая система на базе фазохронометрического метода, позволяет с высокой точностью оценивать текущее техническое состояние механизмов и выявлять зарождающиеся дефекты на ранней стадии.

**Вывод.**

Измерительно-вычислительной основой решения проблемы принят фазохронометрический метод, ориентированный на определение фазовых, частотных и временных характеристик вращательного движения сложных конструкций с учетом динамики и деградации свойств материалов в процессе эксплуатации без их разрушения в ходе испытаний, при использовании прецизионных хронометрических датчиков фаз рабочего цикла.

Решение проблемы оптимизации функционирования и диагностики технических систем летательных аппаратов на базе энергоэффективных измерительных технологий требует применения единого измерительного подхода, а также создания методологии и соответствующей системы информационно-метрологического сопровождения.

**Литература**

- [1] Шваб К. *Четвертая промышленная революция*. Сер. Top Business Awards. Москва, Эксмо, 2017, 208 с.
- [2] Махутов Н.А., Резников Д.О. Базовые критерии обеспечения защищенности технических систем. *Наука и безопасность*, 2015, № 3 (16), с. 49–54.
- [3] Махутов Н.А., Гаденин М.М., Чернявский А.О., Шатов М.М., Потапов К.Г., Киселев М.И., Пронякин В.И., Сырицкий А.Б., Комшин А.С. Анализ рисков отказов при функционировании потенциально опасных объектов. *Проблемы анализа риска*, 2012, т. 9, № 3, с. 8–21.
- [4] Махутов Н.А., Резников Д.О., Зацаринный В.В. Два типа сценариев аварий в сложных технических системах. *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*, 2014, № 2, с. 28–41.
- [5] Комшин А.С. Информационно-метрологическое обеспечение эксплуатации объектов машиностроения. *Стандарты и качество*, 2015, № 12 (942), с. 48–52.
- [6] Махутов Н.А., Гаденин М.М. Формирование и реализация мониторинга состояния роторных систем. Проблемы устойчивости функционирования стран и регионов в условиях кризисов и катастроф современной цивилизации. Матер. XVII Междунар. науч.-практич. конф. по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, 2012, с. 104–111.
- [7] А.С. Комшин и др. *Способ диагностирования циклических машин — металлорежущих станков фазохронометрическим методом*. Пат. № 2561236 РФ. Заявл. 2013158894/28, 30.12.2013. Оpubл. 27.08.2015, Бюл. № 24.
- [8] Киселев М.И. Фазохронометрия: проблемы и перспективы. *Приборы*, 2016, № 10, с. 51–55.
- [9] Комшин А.С. Мониторинг оборудования в сере энергетики — требование безопасности. *Стандарты и качество*, 2014, № 2 (919), с. 24–27.
- [10] Метелкина Е.Д. Система диагностирования технического состояния углового редуктора. *Приборы*, 2016, № 11, с. 14–20.
- [11] Бирюков Р.В., Киселев Ю.В. Определение информативности контрольно-диагностических комплексов авиационной техники с использованием энтропийной оценки. Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Современные направления теоретических и прикладных исследований» (Одесса, 19–30 марта 2013 г). Одесса, Издательство Куприенко С.В., 2013, с. 91–98.

## Optimization of Operation and Diagnostics of the Technical Systems of Aircraft on the Basis of Efficient Measurement Technologies

© Metelkina E.D.  
Komshin A.S.

katya2110m@yandex.ru  
komshin\_as@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The paper discusses the state of Affairs related to the diagnosis of complex technical systems. The analysis of the main spheres in the present time for prediction and prevention of emergency situations and disasters. For example, the angular gear of the helicopter built measuring and diagnostic system.*

**Keywords:** phase-chronometric method of control, helicopter, gear, energy system, measurement technology, metrological support.

УДК 006.013

## К вопросу необходимости разработки и использования стандартных образцов медицинского назначения

© Носова Анастасия Олеговна  
Кустиков Юрий Анатольевич

mast225856@yandex.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, 197101, Россия

*Современное развитие лабораторной медицины как высокотехнологической отрасли медицинской науки требует адекватного обеспечения метрологической корректности выполняемых измерений. В статье рассмотрен вопрос необходимости разработки стандартных образцов медицинского назначения, а также показаны методы достижения метрологической прослеживаемости.*

**Ключевые слова:** стандартный образец, лаборатория, метрология, прослеживаемость, медицина, диагностика.

Основные проблемы метрологии в сфере медицины — это доверие результатам лабораторных измерений и сходимость полученных результатов. Данная ситуация сложилась в связи с тем, что:

- практически отсутствует взаимодействие метрологов и клиницистов;
- отечественная система обеспечения единства измерений в лабораторной медицине частично не соответствует требованиям международных стандартов;
- практически отсутствует метрологическая прослеживаемость;
- отсутствует единый эталон — эталон количества вещества.

Главная цель метрологического обеспечения — это получение результатов измерений с заданной точностью, что особенно важно для измерений в сфере медици-

ны, так как здесь от полученных значений зависит, к примеру, постановка диагноза пациенту и последующее его лечения.

«Техническим фундаментом» метрологического обеспечения клиничко-лабораторных измерений должна быть система стандартных образцов, обеспечивающая воспроизведение единиц величин, характеризующих состав и свойства биологических материалов.

Стандартный образец состава или свойств вещества (материала) — средство измерений в виде определенного количества вещества или материала, предназначенное для воспроизведения и хранения размеров величин, характеризующих состав или свойства этого вещества (материала), значения которых установлены в результате метрологической аттестации, используемое для передачи размера единицы при поверке, калибровке, градуировке средств измерений, аттестации методик выполнения измерений и утвержденное в качестве стандартного образца в установленном порядке [1].

Важным свойством стандартных образцов является их прослеживаемость к единицам международной системы СИ [2].

В связи со сказанным выше, разработка прослеживаемых стандартных образцов медицинского назначения высшего метрологического уровня является одной из приоритетных задач государственных метрологических институтов.

Для стандартных образцов медицинского назначения прослеживаемость результатов измерений к единицам системы СИ может обеспечиваться двумя способами.

1) для стандартных образцов свойств биологических жидкостей (к примеру, водородный показатель рН, УЭП) требование прослеживаемости может достигаться через их аттестацию при помощи эталонов [2].

2) для стандартных образцов состава, из-за того что эталон количества вещества отсутствует, прослеживаемость к средствам измерений реализуется с использованием первичных методов посредством переходных коэффициентов, так как они имеют известные оцененные неопределенности. В качестве коэффициентов в рассматриваемом случае можно использовать молярную массу, число Авогадро, постоянную Фарадея и др.

Примерами первичного метода являются кулонометрия, гравиметрия. Стандартные образцы, аттестованные с помощью первичных методов, рассматриваются как первичные стандартные образцы и они имеют наивысшие метрологические характеристики.

Прочие методы (к примеру, хроматография, атомно-абсорбционная спектрофотометрия, спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и т. д.) считаются методами сравнения. Прослеживаемость стандартных образцов медицинского назначения, аттестованных с помощью методов сравнения, можно достичь только при условии использования первичных стандартных образцов или аттестованных смесей, приготовленных на их основе [3].

Существуют и иные, косвенные способы, например, достижение прослеживаемости с помощью методов с известными неопределенностями или через стандартные образцы, которые имеют значения с известными неопределенностями [2].

Отдельно необходимо рассказать про такую биологическую жидкость, как кровь — очень сложное по составу и свойствам вещество. Для того чтобы обеспечить высокий уровень точности измерений различных показателей крови, необходима система высокотехнологичных медицинских лабораторий. Внедрение современного оборудования обеспечит не только высокую точность измерений анализов, но и выпуск государственных стандартных образцов сыворотки крови,

без которых невозможно будет обслуживание оборудования и метрологическое сопровождение.

Итак, для дальнейшего развития лабораторной медицины необходимо:

- понимание клиницистами проблемы необходимости взаимодействия с метрологами. Руководителям клиничко-диагностических лабораторий и главным врачам лечебно-профилактических учреждений нужно понять, что метрология является важной составляющей в получении правильных и точных результатов для принятия правильных и последовательных решений при лечении пациентов;
- создание прослеживаемых стандартных образцов медицинского назначения;
- освоение современных измерительных технологий.

### Литература

- [1] ГОСТ 8.315–97. СИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения. Москва, Изд-во стандартов, 1998, 25 с.
- [2] Эмануэль А.В., Суворов В.И., Евсеенко О.В. Метрологическое обеспечение деятельности медицинской лаборатории. *Клиническая и лабораторная диагностика*, 2013, № 2, с. 41–44.
- [3] Конопелько Л.А., Суворов В.И. Проблемы и задачи интеграции России в международную систему единства измерений в лабораторной медицине. *Клинико-лабораторный консилуум*. Санкт-Петербург, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, 2009, № 4, с. 26–31.

## To the Question of Necessity for Development and Use of Standard Samples of Medical Purpose

© | Nosova A.O.  
Kustikov Y.A.

mast225856@yandex.ru

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies,  
Mechanics and Optics, Sint-Petersburg, 197101, Russia

*The modern development of laboratory medicine as a high-tech branch of medical science requires adequate provision of metrological correctness of the measurements. The article discusses the need to develop standard medical samples, as well as methods for achieving metrological traceability.*

**Keywords:** *standard sample, laboratory, metrology, traceability, medicine, diagnostics.*

УДК 53.082.36

## Бесконтактные аэродинамические методы измерения физических свойств жидкостей

© | Савенков Александр Петрович  
Мордасов Михаил Михайлович

savencow@yandex.ru  
mmm-tmb@rambler.ru

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, 392000, Россия

*Представлено описание бесконтактных методов и устройств для измерений вязкости и поверхностного натяжения жидкостей. Методы основаны на деформации струей газоповерхности контролируемой жидкости. Для размещения элементов измерительных устройств над поверхностью жидкости и определения степени ее деформации использованы лазерные триангуляционные детекторы расстояния. Все измерительные операции проводятся со стороны газовой фазы.*

**Ключевые слова:** бесконтактный метод, измерение, контроль, вязкость, поверхностное натяжение, плотность, жидкость, струя, газ.

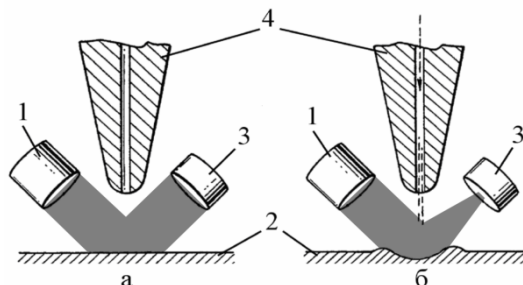
Качество многих технологических процессов, связанных с течением жидкостей, определяется их физическими свойствами: вязкостью и поверхностным натяжением. В частности, к таким процессам относятся нанесение покрытий на детали (покраска, пропитка), литье, экструзия и др. Вязкость и поверхностное натяжение являются важными показателями качества различных видов топлива и смазочных материалов [1].

При измерении вязкости и поверхностного натяжения в ряде случаев контакт средства измерения (СИ) с контролируемой жидкостью нежелателен. Агрессивные жидкости способны ухудшить метрологические характеристики СИ, а вязкие среды требуют значительных затрат времени и растворителей на очистку элементов измерительных устройств. Контакт СИ и объекта измерения может быть также недопустим по причине появления методической погрешности или механического разрушения объекта. Применение бесконтактных методов измерений обеспечивает устранение взаимного влияния СИ и объекта измерения, возможность проведения дистанционных измерений и повышение их оперативности.

Для бесконтактного измерения физических свойств жидкостей могут быть использованы методы, основанные на деформации поверхности контролируемого материала струей газа [2–4].

На рис. 1 представлена схема бесконтактного устройства для измерения поверхностного натяжения [3]. В исходном состоянии коллимированный луч источника 1, отражаясь от поверхности жидкости 2, сохраняет свою ширину (см. рис. 1, а). После подачи газа в струйную трубку 4 на ее выходе формируется струя, деформирующая поверхность жидкости 2 с образованием углубления (см. рис. 1, б). Поверхность углубления представляет собой вогнутое зеркало с изменяемой кривизной. Фокусное расстояние такого зеркала зависит от давления  $P$  газа на входе в трубку 4, расстояния  $H$  от ее среза до поверхности жидкости и поверхностного натяжения  $\sigma$ . Для изменения кривизны углубления варьируют давлением  $P$ . Расстояние  $H$  поддерживают постоянным.

О поверхностном натяжении  $\sigma$  жидкости 2 судят по давлению  $P$ , которое соответствует минимальной площади пятна излучения источника 1 на поверхности фотоприемника 3. При увеличении  $\sigma$  требуется большее давление  $P$  для сохранения одинаковой кривизны углубления. Статическая характеристика  $P(\sigma)$  устройства описывается функцией прямой пропорциональности.

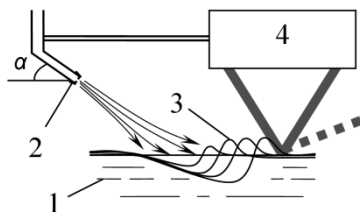


**Рис. 1.** Схема бесконтактного устройства для измерения поверхностного натяжения жидкостей

Для реализации метода требуется минимальная степень деформации поверхности жидкости, что существенно снижает влияние других физических свойств (плотности, вязкости) на результат измерений поверхностного натяжения.

Чтобы измерить вязкости жидкости, необходимо создать сдвиговое течение. С этой целью в аэрогидродинамических методах применяют колебательный режим взаимодействия газа и жидкости, импульсное и гармоническое воздействия газовой струи [1, 5]. Наиболее простым в реализации является импульсный метод с наклонным действием газовой струи, схема устройства для реализации которого представлена на рис. 2.

В исходном состоянии лазерный луч триангуляционного детектора 4 [6] отражается от недеформированной поверхности жидкости 1 и воспринимается фотоприемником детектора. В момент времени  $t_0$  на поверхность жидкости 1 под углом  $\alpha$  из сопла 2 направляют струю газа с постоянной скоростью. Под действием струи поверхность жидкости деформируется. В момент времени  $t_1$  волна 3 отклоняет отраженный луч, на выходе фотодетектора 4 формируется соответствующий сигнал, и действие струи газа прекращают. О вязкости судят по времени  $t = t_1 - t_0$  деформирующего действия струи.



**Рис. 2.** Схема бесконтактного устройства для реализации импульсного метода измерения вязкости

В представленных устройствах все измерительные операции проводятся со стороны газовой фазы. Жидкость может находиться в сосуде любых приемлемых размеров и формы. Допускается измерение свойств мутных и непрозрачных жидкостей. Такие особенности СИ наиболее полно соответствуют требованиям, предъявляемым к реализации бесконтактных методов.

Оптические системы, используемые в устройствах для определения степени деформации поверхности жидкости, необходимы также и для установки всех элементов представленных схем на заданное расстояние  $H$  относительно поверхности контролируемой жидкости.

*Прикладные научные исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по соглашению от 03.10.2016 г. № 14.577.21.0214.*

### Литература

- [1] Мордасов Д.М., Мордасов М.М., Савенков А.П. *Аэрогидродинамические эффекты в бесконтактных струйных методах неразрушающего контроля вязкости жидких веществ*. Москва, Физматлит, 2012, 352 с.
- [2] Pfund A. H., Greenfield E. W. Surface-tension measurements of viscous liquids. *Industrial and Engineering Chemistry*, 1936, vol. 8, no. 2, pp. 81–82. DOI: 10.1021/ac50100a001.
- [3] Pat. 5024080 US, G01N 11/00. *Paint viscosity monitoring system and method* / P.G. Backes. Appl. No. 503586. Filed 03.04.1990. Pat. 18.06.1991. 6 p.
- [4] Pat. 2192987 GB, G01N 11/00, G01N 9/00, G01N 13/02. *A device for measuring physical properties of liquids* / S. Nowinski. Appl. No. 8717205. Filed 21.07.1987. Pub. 27.01.1988. 5 p.
- [5] Мордасов М.М., Савенков А.П. Бесконтактные методы измерения вязкости жидкостей (обзор). *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 2013, т. 79. № 1, с. 27–35. DOI: 10.1134/S0020168514150126.
- [6] Savenkov A.P., Safonova M.E. A Non-contact Sensor of Distance to a Liquid Surface. *The World of Science without Borders: proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference of Young Scientists*, Tambov, TSTU Publishing House, 2016, pp. 128–132.

## Contactless Aerohydrodynamic Methods for Measuring the Physical Properties of Liquids

© | Savenkov A.P.  
Mordasov M.M.

savencow@yandex.ru  
mmm-tmb@rambler.ru

Tambov State Technical University, Tambov, 392000, Russia

*The description of non-contact methods and devices for the measuring the viscosity and surface tension of liquids is presented. Methods are based on the deformation of a tested liquid surface with the gas jet. Laser triangulation detectors are utilized for the placing the parts of measuring devices upon the liquid surface and determination the degree of its deformation. All measuring operations are performed from the gas phase.*

**Keywords:** *non-contact, measurement, testing, viscosity, surface tension, density, liquid, jet, gas.*

УДК 621.74.045

## Термостойкие керамические изделия для плавки и литья высокожаропрочных сплавов

© Варфоломеев Максим Сергеевич<sup>1</sup> varfolom2a@yandex.ru  
Моисеев Виктор Сергеевич<sup>1</sup> castingtlp@mati.ru  
Щербачева Галина Игоревна<sup>2</sup> galina7479@mail.ru

<sup>1</sup> Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, 121552, Россия

<sup>2</sup> ГНЦ «Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений», Москва, 105118, Россия

*На основе оксидов тугоплавких металлов и керамообразующих элементоксановых полимеров методом полусухого прессования изготовлены керамические тигли, обладающие повышенной термостойкостью и устойчивостью к циклическим теплосменам. Такие материалы являются перспективными в металлургической отрасли для плавки и литья химически активных высокожаропрочных сплавов.*

**Ключевые слова:** литье по выплавляемым моделям, корундовые керамические тигли, элементоксановые полимеры, высокожаропрочные сплавы.

Одним из методов точного литья в авиастроении является литье по выплавляемым моделям, которое позволяет в ряде случаев получать заготовки, приближенные к готовым изделиям, не требующие дополнительной обработки, что соответственно снижает расход металла и энергоресурсы.

На сегодняшний день рабочая температура современных жаропрочных сплавов на основе никеля достигла своего максимума, а, следовательно, актуальны исследования в области разработки новых высокожаростойких сплавов. Весьма перспективными материалами в газотурбинном двигателе (ГТД) являются литейные сплавы на основе ниобия и интерметаллидные титановые сплавы. Так, рабочая температура высокожаростойких ниобиевых сплавов достигает 1300 °С, что позволяет существенно увеличить рабочие характеристики ГТД. Однако для плавки и литья химически активных сплавов на основе ниобия и титана необходимо использовать новые наиболее огнеупорные, термо- и химически стойкие керамические материалы.



Применение керамических материалов на основе тугоплавких оксидов и кремнеземных связующих для высокожаропрочных сплавов не целесообразно, поскольку требования слишком высоки, а существующие керамические материалы не удовлетворяют им. Так, диоксид кремния при температурах выше 1400 °С активно взаимодействует с поверхностным слоем литых изделий, ухудшая их эксплуатационные свойства. Например, при использовании жаропрочных никелевых сплавов, в условиях повышенных температур, наблюдается активное взаимодействие диоксида кремния с расплавом.

В настоящее время перспективным направлением развития керамических материалов (тиглей, стержней, оболочек), предназначенных для получения высокожаропрочных изделий авиационных двигателей методом литья по выплавляемым моделям, является создание высокотермостойкой керамики на основе алюмоксанового связующего и тугоплавких оксидов. К таким оксидам относятся: оксид иттрия ( $Y_2O_3$ ), диоксид циркония ( $ZrO_2$ ), оксид алюминия ( $\alpha-Al_2O_3$ ).

Керамообразующие элементоорганические олигомеры (полимеры) являются перспективными прекурсорами для получения высокотемпературных керамических материалов нового поколения. В ГНЦ РФ «ГНИИХТЭОС» разработаны эффективные методы получения компонентов высокотермостойкой керамики оксидного состава ( $Al_2O_3$ ,  $Al_2O_3-Y_2O_3$ ,  $Al_2O_3-MgO$ ): связующие на основе керамообразующих элементоксановых олигомеров (органоалюмоксанов, органоиттриоксаналюмоксанов, органомагнийоксаналюмоксанов) [1–3].

Керамические материалы на основе оксида алюминия востребованы в металлургической промышленности, особенно при плавке и литье химически активных металлов и сплавов. Широкое применение алюмооксидной керамики определяется ее повышенными механическими свойствами, огнеупорностью, устойчивостью к расплавам химически активных металлов и сплавов до 1900 °С, что позволяет использовать эту керамику в качестве высокотемпературного и химически стойкого материала.

Цель данной работы — исследование тугоплавких огнеупорных материалов и алюмоксановых связующих при изготовлении керамических тиглей и форм для плавки и литья высокожаропрочных химически активных сплавов.

Для получения высококачественных керамических материалов были проведены исследования состава, выбор огнеупорного наполнителя, связующего (матрицы) и их соотношений. В качестве структурообразующей матрицы опытных образцов керамических тиглей использовали элементоксановые олигомеры ( $Al_2O_3$ ,  $Al_2O_3-Y_2O_3$ ,  $Al_2O_3-MgO$ ), а в роли наполнителя — смесь порошков электрокорунда. При выборе исходных материалов учитывали родственную природу матрицы и огнеупорного наполнителя.

В процессе формования керамического изделия электроплавленный корунд выполняет роль огнеупорной основы, а связующее придает изделию необходимую прочность и пористость при спекании и во многом определяет эксплуатационные характеристики изделия.

В качестве опытных изделий с помощью метода полусухого прессования керамической массы на гидравлическом прессе. Спекание материала осуществляли в электрической печи при температуре 1500 °С были изготовлены керамические плавильные тигли различного химического состава ( $Al_2O_3-Al_2O_3$ ,  $Al_2O_3-Al_2O_3 \cdot Y_2O_3$ ,  $Al_2O_3-Al_2O_3 \cdot MgO$ ).

Растворы элементоксановых поли(олиго)меров, используемые в качестве связующих материалов, в процессе прессования придают керамической массе пластич-

ность и свойства формуемости, а в процессе обжига из них формируются алюмооксидные структуры, модифицированные тугоплавкими соединениями.

Нами были получены монооксидные мелкозернистые керамические тигли с повышенными прочностными характеристиками, состоящие полностью из фазы корунда ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), а также изделия смешанного состава (корунд  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  и алюмоиттриевый гранат  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ , корунд  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  и алюмомагниева шпинель  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ).

Изготовленные керамические тигли обладают повышенной термостойкостью и устойчивостью к циклическим теплосменам и могут применяться для плавки и литья химически активных высокожаропрочных сплавов. Использование их позволит повысить огнеупорность плавильных тиглей и керамических форм, а следовательно качество литых изделий.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ  
в рамках научного проекта №17-03-00331А.*

### Литература

- [1] Щербакова Г.И., Цирлин А.М., Стороженко П.А., Ефимов Н.К., Флорина Е.К., Шемаев Б.И., Муркина А.С. *Способ получения полиалюксидных оксидов, бескремнеземное связующее на их основе*. Пат. 2276155 РФ, СО7F5/06, № 2004130613/04, заявл. 21.10.2004, опубл. 10.05.2006, бюл. № 13.
- [2] Щербакова Г.И., Стороженко П.А., Кутинова Н.Б., Варфоломеев М.С., Сидоров Д.В., Кривцова Н.С. *Способ получения иттрийсодержащих органоалюксидов, связующие и пропиточные композиции на их основе*. Пат. 2451687 С1 РФ, СО7F5/06, СО7F5/00, № 2011106115/04, заявл. 18.02.2011, опубл. 27.05.2012, бюл. № 15.
- [3] Щербакова Г.И., Кривцова Н.С., Кутинова Н.Б., Апухтина Т.Л., Варфоломеев М.С., Стороженко П.А. *Способ получения органомагнийоксидных оксидов, связующие и пропиточные материалы на их основе*. Пат. 2615147 С1 РФ, СО7F3/02, СО7F5/06, СО4В35/443, № 2016108609, заявл. 10.03.2016, опубл. 04.04.2017, бюл. № 3.

## Heat Resistant Ceramic Products Melting and Casting High-Temperature Treated Alloys

© Varfolomeev M.S.<sup>1</sup>  
Moiseev V.S.<sup>1</sup>  
Shcherbakova G.I.<sup>2</sup>

varfolom2a@yandex.ru  
castingt1p@mati.ru  
galina7479@mail.ru

<sup>1</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 121552, Russia

<sup>2</sup> SCC RF "State Research Institute for Chemistry and Technology of Organoelement Compounds", Moscow, 105118, Russia

*Ceramic crucibles with high heat resistance and resistance to thermal cycling have been fabricated on the basis of refractory metal oxides and ceramic forming elementoxane polymers by a semidry molding method. These materials are promising in the metallurgy for melting and casting chemically active high-temperature treated alloys.*

**Keywords:** investment casting, corundum ceramic crucibles, elementoxane polymers, high-temperature treated alloys.

УДК 621.74.043(031)

## Анализ работы вертикально-щелевой литниковой системы при литье в кокиль отливок из алюминиевых сплавов

© | Зарубина Ольга Александровна  
Коротченко Андрей Юрьевич

zarubinaoa@rambler.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрено влияние геометрии литниковой системы на характер течения расплава в каналах формы при литье в кокиль отливок из алюминиевых сплавов. Показана возможность управления скоростным режимом заполнения формообразующей полости кокиля при использовании щелевой литниковой системы путем применения специального дополнительного элемента этой системы.*

**Ключевые слова:** *алюминиевый сплав, волнообразование, кокиль, литниковая система, фонтанирование расплава, окисные плены, управление скоростью расплава.*

При изготовлении высоких корпусных отливок из алюминиевых сплавов с повышенными требованиями по механическим свойствам литниковая система (ЛС) должна обеспечивать спокойное течение расплава как в каналах этой системы, так и в формообразующей полости формы. При нарушении этих условий возможно вспенивание и разбрызгивание расплава, волнообразование и другие негативные процессы, которые могут привести к захвату газов, замешиванию окисных плен в расплав и, как следствие этого, снижению механических свойств отливок.

Работы А.А. Бочвара и А.Г. Спасского уже в 1940-х годах позволили получать такие отливки путем использования вертикально-щелевых ЛС [1]. Корректно спроектированная конструкция данной системы должна обеспечивать спокойное поступление металла в полость формы и распределение температур в расплаве, способствующее направленному затвердеванию отливок. Недостаток данных ЛС — их высокая металлоемкость.

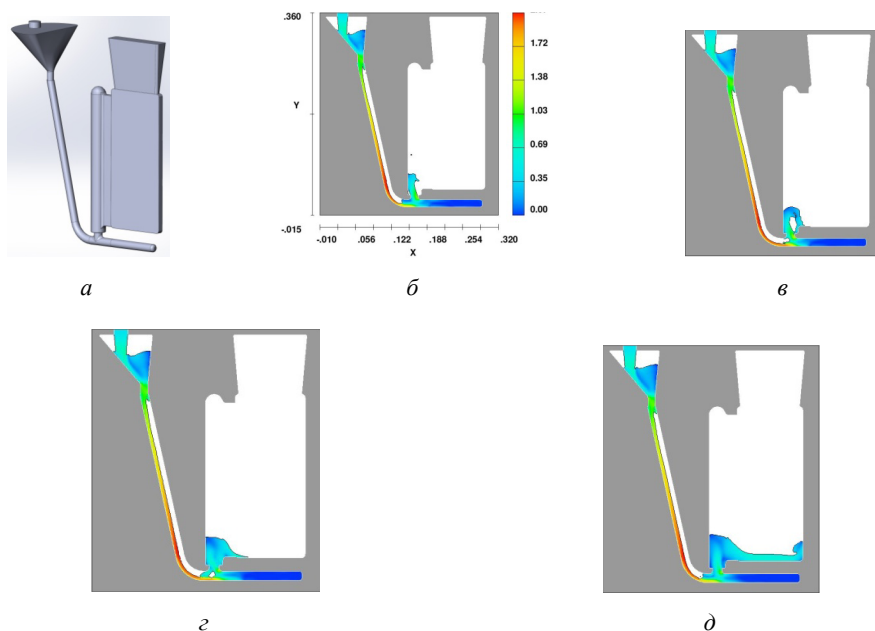
Цель представленной работы — разработка и исследование такой конструкции ЛС, которая в большей степени обеспечивает возможность управления скоростным режимом заполнения формы как на начальном этапе, когда наиболее вероятно фонтанирование и образование обратных волн, так и при последующем заполнении рабочей полости кокиля расплавом. Кроме этого, решалась задача сохранения положительных функциональных особенностей при меньшей массе ЛС.

Объектом исследования была вертикально-щелевая ЛС. Исследования проводили с использованием программы FLOW-3D. При выполнении расчетов учитывали свойства сплава АК9 (А360), в качестве свойств материала кокиля — теплофизические свойства углеродистой стали. Начальную температуру формы принимали равной 573 К. Теплофизические свойства огнеупорного покрытия по всей поверхности кокиля, контактирующей с расплавом, на этом этапе исследований принимали одинаковыми и соответствующими кокильной краске с теплопроводностью 0,15 Вт/(мК) и толщиной 0,15 мм (heat transfer coefficient — 1000).

Модель отливки — пластина размером 234×100×10 мм. Геометрия и размеры основных элементов литниковой системы принимались с учетом данных наших ра-

бот [2, 3]. У всех моделей диаметр стояка — 12,5 мм, угол его наклона 12,5°. Выпускное отверстие чаши имело диаметр 11 мм, диаметр колодца — 25 мм, толщина и ширина щели составляют 9 и 17,5 мм соответственно. При выполнении расчетов объемный расход расплава поступающего в форму составлял  $1,41 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Так как колодец и щель не обеспечивают задерживание шлаковых включений, то необходимо осуществлять их задержание до входа металла в эти элементы. Поэтому использовали щелевую ЛС с удлиненным литниковым ходом [4], результат работы которой представлен на рис. 1. Также следует отметить, что с уменьшением длины литникового хода возрастало возмущение потока. Этот результат хорошо согласуется с данными других исследователей. Влияние геометрических размеров остальных элементов было аналогично как в системе с нижним питателем [5].



**Рис. 1.** Результаты моделирования работы щелевой литниковой системы с удлиненным литниковым ходом:

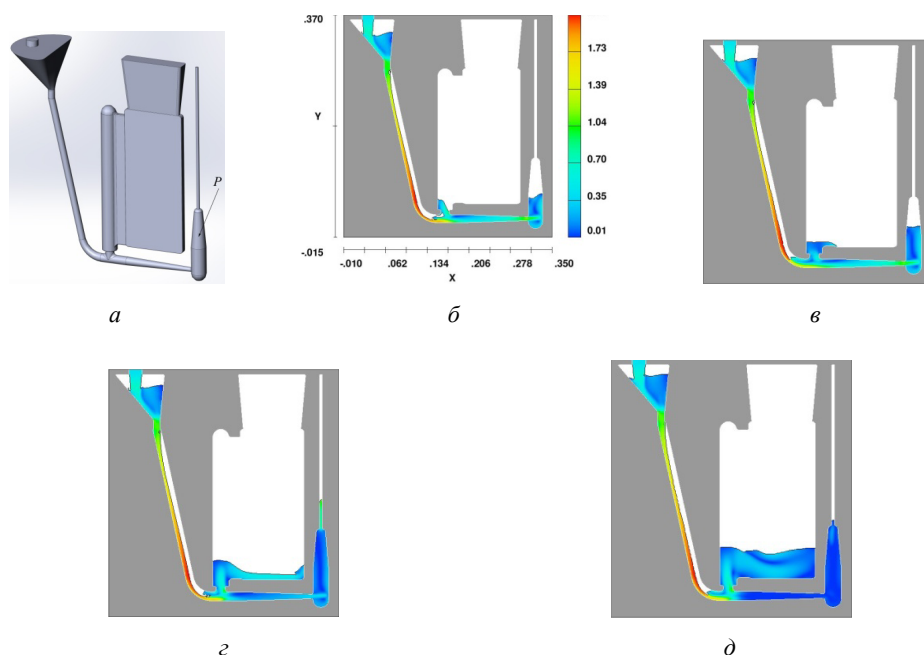
*a* — 3D-модель; *б* — 0,80 с (справа — шкала скорости); *в* — 0,86 с; *г* — 0,91 с; *д* — 1,13 с

Использование в такой литниковой системе дополнительной полости *P* (рис. 2), оказало существенное влияние на скоростной режим заполнения рабочей полости и позволило свести в ней к минимуму процесс волнообразования. Этот минимум обусловлен необходимостью сохранения некоторого перегрева расплава на носике потока при подходе его первых порций к противоположной от питателя стенке.

В таблице показано влияние циркуляционных процессов, происходящих при заполнении формы расплавом, на распределение температур в расплаве. Из таблицы следует, что при снижении температуры заливки циркуляция к концу заполнения уменьшается, создавая условия для направленного затвердевания отливки.

### Влияние температуры $T_{\text{зал}}$ заливки на распределение температуры

$T_{\text{зал}}, \text{K}$	Время от начала заполнения формы, с		
	1,01	1,55	8,60
889			
899			
923			



**Рис. 2.** Результаты моделирования работы щелевой литниковой системы с регулятором скорости расплава:

*a* — 3D-модель (*P* — регулятор); *б* — 0,97 с (справа — шкала скорости);  
*в* — 1,15 с; *г* — 1,51 с; *д* — 1,93 с

В качестве основных выводов по работе можно отметить, что путем применения геометрии литникового хода и регулятора *P*, соответствующих конфигурации отливки, можно обеспечить требуемое изменение скорости расплава в форме на всех этапах ее заполнения, а также создать условия для направленного затвердевания отливок.

### Литература

- [1] Дубицкий Г.М. Литниковые системы. Москва, Свердловск, Машгиз, 1962, 255 с.
- [2] Зарубин А.М., Зарубина О.А. Анализ работы литниковых воронок при литье в кокиль отливок из алюминиевых сплавов. *Литейщик России*, 2015, № 10, с. 44–46.
- [3] Зарубин А.М., Зарубина О.А. Исследование процесса течения расплава в стояках при литье в кокиль. *Литейное производство*, 2016, № 1, с. 25–28.
- [4] Campbell J. *The New Metallurgy of Cast Metals: Casting*, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, 2003, 337 p.
- [5] Зарубин А.М., Зарубина О.А. Управление скоростью течения расплава в форме при литье в кокиль алюминиевых сплавов. *Литейное производство*, 2017, № 6, с. 16–20.

## The Analysis of Web Gating System for Production of Castings, Made of Aluminum Alloys in Chill Mold

© | Zarubina O.A.  
Korotchenko A.Y.

zarubinaoa@rambler.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article considers effect of the Gating system geometry on the flow pattern of the melt filling the channels of the mold for casting the permanent mold casting of aluminum alloys. It is shown the possibility of control speed limit of filling the cavity molds when using web Gating system by the use of special additional element of this system.*

**Keywords:** aluminum alloy, making wave, chill mold, gating system, the flowing of alloy, oxide films, speed control of the melt.

УДК 621.74

## Методики расчета литниковых систем в МИМ-технологии

© | Хилков Дмитрий Эдуардович  
Коротченко Андрей Юрьевич

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Показан характер движения металлической смеси при заполнении формы. Приведены примеры моделирования процесса заполнения и способы расчета литниковых систем в МИМ-технологии.*

**Ключевые слова:** литниковая система, МИМ-технология, металлическая смесь, литье под давлением.

В последние несколько лет литье металлических смесей успешно развивается благодаря ряду особенностей, выделяющих этот способ литья из других, уже давно используемых в промышленности специальных способов литья. В работе [1] дано описание технологии литья металлических смесей (МИМ-технологии), которая позволяет расширять область применения способа литья под давлением для отливок из высокотемпературных сплавов (прежде всего, сталей разных марок, сплавов Ti, Mo, сплавов Fe с Ni), изготавливая изделия с высокими служебными свойствами. Для обеспечения заявленных свойств необходимо получить качественную заготовку на стадии литья под давлением, что подразумевает контроль множества факторов.

В данном докладе рассмотрен вопрос расчета литниковой системы (ЛС) в МИМ-процессе, которая включает в себя центральный литниковый канал, разводящие, подводящие и впускные литники. По центральному литниковому каналу металлическая смесь поступает из камеры прессования в пресс-форму. Разводящие и подводящие литники отходят от центрального литника и подводят смесь в сторону формирующих

полостей. Впускные литники являются продолжением разводящих или подводящих литников с меньшим сечением, которые подводят металлическую смесь в формообразующую полость.

Литниковая система должна обеспечивать плавное заполнение полости пресс-формы, чтобы избежать захвата воздуха. По рекомендациям авторов [2] центральный литниковый канал должен быть около 6 мм с уклоном в 5°. В конце литника предусмотрен зумпф, куда попадает первая порция смеси. Более подробного расчета ЛС для МИМ-технологии в открытых источниках нет.

По результатам ряда экспериментов [3] были сделаны выводы, что металлическая смесь ведет себя как упруго-вязко-пластическое тело. Поэтому, в первом приближении, можно опираться на расчеты литниковых систем литья под давлением пластмасс. Расчет следует начинать с выбора расположения отливки в пресс-форме, их количества и выбрать место для подвода материала. Как правило, расчет литниковой системы начинают с самого узкого сечения:

$$F_{н.с} = \frac{G \cdot 1000}{\rho_1 \tau \omega_{вн}},$$

где  $G$  — масса отливки, кг;  $\rho_1$  — плотность расплава, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  — продолжительность заполнения формы, с;  $\omega_{вн}$  — скорость выпуска расплава, м/с.

После определения площади узкого сечения (в литье под давлением практически всегда это питатель) конструктивно устанавливаем его размеры. Далее рассчитываем площади сечения и размер вентиляционных каналов. Аналитическим путем определяем места расположения вент и промывников.

### Литература

- [1] Коротченко А.Ю., Турунтаев И.В., Тверской М.В., Хилков Д.Э. Развитие специальных способов литья. *Литейное производство*, 2017, № 2, с. 21–25.
- [2] Donal F. *Heaney Handbook of metal injection molding*. Wood head Publishing Limited, 2012, 586 с.
- [3] Коротченко А.Ю., Голенков Ю.В., Тверской М.В., Хилков Д.Э. Моделирование течения металлических смесей в литейной форме. *Литейное производство*, 2017, № 5, с. 18–22.

## Methods of Calculation of Gating Systems in MIM-technology

© | Khilkov D.E.  
| Korotchenko A.Y.

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The nature of the movement of the metal mixture when filling out the form. Examples of modeling the process of filling. Shows the ways of calculating the gating systems in MIM technology.*

**Keywords:** *gating system, MIM-technology, metal compound, injection molding.*



УДК 621.74

## Моделирование уплотнения стержневой смеси

© Хилкова Анастасия Андреевна  
Коротченко Андрей Юрьевич

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрено моделирование пескострельного процесса надува стержневой смеси с использованием пакета программ Flow-3D. Моделирование позволяет лучше понять механизм протекания пескострельного процесса — заполнения стержневого ящика и уплотнения смеси. Разрабатывая и исследуя различные варианты конструктивного расположения надувных отверстий и вент, и изменяя их сечения, можно найти рациональные значения параметров, при которых обеспечивается качество стержня.*

**Ключевые слова:** пескострельный процесс, моделирование, исследование.

До сих пор отсутствует единство во мнениях о механизме пескострельного процесса. Одни специалисты считают решающим фактором кинетическую энергию струи, другие — давление, создаваемое при фильтрации воздуха [1, 2]. Также нет устоявшихся рекомендаций по выбору параметров процесса: давления, быстродействия клапана, формы и диаметра сопел, площади и расположения вент. Возможно, что и как для других динамических процессов, эти параметры для конкретной машины и стержней можно назначить только по опытным данным или на основе содержательного компьютерного моделирования.

Существует Flow-3D — специализированный программный пакет гидродинамических расчетов (CFD), который позволяет моделировать большое разнообразие задач течения жидкости со свободной поверхностью, а так же совместное движение твердой и газообразной сред. Также Flow-3D позволяет понять физику процесса и получить конкретные численные значения его параметров.

При моделировании пескострельного процесса принимается ряд допущений, значительно упрощающих и снижающих вычислительные ресурсы. Компьютерная геометрическая модель позволяет использовать сокращенную геометрию стержня, она может включать в себя один стержень в ящике, надувные и вентиляционные отверстия. Для расчетов задают только те значения переменных процесса, которые можно контролировать на практике.

Пескострельный процесс изготовления стержней предполагает высокую скорость заполнения стержневого ящика воздушно-песчаной смесью. При моделировании стержневой ящик заполняют непрерывным потоком, а не отдельными частицами песка. Чистый воздух представляют в виде адиабатических пузырей. Двухфазную среду (воздух/песок) моделируют с помощью модели течения потока.

Венты моделируют как клапаны с таким же эффективным сечением; они обеспечивают удаление воздуха, проходящего через песок. Общий коэффициент вент представляет собой множитель, который учитывает усредненные потери потока в районе отверстия вследствие затора песком. Также этот коэффициент учитывают при замене вент клапаном и определении всех коэффициентов клапанов при моделировании. Общий коэффициент вент можно рассчитать по формуле [3]:

$$C_{9,g} = \left( \frac{2(1 - f_s^{\text{mx}})}{3f_s^{\text{mx}}} \right)^{1/2} \left( \frac{L}{d_g} \right)^{1/2},$$

где  $f_s^{\text{mx}}$  — максимально возможная объемная доля твердой фазы;  $L$  — среднее расстояние между воздушным карманом и отверстием;  $d_g$  — средний диаметр зерна.

Механический затор песка происходит при такой его объемной доле, выше которой поток испытывает сопротивление из-за взаимодействия зерен. Приемлемое значение составляет 0,62. Плотная упаковка соответствует объемной доли песка, при которой поток будет заблокирован. Когда объемная доля превышает 0,995 (плотная упаковка), скорость этого элемента устанавливается равной нулю. Для сферических песчинок объемная доля, как правило, равна 0,63.

Средний диаметр зерна составляет 0,25 мм, а его плотность  $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$ . Плотность и вязкость газа определены для воздуха в системе СГС:

$$\rho = 0,001225 \text{ г/см}^3 (1,225 \text{ кг/м}^3) \text{ и } \eta = 0,00017 \text{ П.}$$

Для точного моделирования заполнения стержневого ящика важно учесть тот факт, что движение воздуха и песка существенно влияет на характер заполнения. Аэродинамические потоки обычно вызывают движение частиц смеси, в то же время из мест, в которых смесь претерпевает уплотнение, воздух вытесняется и уходит сквозь венты и зазоры в разъемах. Поэтому нельзя пренебречь и воздушной компонентой и поведением частиц смеси.

### Литература

- [1] Блайзер П., Йеоманс Н.П. *Проектирование конструкции стержневых ящиков с помощью компьютерного моделирования процесса их заполнения* [Электрон. ресурс]. URL: [www.ruscasting.ru/files/file523.pdf](http://www.ruscasting.ru/files/file523.pdf) (дата обращения 18.09.2017).
- [2] Орлов Г.М. *Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм*. Москва, Машиностроение, 1988, 264 с.
- [3] Walker M., Palczewski S., Snider D., Williams K. *Modeling Sand Core Blowing: Simulation's next Challenge. Modern Casting*, 2002, April, pp. 41–43.

## Modeling of compaction of the core mixture

© | Khilkova A.A.  
| Korotchenko A.Y.

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The paper discusses modeling pescetrullo process of blowing of core mixture using the software package Flow-3D. Simulation allows to better understand the mechanism of occurrence of pescetrullo process of filling the core box and seal mixture. Developing and exploring the different options of design arrangement of inflator and vent holes, and changing their cross section, it is possible to find rational values of parameters, which provide the quality web.*

**Keywords:** *pescostrujnym process, modeling, research.*

УДК 621.746:771

### Напряженное состояние системы бойки — полоса при получении листов из стали для сварных труб на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации

© | Билалов Дамир Харасович

Лехов Олег Степанович

Михалев Александр Викторович

Шевелев Максим Михайлович

master\_ddd@mail.ru

MXLehov38@yandex.ru

mialex@trubprom.com

MMShevelev@mail.ru

Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, 620012, Россия

*Представлены результаты исследования напряженного состояния системы бойки-полоса при получении листов из стали для сварных труб на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации. Изложена постановка задач и результаты определения напряжений в очаге циклической деформации и в стенках-бойках с каналами от усилий обжатия заготовки. Приведены закономерности распределения осевых напряжений в стенках-бойках установки при получении листов из стали 09Г2С толщиной 3...8 мм и шириной 2250 мм.*

**Ключевые слова:** установка, стенка-боек, напряжение, непрерывное литье, деформация, лист, сталь.

Разработана компактная установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации, которая позволит решить многие проблемы толстолистовой прокатки, особенно при производстве листов из стали для сварных труб [1, 2]. На рис. 1 представлена схема такой установки, состоящая из неразъемного кристаллизатора 1, двух суппортов 2 со стенками-бойками 4 и тянущего устройства 5. Каждый суппорт установлен на двух эксцентриковых валах 3, синхронное вращение которых осуществляется от приводного электродвигателя. Во время рабочих ходов стенки-бойки одновременно с формированием полосы из оболочки слитка с жидкой фазой и обжатием затвердевшего металла вытягивают слиток из кристаллизатора и продвигают полосу по направлению литья.

Для оценки эффективности совмещенного процесса одновременно с исследованием напряженно-деформированного состояния металла в очаге циклической деформации определяли поле напряжений в стенках-бойках установки.

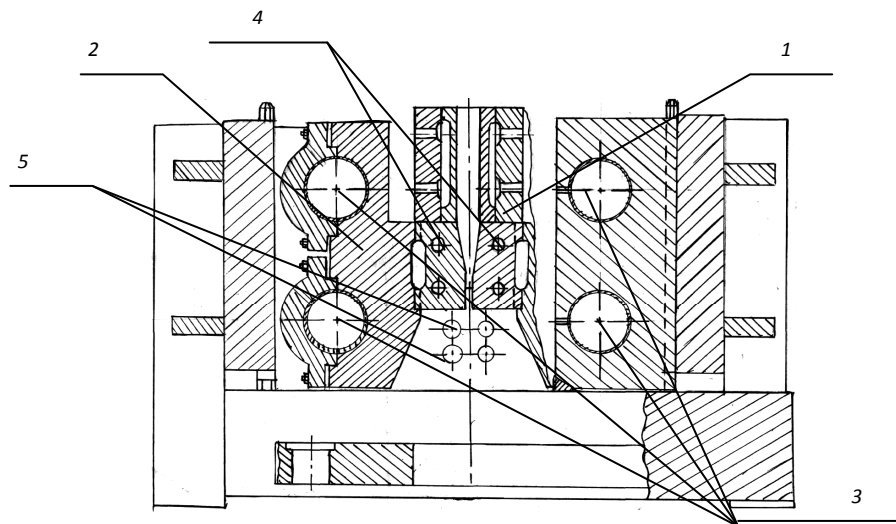


Рис. 1. Схема установки совмещенного процесса непрерывного литья и циклической деформации

Рассмотрим получение листа сечением  $3-8 \times 2250$  мм из стали 09Г2С. Температура тонкого сляба —  $1200$  °С. Эксцентриситет эксцентрикового вала —  $5$  мм, угол наклона рабочей поверхности стенки-бойка —  $12,5^\circ$ . Скорость вытягивания слитка из неразъемного кристаллизатора —  $2,5$  м/мин. Скорость вращения эксцентриковых валов —  $110$  мин<sup>-1</sup>.

Для решения поставленной задачи использован пакет ANSYS [1–3].

На рис. 2 представлены результаты расчета напряжений на части линии контакта очага деформации с бойком. Полученные результаты свидетельствуют о благоприятной с позиции получения качественных листов из стали схемы напряженного состояния в очаге циклической деформации с преобладанием высоких (до минус  $214$  МПа) сжимающих напряжений.

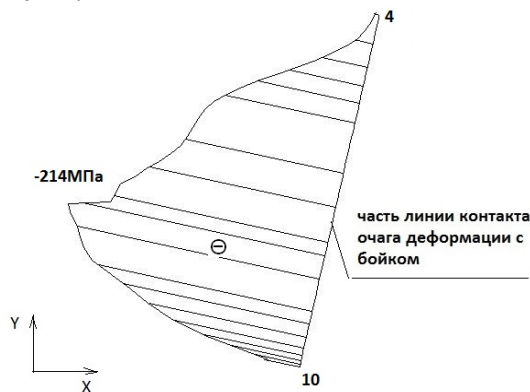


Рис. 2. Характер напряжений по оси  $OX$  на части линии контакта очага деформации с бойком

Для определения напряжений в стенках-бойках использован алгоритм решения краевых задач теории упругости методом конечных элементов в объемной постановке [3, 4].

Модель стенки-бойка для расчета приведена на рис. 3. Материал стенки-бойка — сталь 45ХНМ. Толщина стенки-бойка по верхней плоскости — 70 мм. Длина стенки-бойка — 570 мм. Диаметр охлаждающих каналов — 20 мм.



Рис. 3. Модель для расчета и характер нагружения стенки-бойка

Результаты расчета напряженного состояния стенки-бойка установки от усилия обжатия показаны на рис. 4.

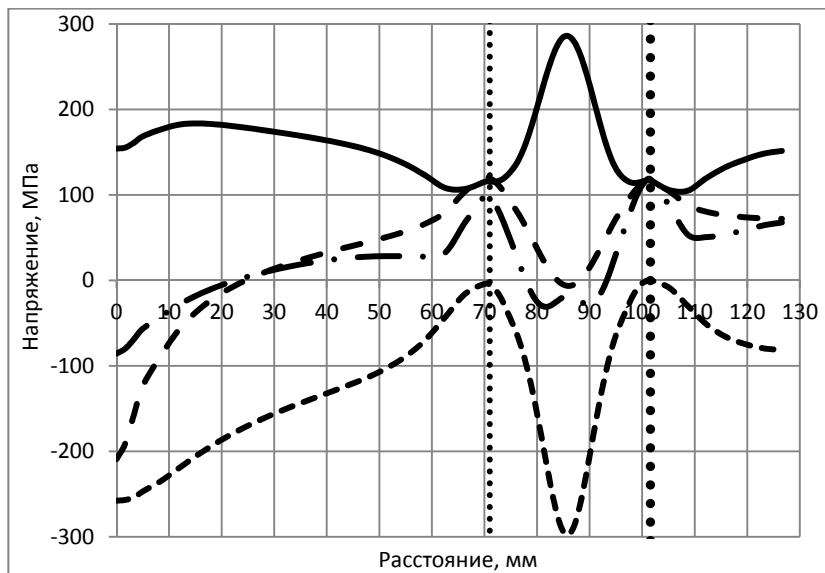


Рис. 4. Характер напряжений от воздействия на боек усилия обжатия

Увеличение сжимающих напряжений в стенках-бойках в зоне каналов связаны с наличием концентрации напряжений. Так, по линии P5, расположенной между каналами, напряжение по оси X находится на уровне минус 158 МПа, а по линии P6, проходящей по образующей канала, напряжение достигает значения минус 300 МПа на оси размещения каналов в корпусе бойка (см. рис. 4). Коэффициент концентрации в этом сечении равен  $300/158 = 1,9$ .

Наибольшие сжимающие напряжения возникают в направлении осей  $OX$  и  $OY$  и достигают значения минус 300 МПа. Наибольшие растягивающие напряжения наблюдаются в области каналов стенок-бойков, причем максимального значения они достигают в направлении осей  $OY$  и  $OZ$ , составляя 90...140 МПа.

### Литература

- [1] Лехов О.С., Комратов Ю.С. Совмещенные процессы непрерывного литья и деформации для производства проката. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2009, 411 с.
- [2] Лехов О.С., Гузанов Б.Н., Лисин И.В., Билалов Д.Х. Исследование совмещенного процесса непрерывной разливки и циклической деформации для получения листов из стали. *Сталь*, 2016, № 1, с. 52.
- [3] Лехов О.С. Исследование напряженно-деформированного состояния системы валки-полоса при прокатке широкополочной балки в клетях универсально-балочного стана. Сообщение 1. *Известия вузов. Черная металлургия*, 2014, № 10, с. 37–41.
- [4] Работнов Ю.И. *Механика деформируемого твердого тела*. Москва, Наука, 1979, 744 с.

## The Stress State of the System Anvil-Strikers — Strip upon Receiving the Sheets of Steel Welded Pipe in the Plant of Combined Continuous Casting and Deformation

©	Bilalov D.H.	master_ddd@mail.ru
	Lekhov O.S.	MXLehov38@yandex.ru
	Mikhalev A.V.	mialex@trubprom.com
	Shevelev M.M.	MMShevelev@mail.ru

Russian State Vocational and Pedagogical University, Ekaterinburg, 620012, Russia

*The results of the investigation of the stressed state of the anvils-strip system are presented in the production of sheets of steel for welded pipes at a combined continuous casting and deformation plant. The statement of the problems and the results of the determination of stresses in the zone of cyclic deformation and in the walls-anvils with channels from the compression forces of the workpiece are outlined. The regularities of the distribution of axial stresses in the walls-anvil of the plant during the production of sheets of steel 09Г2С with a thickness of 3-8 mm and a width of 2250 mm are presented.*

**Keywords:** *plant, wall-anvil, stress, continuous casting, deformation, sheet, steel.*

УДК 621.98.043

## Исследование влияния температуры на механические характеристики матриц одноугловой гибки, изготовленных FDM-прототипированием

© | Григоренко Григорий Дмитриевич  
Евсюков Сергей Александрович

GrigGD@ya.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрен FDM-метод послойного наплавления полимера аддитивных технологий, как альтернативный способ получения матриц для одноугловой гибки в мелкосерийном производстве. Приведены значения прочности в зависимости от температуры печати.*

**Ключевые слова:** гибка, FDM-прототипирование, прочность, температура печати.

В современной промышленности все больше возрастает интерес к использованию аддитивных технологий, в частности послойного наплавления полимера (FDM-метод) для получения деталей различного вида и назначения. В отличие от традиционных технологий, которые основаны на принципе удаления лишнего материала, аддитивные технологии предполагают изготовление любой геометрической сложности конечной детали путем добавления материала с использованием в качестве основы только цифровой модели. Исследователи [1–3] показали, что такой подход позволяет существенно сократить время и затраты производственного процесса. Особенно это актуально в такой области машиностроения как листовая штамповка, где основные затраты производства конечной детали приходится на изготовление инструмента. Если при массовом и крупносерийном производстве эти затраты оправданны, то для мелкосерийного производства применение традиционных технологий не допустимо.

Однако для того, чтобы внедрить новую технологию, необходимо провести ряд исследований по основным технологическим признакам. Поскольку в листовой штамповке инструмент во время технологической операции воспринимает нагрузку, основным из таких признаков является его прочность.

Для определения прочностных характеристик были проведены испытания напечатанных на 3D принтере Prusa Bizon i3 образцов на сжатие, с использованием универсальной испытательной машины Instron D600X, согласно зарубежному стандарту ASTM D635. Печать каждого образца осуществляли при изменении температуры печати на 10 °С в интервале от 210 до 240 °С, в соответствии с температурой стеклования материала. Материал образцов — ABS-пластик. В качестве критерия прочности был взят предел текучести.

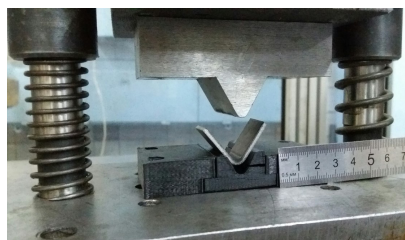
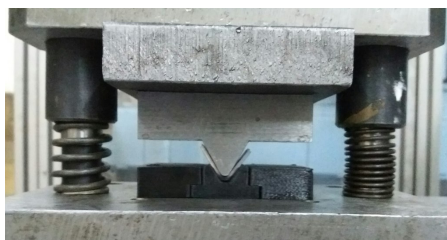
Полученные машинные диаграммы силы от хода были обработаны в программном комплексе MathCAD. Результаты представлены в таблице.

По данным таблицы видно, что повышение температуры печати с 210 до 240 °С ведет к значительному увеличению прочности. Из этого можно сделать вывод о том, что прочность изготавливаемых FDM-прототипированием деталей зависит главным образом от температуры печати.

Прочность образцов в зависимости от температуры печати

Температура печати, °С	210	220	230	240
Предел текучести, МПа	53	60	63	70

Для верификации полученных данных были изготовлены две матрицы с температурой печати 210 и 240 °С соответственно, на которых производилась одноуголовая гибка стальной полосы, толщиной 2,5 мм в специальном гибочном штампе (см. рисунок).



Испытание на прочность гибочных матриц

В матрице, изготовленной при низкой температуре печати, образовалась трещина на 4-й операции гибки (см. рисунок, справа). Повышение температуры на 30 °С привело к увеличению стойкости, при этом матрица не потеряла устойчивость вплоть до 20 операций.

Литература

- [1] Lee J., Huang A. Fatigue analysis of FDM materials/ John Lee [at al.]. *Rapid Prototyping Journal*, 2013, Vol. 19, pp. 291–299. DOI: 10/1108/135525413113232909.ziem.
- [2] Ziemian C., Sharma M., Ziemian S. Anisotropic properties of ABS parts fabricated by fused deposition modelling, in M Gokcek (Ed.). *Mechanical Engineering: Intech*, 2012, pp. 159–180.
- [3] Григоренко Г.Д., Евсюков С.А. Влияние параметров печати на прочность деталей штампов, изготовленных методом послойного наплавления полимера. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2017, № 4, с. 14–19.

**A Study on the Influence of Print Temperature on Mechanical Properties of Single — Angle bending Dies Produced Via Fused Deponition Modelling**

© Grigorenko Gregory Dmitrievich  
Evsukov M.A.

GrigGD@ya.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Considered additive layer manufacturing technology, such as Fused Deposition Modelling (FDM) as an alternative way of obtaining single — angle bending dies in low volume production. Comparative strength values depending on the temperature of the print.*

**Keywords:** bending, FDM-method, strength, printing temperature.



УДК: 621.7.019.54

## Исследование влияния угла конусности вытяжной матрицы на потерю устойчивости заготовки

© | Ло Синь  
Евсюков Сергей Александрович

aboluo0204@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Потеря устойчивости при формообразовании листовых деталей характеризуется возникновением больших местных деформаций, которые обычно приводят или к разрушению металла, или к образованию недопустимо больших искажений формы изделия. При этом в некоторых случаях возможно проведение операции вытяжка без использования прижима, что существенно упрощает и удешевляет штамповую оснастку. В статье исследуется посредством математического моделирования в программном комплексе ABAQUS влияние угла конусности вытяжной матрицы на предельный коэффициент вытяжки.*

**Ключевые слова:** потеря устойчивости, вытяжка, коническая матрица, угол конусности вытяжной матрицы.

Устойчивость пластического формообразования листового металла — одно из основных условий получения штампованных изделий хорошего качества. Одним из видов потери устойчивости листовой заготовки при вытяжке вследствие потери устойчивости на сжатых и сжато-растянутых участках является волнистость (гофрообразование, складки), приводящая к искажению формы изделия и последующему разрушению. Применение складкодержателя вызвано необходимостью предотвращения образования гофров при вытяжке. Однако для процесса вытяжки прижим нежелателен, так как он значительно увеличивает вредное сопротивление трению, а следовательно, и растягивающие напряжения в опасном сечении, ухудшая условия вытяжки. Кроме того, складкодержатель усложняет конструкцию штампа.

Исследование показывает, что применение конической матрицы при вытяжке затрудняет потерю устойчивости заготовкой, по сравнению с вытяжкой в цилиндрической матрице. Следовательно, при прочих равных условиях, при вытяжке в коническую матрицу без прижима максимальный коэффициент вытяжки будет больше [1].

Следует отметить, что аналитическое исследование процесса потери устойчивости при формоизменяющих операциях листовой штамповки весьма затруднительно и позволяет найти только приближенные решения, не обеспечивающие необходимой точности.

Моделирование существенно расширяет возможности технолога при разработке новых технологических процессов, инструмента и оборудования, давая возможность всесторонне качественно и количественно исследовать технологические режимы, экспериментальное изучение которых связано со значительными затратами временных, людских и материальных ресурсов. С помощью моделирования, можно быстрее получить нужные результаты [2].

Цель проведения данного исследования — установить, при каких значениях технологических параметров начинается гофрообразование, т. е. потеря устойчивости

фланца заготовки. Количественной мерой использования технологии без прижима примем предельный коэффициент вытяжки, после превышения которого начинается процесс потери устойчивости. В качестве инструмента исследования используем программный комплекс ABAQUS.

При моделировании принимаем следующие допущения:

- Тип вытяжки: вытяжка цилиндрического стакана из плоской заготовки.

Эскиз и параметры инструмента показаны на рис. 1 [3].

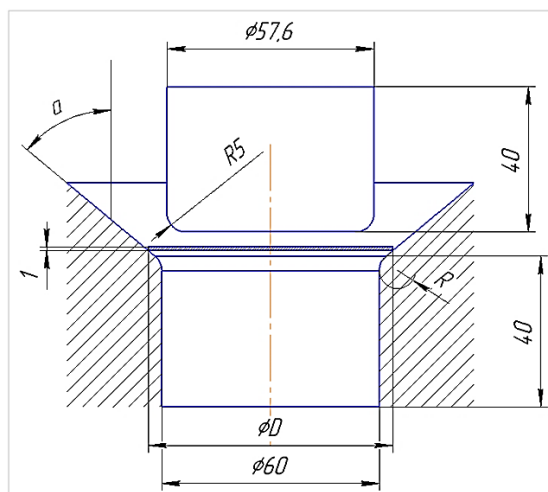


Рис. 1. Технологическая схема вытяжки в конической матрице

- Материал считается изотропным.
- Матрица и пуансон считаются твердыми телами.

Условие трения: коэффициент трения между матрицей и заготовкой  $\mu_2 = 0,1$ , коэффициент трения между пуансоном и заготовкой  $\mu_1 = 0,08$ . Коэффициенты трения приняты меньше с учетом того, что металл относительно пуансона перемещается меньше, чем относительно матрицы, и смазка здесь сохраняется лучше.

Сталь 45 — один из самых распространенных материалов, используемые в машиностроении, ее химические и механические свойства берутся из соответствующих стандартов или определяются экспериментально. Поэтому в качестве материала заготовки была выбрана именно сталь 45 со следующими механическими характеристиками:

Модуль упругости, $E$ .....	210 000 МПа
Предел прочности, $\sigma_b$ .....	470 МПа
Коэффициент Пуассона, $\nu$ .....	0,3
Показатель упрочения, $n$ .....	0,275
Плотность .....	7,85 г/см <sup>3</sup>

Конечно-элементная сетка операции вытяжка в конической матрице представлена на рис. 2.

Сначала проводили моделирование при постоянном радиусе скругления кромки матрицы  $r = 5$  мм, толщина заготовки  $s = 1$  мм, угол конусности матрицы  $\alpha = 45^\circ$ .

При этих условиях увеличивали исходный диаметр заготовки до начала потери устойчивости фланца (до начала образования складок). Результаты моделирования показаны на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что, при достижении заготовкой диаметра 94 мм гофр еще нет, а при диаметре 95 мм гофры начинают образовываться.

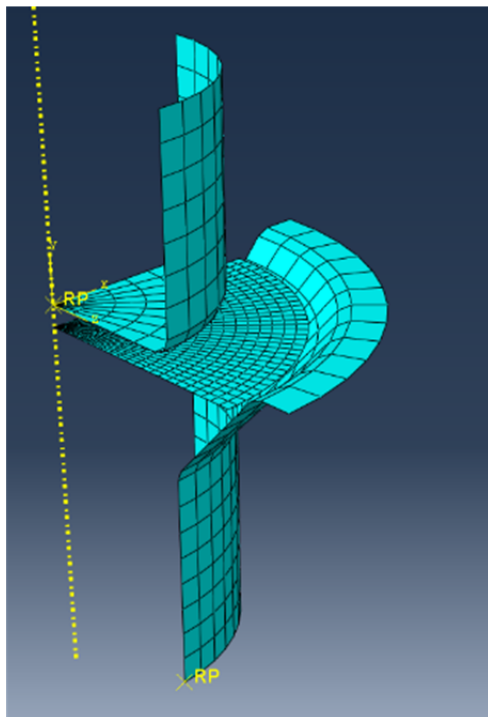


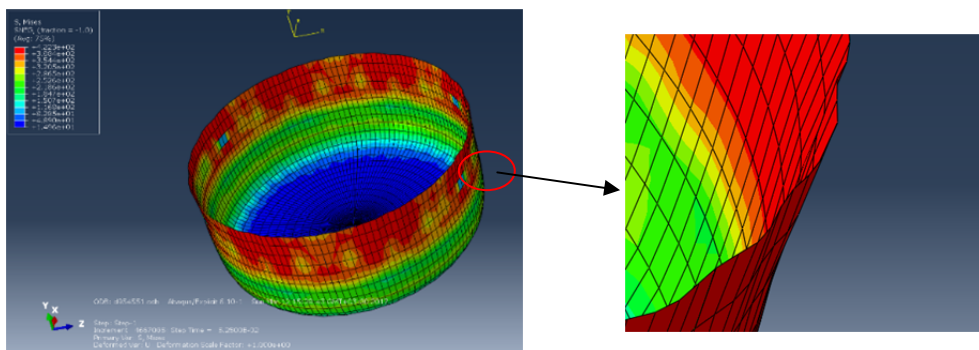
Рис. 2. Конечно-элементная сетка операции вытяжки

Сравнивая результаты моделирования (см. рис. 3, а, б), получаем, что при диаметре заготовки  $D_0 = 94$  мм коэффициент вытяжки достиг предела  $k = D_0/d = 94/60 = 1,57$ .

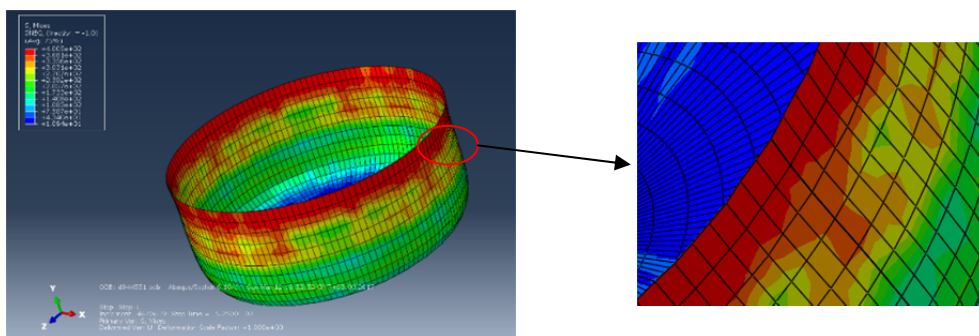
После этого, при прочих равных условиях, варьировали угол наклона  $\alpha$ , и аналогично находили предельный коэффициент вытяжки, увеличивая диаметр исходной заготовки. При этом брали углы конусности матрицы равными  $\alpha = 30, 40, 50, 60^\circ$  соответственно. Для каждого из указанных углов принимали одноковые допущения при моделировании и повторяли процесс.

**Результаты определения максимального коэффициента вытяжки для выбранных углов матрицы**

Угол конусности матрицы, град .....	30	40	45	50	60
Максимальный коэффициент вытяжки .....	1,50	1,56	1,57	1,54	1,50



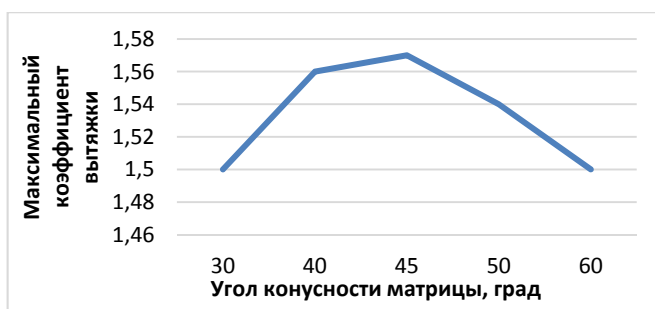
*a*



*б*

**Рис. 3.** Результаты модернизации при условиях: угол наклона  $45^\circ$ , толщина заготовки 1 мм, радиус закругления 5 мм:  
*a* — диаметр заготовки 95 мм с образованием складок; *б* — диаметр заготовки 94 мм без образования гофр

График зависимости (рис. 4), построенный по приведенным результатам, показывает, что угол конусности матрицы оказывает сильное влияние на максимальный коэффициент вытяжки. При этом график имеет ярко выраженный экстремум в районе  $45^\circ$ .



**Рис. 4.** Зависимость максимального коэффициента вытяжки от угла конусности матрицы при радиусе скругления кромки матрицы  $r = 5$  мм

### Выводы.

В результате моделирования было установлено, что при вытяжке цилиндрического стаканчика в конической матрице без прижима ограничивающим фактором является потеря устойчивости фланца заготовки. При этом с увеличением угла конусности матрицы предельный коэффициент вытяжки сначала увеличивается, достигает максимума в районе  $45^\circ$  при радиусе закругления вытяжной матрицы 5 мм, а потом уменьшается.

### Литература

- [1] Романовский В.П. *Справочник по холодной штамповки*. Ленинград, Машиностроения ленинградское отделение, 1979, 517 с.
- [2] Евсюков С.А., Ло Синь Исследование потери устойчивости заготовки при вытяжке без прижима. *Сборник докладов и научных статей XII Конгресса «Кузнец-2015»*, Рязань, 2015, с. 437–442.
- [3] Рудман Л.И. *Справочник конструктора штампов*. Москва, Машиностроение, 1988, 496 с.

## Investigation the Influence of the Die Cone Angle on the Limit Drawing Ratio During Deep Drawing through Conical Dies

© | Luo Xin  
Evsukov M.A.

aboluo0204@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Buckling during shaping of sheet metal is characterized by the occurrence of large local strains, which can cause the destruction of the metal or to the unacceptable failure of the shape of the product. In some cases the operation can be proceeded without using the blank holder, which greatly simplifies and reduces the cost of tools. The article investigates the influence of die cone angle on the limit drawing ratio by using mathematical modeling in the software package ABAQUS.*

**Keywords:** buckling, deep drawing, conical die, die cone angle.

УДК 621.7.043

## Разработка конструкции штампа для совмещенного процесса обжима и выдавливания листовых заготовок

© | Никифоров Иван Андреевич  
Ступников Владимир Петрович

Nikiforovivan13@yandex.ru  
vlastu@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлена технологическая схема экспериментального штампа для проведения совмещенной операции обжима и выдавливания с целью получения детали типа*

стержня со сферическим фланцем. Проведен эксперимент и проанализированы его результаты.

**Ключевые слова:** обжим, выдавливание, совмещенная операция, листовая штамповка.

В работе [1] была предложена технология изготовления деталей типа стержня со сферическим фланцем (рис. 1) методом совмещения обжима и выдавливания. Для экспериментального исследования данной операции была поставлена задача разработать конструкцию штампа.

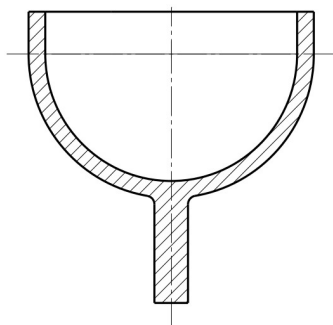


Рис. 1. Деталь типа стержня со сферическим фланцем

На рис. 2 представлена технологическая схема экспериментального штампа. Заготовку помещают в матрицу и прижимают с внутренней стороны подпором. Пуансон перемещается по направляющей, передавая усилие  $P$  на торцевую поверхность заготовки и на полиуретановую прокладку, прижимающую подпор к заготовке. Прокладка используется для независимого перемещения пуансона относительно подпора.

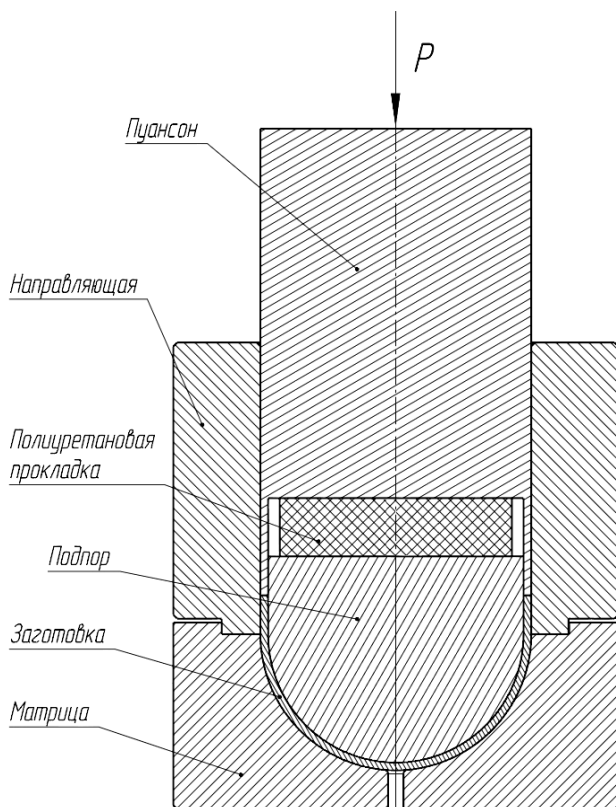
В [2, 3] описаны схемы продольного обжима полых заготовок с дном при использовании эластичного подпора, который предотвращает образование складок. Подпор перемещается вместе с пуансоном, что недопустимо для рассматриваемой совмещенной операции. Поэтому в конструкции предусмотрен жесткий подпор.

На рис. 3 представлена изготовленная штамповая оснастка.

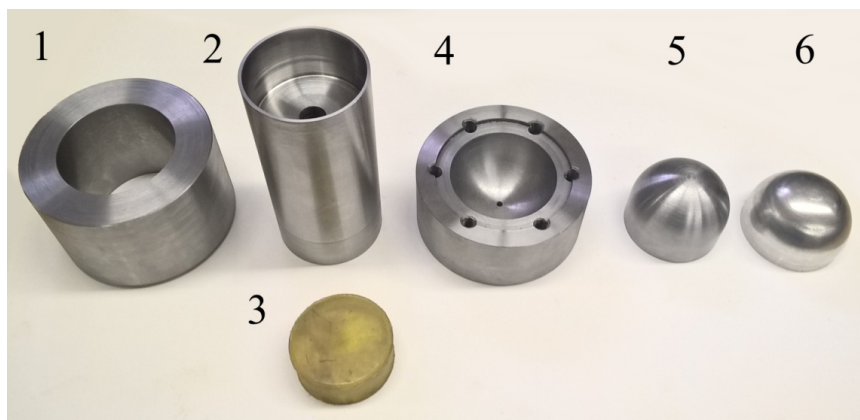
Эксперимент проводили на кафедре МТ-13 МГТУ им. Н.Э.Баумана в лаборатории обработки давлением на испытательном прессе ИПэ-1000. Заготовка представляет собой полу сферу диаметром 70 мм, толщиной 2 мм и высотой цилиндрического пояса 10 мм, материал — алюминиевый деформируемый сплав АМг6.

По фотографиям полученной детали (рис. 4) видно начало образования стержня. Конечная толщина стенки в обжатой части заготовки имеет наибольшее значение вблизи края заготовки [4]. В зоне, прилегающей к основанию стержня, после обработки толщина составила 2,75...2,80 мм. Можно предположить, что это явилось следствием недостаточного усилия, создававшегося подпором. Также это повлияло на образование складок.

В результате утолщения стенки детали и недостаточно жесткого крепления подпора усилие, направленное на выдавливание стержня, оказалось недостаточным для продолжения процесса.



**Рис. 2.** Технологическая схема совмещенного процесса обжима и выдавливания с внутренним подпором стенки заготовки



**Рис. 3.** Штамповая оснастка:

1 — направляющая, 2 — пуансон, 3 — полиуретановая прокладка, 4 — матрица, 5 — подпор, 6 — заготовка



Рис. 4. Результат эксперимента

Эксперимент подтвердил возможность совмещения обжима и выдавливания листовой заготовки. Также подтверждена необходимость использования подпора с внутренней стороны полусферы: важно предусмотреть его жесткое крепление относительно заготовки.

#### Литература

- [1] Никифоров И.А., Ступников В.П. Разработка совмещенного процесса обжима и выдавливания при изготовлении деталей типа «Стержня» со сферическим фланцем. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2016, № 12, с. 26–28.
- [2] Мельников Э.Л. *Холодная штамповка днищ*. Москва, Машиностроение, 1976, 184 с.
- [3] Мельников Э.Л. *Справочник по холодной штамповке оболочковых деталей*. 3-е изд., перераб. и доп. Москва, Машиностроение, 2003, 288 с.
- [4] Сторожев М.В., Попов Е.А. *Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов*. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва, Машиностроение, 1971, 424 с.

### Development of a Design of a Stamp for the Combined Process of Nosing and Extrusion of Sheet Blank

© | Nikiforov I.A.  
Stupnikov V.P.

Nikiforovivan13@yandex.ru  
vlastu@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In this paper a technological scheme of an experimental stamp is presented for carrying out a combined nosing and extrusion operation to obtain a rod-type part with a spherical flange. The experiment is carried out and its results are analyzed.*

**Keywords:** nosing, extrusion, combined operation, sheet-metal stamping.



УДК 621.791.927.55

### Влияние режимов плазменно-порошковой наплавки на структуру антифрикционных покрытий на базе сплавов баббита

© | Гуркин Сергей Вадимович

thefis@yandex.ru

| Нифонтова Александра Владимировна

sasha\_0303@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Показано влияние режимов и использование подслоя — олова на формирование структуры наплавленного слоя.*

**Ключевые слова:** структура баббита, интерметаллидные фазы, плазменно-порошковая наплавка.

Антифрикционные материалы — материалы трения, для которых коэффициент трения при использовании смазки считают равным 0,001...0,005, без смазки — 0,004...0,500 [1]. Среди них выделяют металлические и неметаллические материалы. Металлические антифрикционные материалы предназначены для работы в условиях жидкостного трения и эксплуатации в режиме граничной смазки.

По структуре металлические антифрикционные материалы делятся на два типа: сплавы с мягкой матрицей и твердыми включениями; сплавы с твердой матрицей и мягкими включениями. К сплавам первого типа относят баббиты — антифрикционные материалы на оловянной Б83 (83 % Sn, 11 % Sb и 6 % Cu), Б88 (88 % Sn, 8 % Sb, 3 % Cu и 1 % Cd) или свинцовой основе (Б16, БС6, БН) согласно стандарту [2]. Также выделяют свинцово-кальциевые баббиты: БКА и БК2 [3]. Структура сплава Б83 включает: мягкую матрицу  $\alpha$ -фазы, содержаще. твердые кристаллы  $\beta$ -фазы (SnSb) и игольчатую  $\gamma$ -фазу ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ). Такие сплавы обладают высокими антифрикционными свойствами. По сопротивлению усталости баббиты уступают многим сплавам, но по антифрикционным свойствам превосходят их. Лучшими являются оловянистые баббиты с  $p_v = 500...700 \text{ Па} \cdot \text{м/с}$  [4], используемые для покрытия вкладышей высокоскоростных, тяжело нагруженных подшипников скольжения [5].

Исследования проводили при наплавке сплава баббита марки  $\text{SnSb}_8\text{Cu}_4$  по стандарту [6] на подложку из Ст3сп по [7] толщиной 8 мм по режимам, указанным в таблице, с подслоем олова и без подслоя.

Режимы наплавки

Режим	$q/V$ , Дж/см	$V_n$ , м/ч	Наличие и тип подслоя
№ 1	948	6	Олово
№ 2	474	12	—
№ 3	474	12	Олово

Примечание: неизменные параметры режима составляли следующие значения:  $I_{св} = 50$  А,  $U = 21 \dots 23$  В,  $Q = 15$  г/мин;  $Q_{плазм} = 0,5$  л/мин;  $Q_{защ} = 15$  л/мин;  $Q_{тр} = 2$  л/мин

Оценку структуры выполняли на микроскопе Olympus GX51 в программе *top view* при увеличении 500 раз. На каждом образце были исследованы: зоны сплавления стали и баббита, центральная и верхняя области наплавки. Для оценки микроструктуры определяли размеры интерметаллидной фазы, а также ее концентрацию в наплавленном металле в зависимости от условий наплавки. Определяли площадь, занимаемую интерметаллидами ( $F_{Cu_3Sn}$ , мм<sup>2</sup>) и общую площадь наплавленного металла ( $F_n$ , мм<sup>2</sup>). Концентрацию гамма фазы находили из соотношения

$$K = \frac{F_{Cu_3Sn}}{F_n} \cdot 100 \%$$

По полученным значениям построили гистограммы распределения интерметаллидов  $Cu_3Sn$ .

В результате было показано влияние режимов на структуру. Выявлено влияние скорости наплавки и подслоя — олово на размеры интерметаллидной  $\gamma$ -фазы и ее концентрации в наплавленном слое. С увеличением скорости средняя ширина интерметаллидов уменьшается в 2 раза. Применение подслоя увеличивает длину  $\gamma$ -фазы на 30...35 %, а ширину уменьшает на 25...30 %. Результаты спектрального анализа выявили, что при использовании подслоя — олова не происходит диффузии железа из основного металла в наплавленный слой.

Литература

- [1] Рудницкий Ф.И., Николайчик Ю.А., Куприянова Л.И., Судник Л.В. Исследования влияния наномодифицирования на структуру и свойства цинковых антифрикционных сплавов. *Литье и металлургия*, 2015, № 1 (78), с. 32–36.
- [2] ГОСТ 1320–74. *Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия.*
- [3] ГОСТ 1209–90. *Баббиты кальциевые в чушках. Технические условия.*
- [4] Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г., Рыжов Н.М. *Материаловедение: учебник для вузов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003, 648 с.
- [5] Коробов Ю.С., Невежин С.В., Филиппов М.А., Гоголев Л.В., Илюшин В.В., Потехин Б.А. Анализ трибологических характеристик баббитовых покрытий, полученных активированной дуговой металлизацией и альтернативными методами. *Экспозиция Машиностроения*, 2012.-№ 1 (92), с. 24–26.
- [6] ISO 4381:2000. Подшипники скольжения. Свинцовые и оловянистые литейные сплавы для многослойных подшипников скольжения.
- [7] ГОСТ 380–2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки (с изменением № 1).

## Influence of Plasma-Powder Surfacing Regimes on the Structure of Antifriction Coatings Based on Babbitt Alloys

© Gurkin S.V.  
Nifontova A.V.

thefis@yandex.ru  
sasha\_0303@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The influence of regimes and the use of a sublayer-tin on the formation of the structure of the deposited layer is shown.*

**Keywords:** *babbitt structure, intermetallide phases, plasma — powder surfacing.*

УДК 621.791.353.3

## Физико-химическая модель процесса низкотемпературной пайки хромоникелевой аустенитной стали и меди с применением активного флюса

© Мордасов Михаил Денисович<sup>1</sup>  
Толубец Анастасия Олеговна<sup>2</sup>  
Черных Дмитрий Анатольевич<sup>3</sup>

makaveli.mordasov@yandex.ru  
anastasia.tolubetz@yandex.ru  
mit@mail.nnn.tstu.ru

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, 392000, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>3</sup> АО «Тамбовский завод «Комсомолец»» им. Н. С. Артемова», Тамбов, 392000, Россия

*Разработана физико-химическая модель процесса низкотемпературной пайки хромоникелевой аустенитной стали и меди с применением активного флюса. Модель представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются компоненты флюса, паяемых металлов и вещества, образующиеся в ходе множества протекающих химических реакций. Температура реакций учтена путем ее указания над ребрами графа, ориентированными в направлении продуктов реакций. Созданная физико-химическая модель позволяет выявить механизмы, способствующие образованию качественного соединения разнородных металлов при их пайке оловянно-свинцовым припоем с использованием флюса, содержащего хлориды цинка, меди, аммония и ортофосфорную кислоту.*

**Ключевые слова:** *низкотемпературная пайка, флюс, физико-химическая модель, хромоникелевая аустенитная сталь.*

В современном машиностроении широко используется хромоникелевая аустенитная сталь 12X18H10T (ASTM A240 SA321). При разработке технологических процессов неразъемного паяного соединения этой стали и меди актуальной является задача выбора флюсов и присадочных материалов [1, 2]. При высокотемпературной пайке этой стали в диапазоне температур 500...900 °С возможно выделение  $\sigma$ -фазы, которая

приводит к охрупчиванию металла [3]. При низкотемпературной пайке таких сталей для разрушения пленки  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  используют преимущественно активные низкотемпературные флюсы.

При разработке и исследовании поведения паяльных флюсов при различных температурах, представляет интерес оценка возможных протекающих химических реакций между компонентами флюса, поверхностью паяемых металлов и припоя. С целью выявления механизмов, способствующих образованию качественного соединения, создана физико-химическая модель процесса взаимодействия стали 12Х18Н10Т и меди при пайке припоем ПОС-61 с использованием флюса, содержащего хлориды цинка, меди, аммония и ортофосфорную кислоту, которая представлена на рис. 1.

При взаимодействии флюса со сталью в условиях изменения температуры от 20 до 200 °С протекает множество различных химических реакций. Физико-химическая модель (см. рис. 1) представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются компоненты флюса и паяемых металлов, а также вещества, образующиеся как при их взаимодействии между собой, так и в ходе реакций этих веществ с исходными компонентами. Ребра графа соединяют исходные вещества и образующиеся в ходе химических реакций, они ориентированы в направлении продукта реакции. Различная температура протекания реакций учтена путем ее указания над ребрами графа.

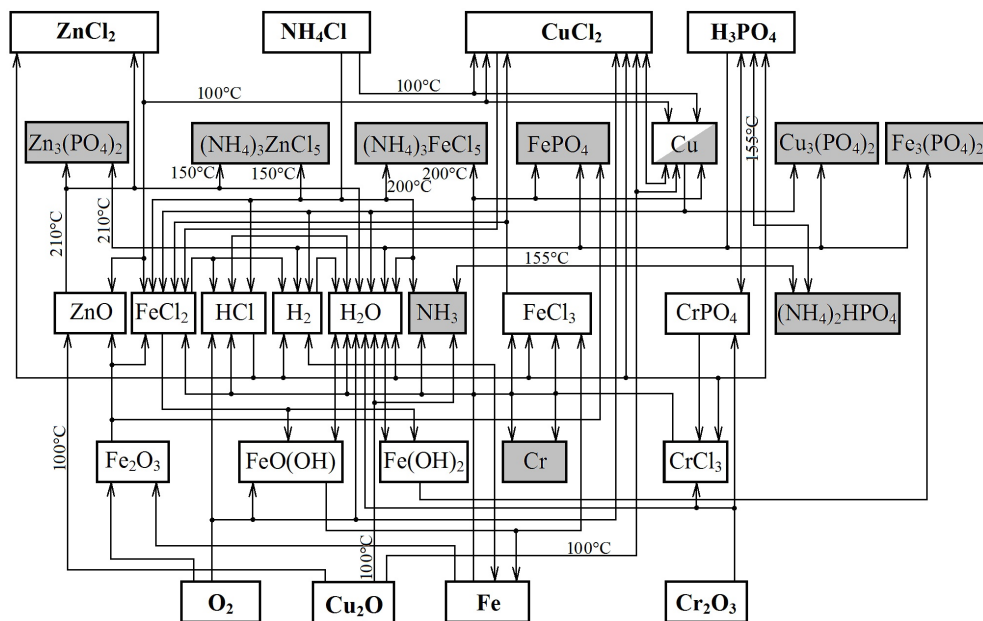


Рис. 1. Физико-химическая модель процесса взаимодействия стали 12Х18Н10Т и меди с низкотемпературным флюсом

К моменту нанесения припоя на паяемых поверхностях стали 12Х18Н10Т и меди образуются соли фосфорной кислоты, не разлагающиеся при прокаливании, хлорферрат и хлорцинкат аммония (на рис. 1 выделены серым цветом), способствующие лучшей смачиваемости оловянно-свинцовыми припоями и повышению качества пайки.

Полученная модель позволяет наглядно представить физико-химические процессы низкотемпературной пайки и выделить вещества, образующиеся к моменту нанесения припоя на паяемые металлы, с целью дальнейшего анализа влияния этих веществ на качество паяного соединения, а также корректировки составов активных флюсов, используемых для пайки разнородных металлов.

#### Литература

- [1] Мордасов М.Д., Телешов М.Ю., Игнатов П.В., Мордасов Д.М. Исследование эффективности активных флюсов при лужении и пайке стали 12Х18Н10Т. *Сб. матер. 70-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, ч. 2 «Научно-технические и инженерные разработки — основа решения современных экологических проблем»*, Ярославль, 2017, с. 325–329.
- [2] Мордасов Д.М., Зотов С.В., Черных Д.А. Исследование эффективности использования сварочных материалов с флюсовым наполнителем. *Тез. докл. 3-й Междунар. конф. «Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах»*, Тамбов, 2016, с. 242–244.
- [3] Мордасов Д.М., Зотов С.В., Черных Д.А. Особенности термической обработки сварных соединений из стали 10Х17Н10М2Т. *Тез. докл. 3-й Междунар. конф. «Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах»*, Тамбов, 2016, с. 181–183.

## Physico-Chemical Model of the Process of the Low Temperature Soldering of Chromium Nickel Austenitic Steel and Copper Using Active Flux

© | Mordasov M.D.<sup>1</sup>  
 Tolubetz A.O.<sup>2</sup>  
 Chernykh D.A.<sup>3</sup>

makaveli.mordasov@yandex.ru  
 anastasia.tolubetz@yandex.ru  
 mit@mail.nnn.tstu.ru

<sup>1</sup>Tambov State Technical University, Tambov, 392000, Russia

<sup>2</sup>BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>3</sup>Joint stock company «Tambovsky zavod «Komsomolets» named in honour of N.S. Artemov», Tambov, 392000, Russia

*A physico-chemical model of the process of the low temperature soldering of chromium-nickel austenitic steel and copper using active flux has been developed. The model is represented as a directed graph, the vertices of which are flux components, soldering metals and substances which are formed during a multitude of chemical reactions. The reaction temperature is taken into account by indicating it over the edges of the graph oriented in the direction of the reaction products. The created physicochemical model makes it possible to identify mechanisms that promote the formation of a qualitative compounds of dissimilar metals during their tin-lead soldering using the flux which consists chlorides of zinc, copper, ammonium and phosphoric acid.*

**Keywords:** low temperature soldering, flux, physico-chemical model, chromium nickel austenitic steel.

УДК 621.791

## Влияние лигатуры на формирование сварного шва при автоматической двухдуговой сварке под флюсом

© Панкратов Александр Сергеевич [aspankratov@bmstu.ru](mailto:aspankratov@bmstu.ru)  
 Коберник Николай Владимирович [koberniknv@bmstu.ru](mailto:koberniknv@bmstu.ru)

Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 10005, Россия

*Рассмотрено влияние присадочного материала типа «лигатура» на формирование сварного шва при автоматической двухдуговой сварке под флюсом. Присадочный материал применяется для введения наноразмерных частиц-модификаторов в сварочную ванну. Показано, что применение лигатуры не оказывает существенного влияния на формирование шва и его геометрические параметры (ширину, высоту, глубину проплавления, площадь наплавленного металла).*

**Ключевые слова:** сварка, лигатура, формирование сварного шва

В последнее время развитие нанотехнологий позволило реализовать введение готовых центров кристаллизации в расплав сварочной ванны с целью модифицирования и повышения эксплуатационных характеристик. Для этого в сварочную ванну вводятся наноразмерные тугоплавкие частицы, которые выступают в роли центров кристаллизации [1]. Модификаторы вводятся при помощи сварочных материалов: присадочных или электродных [2]. Одним из типов применяемых материалов является лигатура [3], которая предварительно равномерно закладывается в разделку по всей длине шва. Такой подход позволяет варьировать количество вводимой присадки в широком диапазоне. При этом сама присадка защищена от прямого воздействия дуги жидкой прослойкой сварочной ванны.

Однако из-за применения дополнительной присадки возникает риск ее воздействия на формирование сварного шва, что может привести к несоблюдению норм стандарта на размеры шва, а также к отсутствию проплавления. Для установления влияния лигатуры на формирование шва при двух двухдуговой автоматической сварке под флюсом были проведены эксперименты по наплавке на составные образцы швов при различных режимах (см. таблицу).

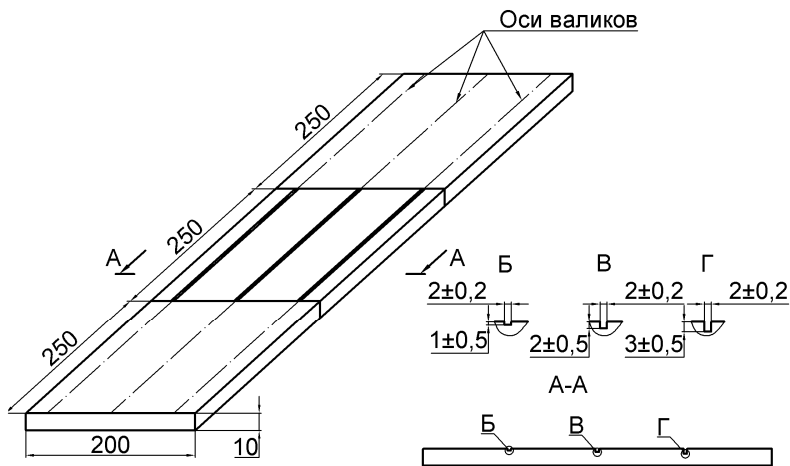
**Матрица эксперимента**

$I_2, A$	$I_1, A$			
	400	500	600	700
№ режима				
0	1	2	3	4
400	5	6	7	8
600	9	10	11	12
700	13	14	15	16

Неизменяемые параметры режима:  $U_1 = 27 В$ ,  $U_2 = 32 В$ ,  $V_{св} = 45 м/ч$ ; род тока: на первой дуге — DC+, на второй дуге — AC, баланс 50 %; расстояние между электродами — 27 мм.

Наплавку осуществляли на пластины толщиной 10 мм. После наплавки пластины подвергали разделительной резке по центру (перпендикулярно оси швов) и проводили измерения геометрических параметров наплавленных валиков (ширины, высоты, глубины проплавления, площади наплавленного металла).

Для имитации засыпки лигатуры в разделку были изготовлены составные образцы (см. рисунок), пазы в которых имитировали зазор между свариваемыми пластинами. Ширину паза выбирали равной зазору для соединения С-19 [4], а глубина имитировала различную высоту насыпки лигатуры, которая представляла собой композиционные гранулы на основе никеля, механически смешанные в планетарной мельнице с наноразмерными частицами (размер до 100 нм) карбида вольфрама (WC). Гранулы были предоставлены лабораторией 16 ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН. После сварки образец также подвергали разделительной резке и после измеряли геометрические параметры наплавленных валиков.



Эскиз составного образца

Анализ полученных валиков показал, что на геометрические параметры наплавленных валиков наличие лигатуры не оказывает существенного влияния: изменения геометрии наплавленных валиков не превышает 5% (что находится в пределах точности измерений). Следует отметить тенденцию к увеличению ширины шва, связанную с перераспределением потока тепла при наличии лигатуры.

*Работа выполнена при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки РФ (Соглашение № 14.578.21.0216 о предоставлении субсидии от 28.09.2016 г., уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57816X0216).*

### Литература

- [1] Соколов Г.Н., Лысак В.И., Зорин И.В., Артемьев А.А., Дуюцов Ю.Н., Харламов В.О., Антонов А.А. Феноменологическая модель формирования центров кристаллизации в металлческом расплаве при сварке под влиянием ультрадисперсных тугоплавких компонентов. *Вопросы материаловедения*, 2015, № 4 (84), с. 159–168.

- [2] Коберник Н.В., Михеев Р.С. Панкратов А.С., Линник А.А. Современные представления о модифицировании наплавленного металла наноразмерными частицами (обзор). *Сварка и диагностика*, 2015, № 5, с. 11–16.
- [3] Кузнецов В.Д., Смирнов И.В., Шаповалов К.П. Влияние нанодобавок на структуру и свойства металла швов при сварке высокопрочных низколегированных сталей. *Прогресивні технології і системи машинобудування*, 2013, № 2 (46), с. 143–150.
- [4] ГОСТ 8713–79. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

## Ligature Influence on Weld Seam Formation on Automatic Twin Arc Submerged Arc Welding

© | Pankratov A.S.  
Kobernik N.V.

aspankratov@bmstu.ru  
koberniknv@bmstu.ru

Welding and Testing of BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The report considered the influence of a filler-type material «ligature» on the formation of a welded joint with automatic twin-arc submerged arc welding. Filler material is using for nanosized modification-participles introduction in welding pool. It is shown, that ligature using does not have a significant effect on the formation of the seam and its geometric parameters (wide, height, penetration depth, weld area).*

**Keywords:** welding, ligature, weld seam formation.

УДК 620.162.4

## Разработка метода определения эксплуатационно-технологических характеристик наноструктурированных покрытий по результатам воздействия на них высокоскоростной гидроструи

© | Проваторов Александр Сергеевич  
Галиновский Андрей Леонидович

provatorov\_a@bmstu.ru  
galcomputer@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Приведено решение проблемы оценки качества износостойких наноструктурированных покрытий по результатам воздействия на них высокоскоростной гидроструи. В результате исследования была установлена зависимость между интенсивностью отслоения от подложки нанесенного покрытия и уровнем сосредоточения напряжений в испытуемом образце. Предложенный метод ультразвуковой диагностики позволит оперативно оценить физико-механические параметры и эксплуатационное состояние покрытий, нанесенных на образцы и прошедших усталостное нагружение.*



**Ключевые слова:** диагностика, наноструктурированные покрытия, ультраструя, гидрокаверна, усталостные испытания, математическое моделирование.

**Введение.** Несмотря на кажущееся многообразие методов диагностики покрытий [1–3], все они обладают рядом недостатков, связанных прежде всего с невозможностью оценивать устойчивость покрытия к действию внешних знакопеременных нагрузок, имеющих волновой нестационарный характер.

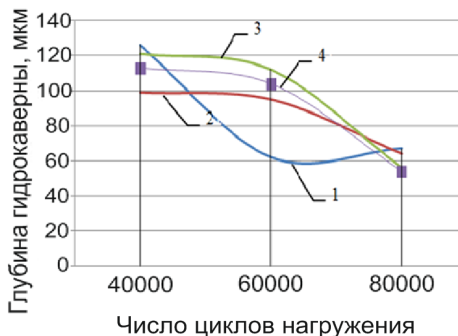
Цель данного исследования состоит в разработке методики ультраструйной диагностики (УСД) износостойких наноструктурированных покрытий (НП), а задачами являются построение алгоритма диагностики, определение числа информативных параметров, выбор технологических режимов воздействия, разработка упрощенных математических моделей.

**Диагностика износостойких покрытий.** В данной работе для проведения экспериментов было использовано тонкое износостойкое покрытие толщиной 4 мкм на основе нитрида титана (TiN), нанесенное на подложку [4] из слаболегированной стали 08X18N10 методом ионно-плазменного осаждения.

Усталостные испытания проводили по следующему алгоритму: первый образец испытывали до образования на нем макротрещины (или его разрушения). Число циклов нагружения  $N$  фиксировали счетчиком импульсов. Затем число циклов для каждого последующего образца уменьшали на 25 %, получая, таким образом, образцы, прошедшие известное число циклов нагружения.

Процесс усталостных испытаний был смоделирован методом конечных элементов. При разработке математической модели в ее основу была положена объемная модель стандартного образца для испытаний [4]. Расчет выполняли методом конечных элементов в линейной статической постановке, т. е. ресурс оценивался на основе картины напряженно-деформированного состояния в статическом положении.

На основе полученной картины полей напряжений были определены координаты расположения реперных аналитических точек 1, 2 и 3, где первая — точка максимальных напряжений, вторая — точка средних значений и третья точка — область практически не подверженная усталостной нагрузке (см. рисунок).



Зависимости глубины гидрокаверн от числа циклов нагружения для образцов с покрытием TiN:  
 1–3 — реперные точки; 4 — значения для образца без покрытия в реперной точке 1

**Результаты экспериментальных исследований.** Все образцы, прошедшие усталостные испытания, подвергали процедуре УСД по известной методике [5, 6]. При изучении гидрокаверн по длине образца в реперных точках 1, 2 и 3 было установлено, что растрескивание и отслоение нанесенного покрытия от подложки было наиболее характерно выражено в месте сосредоточения наибольших напряжений.

Также с ростом числа циклов усталостного нагружения происходит накопление поврежденности в материале покрытия и самого образца тем больше, чем ближе соответствующая реперная точка расположена к зоне с наибольшими напряжениями.

Сравнение данных морфологии поверхности покрытий с глубиной гидрокаверн показало (см. рисунок), что с увеличением числа циклов от 40 000 до 60 000 уменьшается глубина гидрокаверны в связи с выработкой пластичности материала и повышением твердости. При этом с приближением к реперной точке *1* (точке максимальных напряжений) глубина уменьшается интенсивнее. Однако для 80 000 циклов в той же зоне наблюдается увеличение глубины, связанное с ухудшением адгезии частиц покрытия, которые при взаимодействии с высокоскоростной струей жидкости (~800 м/с) выступают в роли своеобразного абразивного материала, лежащего на поверхности образца.

**Заключение.** Методика, предложенная в данном эксперименте, позволяет оценивать эксплуатационно-технологические характеристики наноструктурированных покрытий. Предложенная методика процесса ультразвуковой диагностики позволяет оперативно оценивать физико-механические параметры и эксплуатационное состояние покрытий, нанесенных на образцы и прошедших усталостное нагружение.

### Литература

- [1] Levashov E.A., Shtansky D.V., Kiryukhantsev-Korneev Ph.V., Petrzhik M.I., Tyurina (Bychkova) M.Ya., Sheveyko A.N. Multifunctional Nanostructured Coatings: Formation, Structure, and the Uniformity of Measuring Their Mechanical and Tribological Properties. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2010, no. 10, pp. 917–935.
- [2] Levashov E.A., Petrzhik M.I., Tyurina (Bychkova) M.Ya., Kiryukhantsev-Korneev F.V., Tsygankov P.A., Rogachev A.S. Multilayer nanostructured heat-generating coatings. Preparation and certification of mechanical and tribological properties. *Metallurgist*, 2011, vol. 54, no. 9–10, pp. 623–634.
- [3] Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий. Томск, Изд-во ТПУ, 2008, 285 с.
- [4] ГОСТ 25.502–79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость.
- [5] Абашин М.И., Барзов А.А., Галиновский А.Л., Шутеев В.А. Ультразвуковая экспресс-диагностика материалов и изделий машиностроения. *Научно-технические ведомости СПбГПУ*, 2011, с. 141–147.
- [6] Барзов А.А., Галиновский А.Л. *Технологии ультразвуковой обработки и диагностики материалов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 246 с.

## Developing Method for Operational Characteristics Determination of Nanostructured Coatings Based on the Results of the Influence of High-Speed Waterjet

© | Provatorov A.S.  
| Galinovskiy A.L.

provatorov\_a@bmstu.ru  
galcomputer@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In this paper, we consider the problem of assessing the quality of wear-resistant nanostructured coatings based on the results of the high-speed hydrostatic impact on it. As a result of the study, a relationship was established between the intensity of detachment of the applied coating from the substrate and the level of stress concentration in the test sample. The proposed method of ultrasonic diagnostics will allow to quickly evaluate the physico-mechanical parameters and the operational state of coatings applied to the samples and subjected to fatigue loading.*

**Keywords:** *diagnostics, nanostructured coatings, ultra-jet, hydrocavern, fatigue tests, mathematical simulation.*

УДК 629.7.023.224

### Инженерная методика оценки внутренних напряжений в ионно-плазменных покрытиях

© | Артеменко Никита Игоревич<sup>1</sup>  
Симонов Виктор Николаевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Предложена инженерная методика оценки внутренних напряжений, возникающих в покрытиях после ионно-плазменного напыления. Выявлены зависимости характера и значений внутренних напряжений от температур плавления материалов покрытия и основы. Установлено, что сжимающие напряжения в покрытии образуются в том случае, когда температура плавления у материала покрытия выше, чем у материала основы. Рассмотрено влияние толщины покрытия на внутренние напряжения, получена формула для определения внутренних напряжений в покрытии в зависимости от температур плавления материалов покрытия и основы, их толщин и модулей упругости.*

**Ключевые слова:** внутренние напряжения, покрытие, теория Линдемана, выбор упрочняющих покрытий.

При нанесении ионно-плазменных покрытий материал катода испаряется вакуумной дугой и конденсируется на поверхности деталей, образуя плотное, практически беспористое, покрытие. Однако полученные покрытия после нанесения не всегда обладают высокой адгезией к материалу подложки. Основной вклад в разрушение покрытия вносят внутренние напряжения. В настоящей работе рассмотрен метод оценки внутренних напряжений в однослойных ионно-плазменных упрочняющих конденсированных покрытиях для предотвращения их разрушения покрытия из-за внутренних напряжений. Оценку выполняют еще на стадии выбора материала упрочняющего покрытия.

В процессе нанесения покрытий ионно-плазменным методом в вакуумной камере покрытие конденсируется из двухфазного потока плазмы на материал детали. В первом приближении можно считать, что природой возникновения внутренних напряжений в покрытии является разница в термических коэффициентах линейного

расширения материалов подложки и покрытия. При нанесении упрочняющих покрытий на подложку (детали) из титановых сплавов и сталей температура подложки для разных композиций материал подложки — покрытие составляет 450...600 °С. В процессе нанесения конденсированное покрытие и материал подложки находятся в ненапряженном состоянии. По окончании процесса и при охлаждении композиции материал-покрытие до комнатной температуры происходит уменьшение размеров детали и покрытия по линейному закону, образуется размерное несоответствие покрытия и подложки. На рис. 1 показан простейший одномерный случай, где  $l_0$  — линейный размер покрытия и подложки при температуре напыления;  $l_m$  — линейный размер образца подложки (материала) после охлаждения без учета покрытия;  $l_n$  — линейный размер покрытия после охлаждения без учета связи его с подложкой.

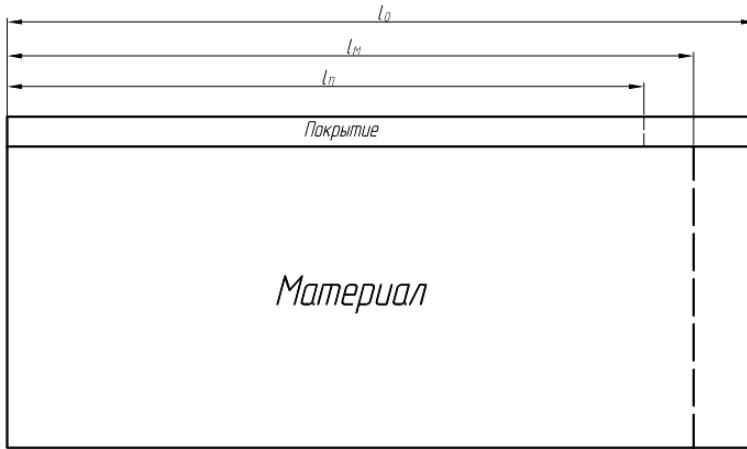


Рис. 1. Схема изменения размеров композиции материал-покрытие при охлаждении до комнатной температуры для случая  $\alpha_n > \alpha_m$

Изменения линейных размеров материала и покрытия описывают следующими формулами:

$$l_n = l_0(1 - \alpha_n \Delta T); \quad (1)$$

$$l_m = l_0(1 - \alpha_m \Delta T), \quad (2)$$

где  $\alpha_{n,m}$  — термический коэффициент линейного расширения покрытия и материала подложки соответственно,  $K^{-1}$ ;  $\Delta T$  — разность температуры подложки при напылении и комнатной температуры, К.

В первом приближении считаем, что толщины покрытия и основного материала несоизмеримы. Принимаем, что основной материал является абсолютно жестким, а адгезия покрытия с подложкой весьма прочная (более 100 МПа), следовательно, покрытие претерпевает деформации для достижения размера  $l_m$ . В результате в покрытии возникают внутренние напряжения, а его деформация определяется как

$$\varepsilon = \frac{l_m - l_n}{l_n} = \frac{1 - \alpha_m \Delta T}{1 - \alpha_n \Delta T} - 1. \quad (3)$$

В физике твердых тел существует эмпирическая теория, связывающая прочность межзатомных связей с температурой плавления. Более всего это теория известна как правило Линдемана: произведение температуры плавления вещества и его термического коэффициента линейного расширения является величиной постоянной для большой группы веществ, иначе говоря,  $T_{пл}\alpha = \text{const}$ . Однако в действительности зависимость температуры плавления от  $\alpha^{-1}$  является линейной функцией [1]. В работе [2] представлена зависимость коэффициента линейного расширения от температуры плавления материала, справедливая для большой группы материалов:

$$\alpha = \frac{0,0135}{T_{пл} - 500}. \quad (4)$$

С учетом изложенного выше деформацию покрытия рассчитывают по формуле

$$\varepsilon = \frac{1 - 0,0135\Delta T / (T_M - 500)}{1 - 0,0135\Delta T / (T_{п} - 500)} - 1, \quad (5)$$

где  $T_{п,м}$  — температуры плавления покрытия и материала соответственно, К.

Тогда

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1 - 0,0135\Delta T / (T_M - 500)}{1 - 0,0135\Delta T / (T_{п} - 500)} - 1 = \frac{T_{п} - 500 (T_M - 500 - 0,0135\Delta T)}{T_M - 500 (T_{п} - 500 - 0,0135\Delta T)} - 1 = \\ &= \frac{T_M - T_{п}}{T_M - 500} \frac{0,0135\Delta T}{T_{п} - 500 - 0,0135\Delta T}. \end{aligned} \quad (6)$$

Очевидно, внутренние напряжения в покрытии релаксируются за счет взаимодействия с материалом основы. С учетом условия совместности деформаций [3] получаем

$$\sigma_{внутр} = \sigma_{п} \left( 1 + \frac{E_{п} h_{п}}{E_{м} h_{м}} \right)^{-1}, \quad (7)$$

где  $E_{п,м}$  — модули упругости;  $h_{п,м}$  — толщина покрытия и материала соответственно. температуры плавления покрытия и материала соответственно, К.

Из уравнения (7) следует, что основной вклад в динамику функции внутренних напряжений вносит отношение  $h_{п}/h_{м}$ , так как отношение модулей упругости является величиной порядка единицы. Общий вид единичной функции  $\tilde{\sigma}_{внутр}(h_{п}, h_{м}) = (1 + h_{п}/h_{м})^{-1}$  представлен на рис. 2.

Из графика на рис. 2 следует, что внутренние напряжения в тонких покрытиях (1...20 мкм) при толщине образца более 1000 мкм практически не отличаются от внутренних напряжений, возникающих в покрытии без учета взаимодействия с материалом образца. В то же время в толстых покрытиях (50...100 мкм) влияние толщины образца на внутреннее напряжение существенно: при толщине образца в 1000 мкм напряжения на 5...10 % ниже, чем у тонкого покрытия.

Таким образом, конечный вид зависимости внутренних напряжений от температур плавления материала и покрытия с учетом взаимодействия покрытия и основы следующий:

$$\sigma_{\text{внутр}} = \frac{T_{\text{М}} - T_{\text{П}}}{T_{\text{М}} - 500} \frac{0,0135 \Delta T}{T_{\text{П}} - 500 - 0,0135 \Delta T} \frac{E_{\text{П}}}{1 + \frac{E_{\text{П}} h_{\text{П}}}{E_{\text{М}} h_{\text{М}}}} \quad (8)$$

Из выражения (8) очевидно, что сжимающие напряжения в покрытии образуются в том случае, когда температура плавления материала покрытия выше температуры плавления материала основы.

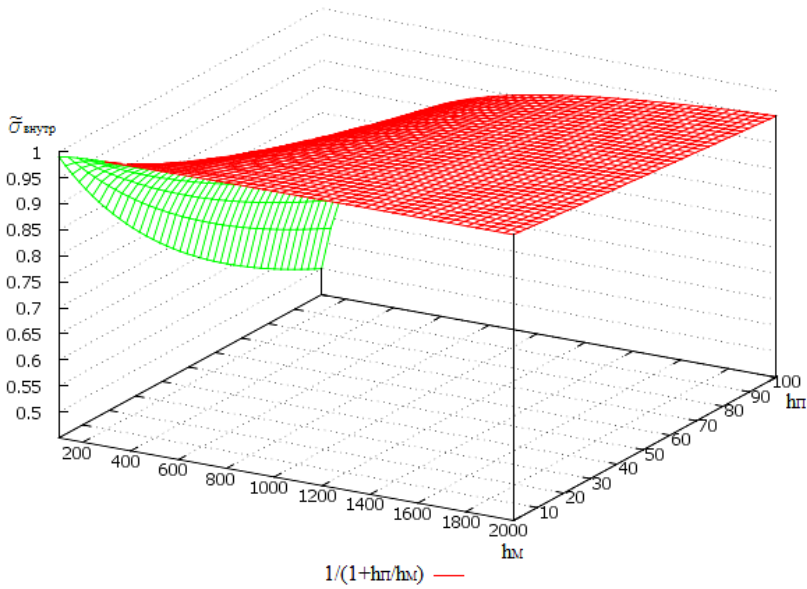


Рис. 2. Вид единичной функции внутренних напряжений в покрытии

### Заключение.

1. Предложена инженерная методика оценки значения и характера внутренних напряжений в однослойных упрочняющих конденсированных ионно-плазменных покрытиях после напыления, которая позволяет еще на стадии выбора материала определить возможность нанесения определенного типа упрочняющего покрытия.

2. Показано, что сжимающие внутренние напряжения в покрытии образуются в том случае, когда температура плавления материала покрытия выше температуры плавления материала основы.

3. Выявлена зависимость относительной деформации материала покрытия от температур плавления материалов покрытия и основы.

4. Показано влияние толщины покрытия на значение внутренних напряжений. Выявлено, что тонкие покрытия менее чувствительны к изменению внутренних напряжений при взаимодействии с материалом основы.

### Литература

- [1] Lindemann F.A. The calculation of molecular vibration frequencies. *Phis. Z.*, 1911, vol. 11, pp. 609–619.

- [2] Артеменко Н.И., Мубояджян С.А. Инженерная методика оценки величины и характера внутренних напряжений в однослойных упрочняющих конденсированных покрытиях. *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.*, 2016, № 1, ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 30.05.2017). DOI: [dx.doi.org/10.18577/2307-6046-2016-0-1-25-35](https://doi.org/10.18577/2307-6046-2016-0-1-25-35)
- [3] Феодосьев В.И. *Сопротивление материалов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999.

## Engineering Technique for Estimating the Magnitude of Internal Stresses in Ion-Plasma Coatings

© | Artemenko N.I.<sup>1</sup>  
Simonov V.N.

<sup>1</sup> Russian National Research Institute of aviation materials, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*An engineering method for estimating internal stresses arising in coatings after ion-plasma deposition is proposed. Dependences of the magnitude and nature of internal stresses on the melting temperatures of the coating materials and the substrate are revealed. It has been found that the compressive stresses in the coating are formed when the melting point of the coating material is higher than the melting point of the base material. The influence of coating thickness on the value of internal stresses is considered, a formula is obtained for determining internal stresses in the coating, depending on the melting temperatures of the coating and substrate materials, their thicknesses and elastic moduli.*

**Keywords:** internal stresses, coating, Lindemann theory, choice of hardening coatings.

УДК 621.762

## Разработка и сравнение технологий получения дисперсно-упрочненных порошков сплава на основе Fe–Cr–Al методами восстановления окислов металлов и распыления водой высокого давления

© | Березина Татьяна Александровна<sup>1</sup> bertalex1986@mail.ru  
Герасимов Сергей Алексеевич<sup>2</sup>  
Скачков Олег Александрович<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ЦНИИчермет им. И. П. Бардина, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены результаты сравнения процессов получения дисперсно-упрочненных порошков сплава на основе Fe–Cr–Al методами совместного восстановления окислов и распыления водой высокого давления. Определено влияние различного времени измельчения в высокоэнергетической мельнице типа «Аттритор» на гранулометрический состав, удельную поверхность и фазовый состав порошков.*



**Ключевые слова:** восстановленный порошок, водораспыленный порошок, аттритор, измельчение, удельная поверхность, гранулометрический состав, фазовый состав.

Одним из наиболее значительных достижений порошковой металлургии жаропрочных сплавов явилось усовершенствование методов получения порошков, что в сочетании с новыми процессами компактирования и термомеханической обработки позволило в широких пределах регулировать структуру и свойства сплавов.

В мировой практике наибольшее распространение имеют два способа изготовления ферритных порошков: восстановление оксидов и распыление жидкого металла воздухом или водой высокого давления.

Таким образом, для получения порошков системы Fe-Cr-Al с содержанием хрома 18...25 % и алюминия 4,5...6,0 % используют:

- метод совместного восстановления окислов металлов;
- метод распыления водой высокого давления.

Порошки получали методом совместного восстановления смеси окислов (или смеси окислов и металлических порошков) гидридом кальция (рис. 1). Данный метод разработан во ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина»[1–3], на экспериментальной базе которого методом распыления расплава водой высокого давления был получен водораспыленный порошок ферритной стали (рис. 2).

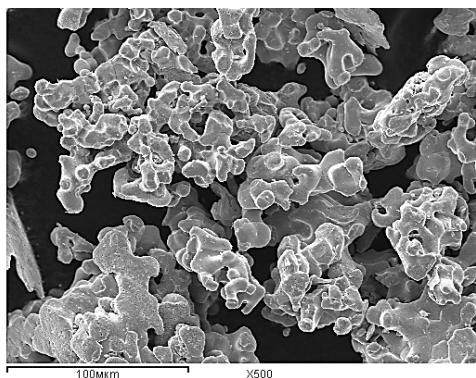


Рис. 1. Форма частиц восстановленного порошка сплава Fe–Cr–Al

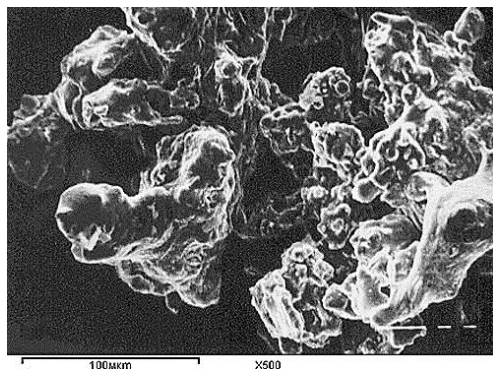


Рис. 2. Форма частиц распыленного порошка сплава Fe–Cr–Al

Порошки дисперсно-упрочненных сталей изготавливали по технологии механического легирования; технологический процесс проводили с использованием высокоэнергетической мельницы типа «Атритор». Процесс осуществлялся с непосредственным введением в шихту дисперсной фазы  $Y_2O_3$  (в объеме 2,5 %).

Далее исследовали физико-химические и технологические свойства порошков, форму их частиц, измеряли удельную площадь поверхности порошков, оценивали средний размер частиц и микронапряжений в порошках, определяли гранулометрический состав.

В результате исследований проведено сравнение физико-химических и технологических свойств порошков, полученных методами восстановления осколков металлов и распыления водой высокого давления. Также исследованы измельченные порошки, изготовленные указанными выше методами [4].

На основании выполненных исследований рекомендован следующий режим измельчения: шаровая нагрузка 5:1; скорость вращения вала атритора 205...220 об/мин; время обработки 10 ч.

### Литература

- [1] Борок Б.А., Тепленко В.Г. Получение порошков сплавов и сталей совместным восстановлением смесей окислов гидридом кальция. *Порошковая металлургия. Сборник трудов ЦНИИЧМ*, Москва, Металлургия, 1965, 172 с.
- [2] Дзнецладзе Ж.И., Щеголева Р.П., Голубева Л.С., Рабинович Е.М., Борок Б.А. *Порошковая металлургия сталей и сплавов*. Москва, Металлургия, 1978.
- [3] Акименко В.Б., Буланов В.Я., Гуляев И.А., Залазинский Г.Г. *Состав, структура и свойства железных и легированных порошков*. Екатеринбург, Наука, 1996.
- [4] Пожаров С.В., Макаревич О.Н., Березина Т.А. Влияние режимов измельчения на физические свойства легированного порошка марки ПХ20Ю6. *Проблемы черной металлургии и материаловедения*, 2012, № 2, с. 82–85.

## Development and Comparison of Technologies for Obtaining Particles Based on Fe–Cr–Al ODS Alloyed Powder by Methods of Reducing Metal Oxides and Spraying with High-Pressure Water

© | Berezhina T.A.<sup>1</sup>  
Gerasimov S.A.<sup>2</sup>  
Skachkov O.A.<sup>1</sup>

bertalex1986@mail.ru

<sup>1</sup> ЦНИИчермет, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> ВМСТУ, Moscow, 105005, Russia

*In this article presented the results of influence on the grinding conditions in a high-energy mill of “Attritor” type on granulometric composition, specific surface area and shape of the particles based on Fe-Cr-Al ODS (oxide dispersion strengthened) alloyed powder by methods of reducing metal oxides and spraying with high-pressure water.*

**Keywords:** calcium hydride reduction method, method of spraying with high-pressure water, Attritor, granulometric composition, specific surface area.

УДК 621.785.616.1

## Сравнительная оценка методов определения коэффициентов теплоотдачи азота высокого давления

© | Хтет Вай Ян Мин  
Шевченко Светлана Юрьевна

waiyanminhtet88@gmail.com  
zakalka1@yandex.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Экспериментально определены температурные зависимости коэффициентов теплоотдачи азота высокого давления с помощью датчиков двух типов: градиентного и призматического. Показано, что эти зависимости весьма близки. Данный факт подтверждает, что коэффициент теплоотдачи является характеристикой самой закалочной среды и не должен зависеть от способа его определения, размеров и материала датчика, следовательно, для экспериментального нахождения коэффициентов теплоотдачи можно использовать призматический датчик более простой конструкции.*

**Ключевые слова:** закалка в газе, закалочное охлаждение, датчик охлаждающей способности, коэффициент теплоотдачи.

Закалка в газах высокого давления используется для деталей сложной формы из высоколегированных сталей и сплавов, упрочняемых термической обработкой. В литературе практически отсутствуют справочные данные для прогнозирования результатов закалки в различных газовых средах без проведения экспериментов. Таким образом, исследование охлаждающей способности газовых сред является очень важной задачей. Цель работы заключалась в определении температурных зависимостей коэффициентов теплоотдачи азота высокого давления с помощью датчиков двух типов. Такие зависимости можно использовать в качестве граничных условий при моделировании процесса закалки различных изделий в потоке азота после нагрева в вакууме.

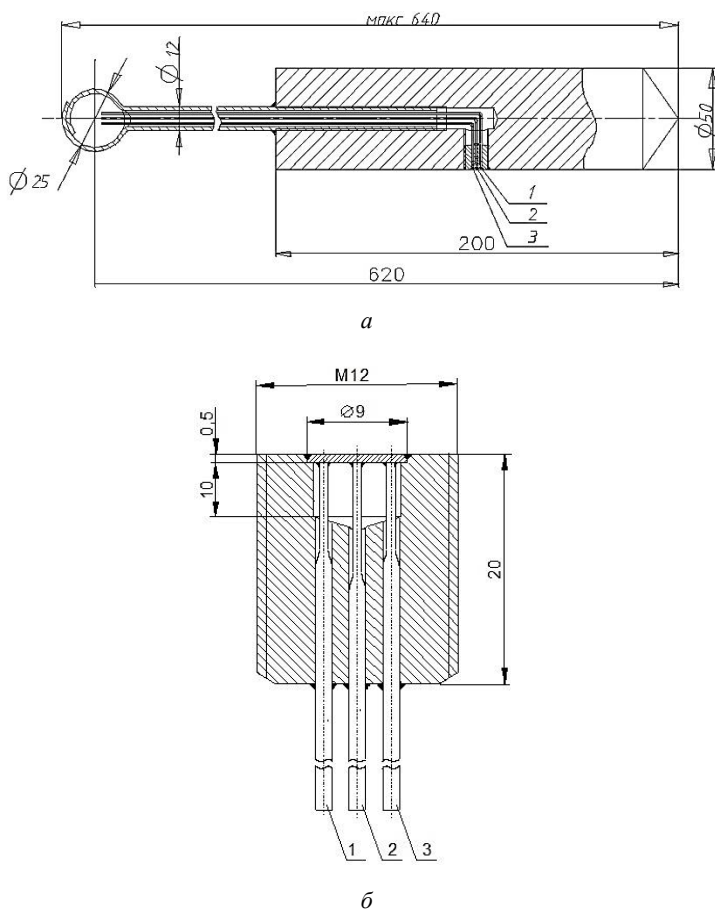
Для исследования охлаждающей способности закалочных сред используют датчики различных конструкций. Идея определения коэффициента теплоотдачи закалочной среды состоит в измерении разности температур в двух точках вблизи поверхности нагретого тела в процессе его охлаждения.

Датчик градиентного типа [1] снабжен термопарами для измерения температуры непосредственно на поверхности датчика и вблизи нее. Разность этих температур пропорциональна тепловому потоку от поверхности датчика в процессе охлаждения и коэффициенту теплоотдачи. Задача размещения термопары на поверхности конструктивно сложна, поэтому такой датчик довольно дорог и ресурс его работы невелик.

В процессе охлаждения градиентного датчика тепловой поток поступает от массивного нагретого тела датчика и распространяется по пластине, заделанной на поверхности на рис. (1). Закалочная среда отбирает тепло с поверхности пластины. Термопара 2 измеряет температуру в центре пластины, термопары 1 и 3 — на периферии. Коэффициент теплоотдачи рассчитывают по формуле

$$\alpha = \frac{12\lambda\delta(T_{\text{п}} - T_{\text{ц}}) - R^2\rho\delta c((T_{\text{п}}^* - T_{\text{ц}}) + 2(T_{\text{п}}^* - T_{\text{п}})) / 3\Delta t}{3\left(\frac{(T_{\text{п}} + 2T_{\text{ц}})}{3} - T_0\right)R^2},$$

где  $\delta = 0,5$  мм — толщина никелевой пластины;  $T_n$ ,  $T_{ц}$  и  $T_n^*$ ,  $T_{ц}^*$  — температуры на периферии и в центре пластины, °С,  $R = 9$  мм — радиус пластины;  $\Delta t$  — интервал опроса термодатчика;  $T_0$  — температура охлаждающей среды, °С.



**Рис. 1.** Датчик градиентного типа:  
*а* — тело датчика, *б* — термочувствительный элемент

В призматическом датчике [2, 3] при охлаждении квадратной призмы изотермы со средней по поверхности  $t_n$  и средней по массе  $t_m$  температурами располагаются внутри призмы (рис. 2, *а*). Для измерений температуры поверхности датчика нет необходимости размещать термодатчик на самой поверхности. Коэффициент теплоотдачи рассчитывают с использованием разности средней по поверхности и средней по массе температур. Чертеж датчика представлен на рис. 2, *б*. Коэффициент теплоотдачи рассчитывают по формуле

$$\alpha = \frac{mc(t_{m1} - t_{m2})}{F \left( \frac{t_{n1} + t_{n2}}{2} - t_{\text{окр}} \right) \cdot \Delta \tau},$$

где  $m$  — масса охлаждаемого образца, кг;  $t_{M1}$  и  $t_{M2}$  — средняя температура массы образца в начале и в конце расчетного интервала, °С;  $c$  — средняя теплоемкость образца в интервале температур  $t_{M1} - t_{M2}$ , Дж/(кг·°С);  $F$  — площадь поверхности охлаждаемого образца, м<sup>2</sup>;  $t_{п1}$  и  $t_{п2}$  — средняя температура поверхности образца в начале и в конце расчетного интервала, °С;  $t_{окр}$  — температура окружающей (закалочной) среды, °С;  $\Delta t$  — длительность расчетного интервала, с.

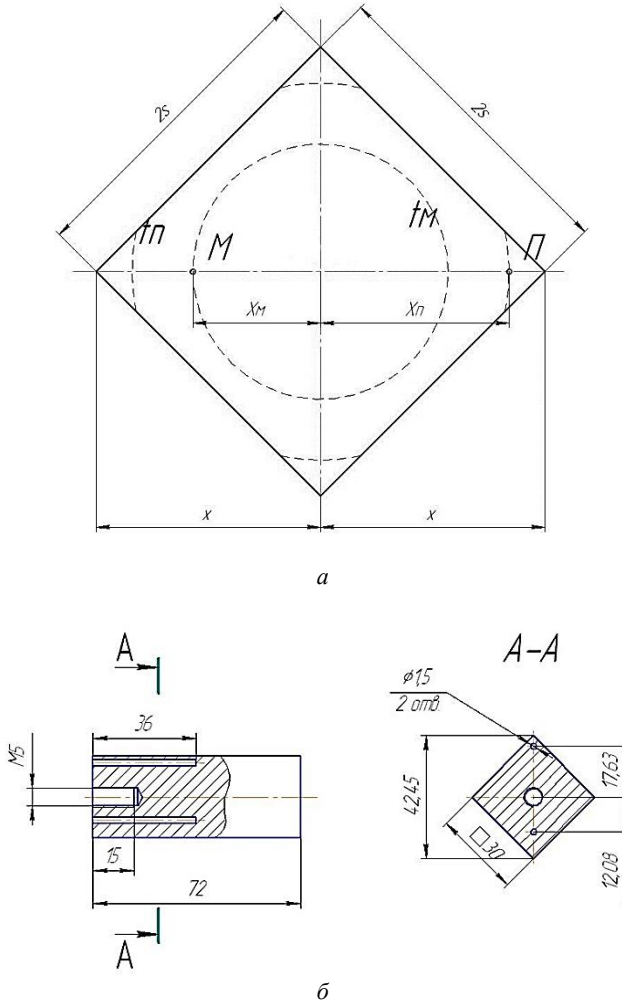


Рис. 2. Схема измерения температур (а) и чертеж датчика призматического типа (б)

Закалку проводили в вакуумной печи 10.0VPT-4020/24N — это однокамерная печь с горизонтальной загрузкой материала и возможностью охлаждения в азоте высокого давления. Закалочное охлаждение датчиков осуществляли при давлении азота 2,0 и 7,3 атм с быстрым вращением вентилятора.

На рис. 3 приведены температурные зависимости коэффициентов теплоотдачи, рассчитанные по кривым охлаждения датчиков.

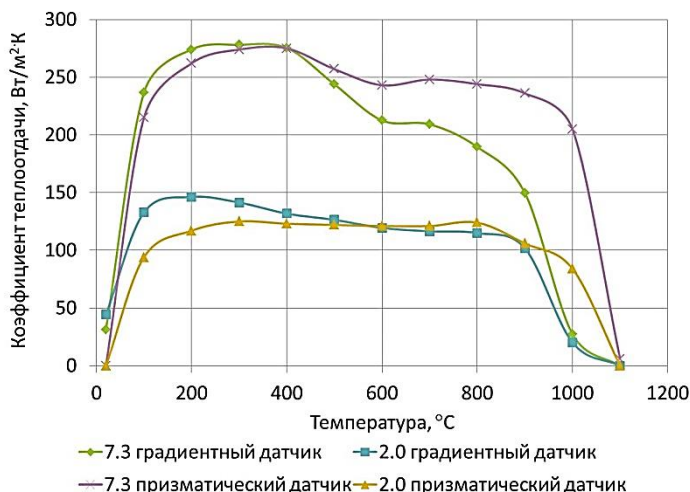


Рис. 3. Коэффициенты теплоотдачи, рассчитанные по кривым охлаждения для разных датчиков

### Выводы.

Температурные зависимости коэффициентов теплоотдачи, рассчитанные по кривым охлаждения градиентного и призматического датчиков, весьма близки. Это означает, что коэффициент теплоотдачи является характеристикой самой закалочной среды и не должен зависеть от способа его определения, размеров и материала датчика. Следовательно, для экспериментального нахождения коэффициентов теплоотдачи можно использовать датчик более простой конструкции.

### Литература

- [1] Захарова Е.Д., Ксенофонтов А.Г., Шевченко С.Ю. Оценка охлаждающей способности закалочных сред с помощью градиентных датчиков. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2001, № 11, с. 37–38.
- [2] Будрин Д. В., Суханов Е. Л., Кондратов В. М. Применение термозонда призматической формы для определения охлаждающей способности закалочных сред. *Известия вузов. Черная металлургия*, 1966, № 2, с. 134–139.
- [3] Шевченко С.Ю. Определение коэффициентов теплоотдачи закалочных сред с использованием призматического датчика. *Технология металлов*, 2009, № 5, с. 39–42.

## Comparative Evaluation for the Determination Methods of Heat Transfer Coefficients of High-Pressure Nitrogen

© | Xtet Wai Yan Min  
Shevchenko S.Y.

waiyanminhtet88@gmail.com  
zakalka1@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The experimental determination of the temperature dependence for heat transfer coefficients of high-pressure nitrogen gas by using two types of sensors: gradient and prismatic.*

*It is shown that these dependencies are very close. This confirms that the heat transfer coefficient is a characteristic of quenching medium and it should not depend on the method of its determination, sizes and materials of the sensors. Therefore, for the experimental determination of heat transfer coefficients, we can use the prismatic sensor that has more simple design.*

**Keywords:** *the quenching gas, the cooling process in quenching, cooling capability of sensor, heat transfer coefficient.*

УДК 620.18:621.771

## **Исследование влияния горячей прокатки на послыйное распределение микротвердости в многослойных материалах**

© | Власова Дарья Владимировна  
Плоких Андрей Иванович

vlasova-dari@list.ru  
plokhikh@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Исследовано послыйное распределение микротвердости многослойных композиционных материалов на основе стальных компонентов. Анализ исследований показал, что в слоях многослойных материалов во всех композициях наблюдается отклонение от нормального закона распределения микротвердости, свидетельствующее о наличии многофазного строения во всех слоях композиций.*

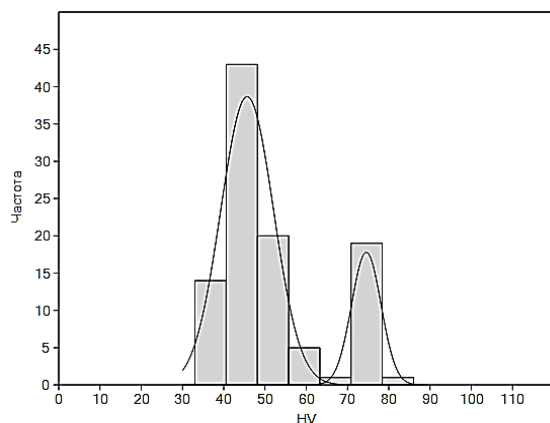
**Ключевые слова:** *многослойные металлические материалы, ламинарная структура, горячая пакетная прокатка, микротвердость.*

Использование многослойных металлических материалов дает возможность значительно увеличить ресурс деталей и конструкций, работающих в условиях высоких температурно-силовых нагрузок с одновременной экономией дорогостоящих легирующих элементов [1]. Задача получения термически стабильной структуры в многослойных металлических материалах является весьма сложной.

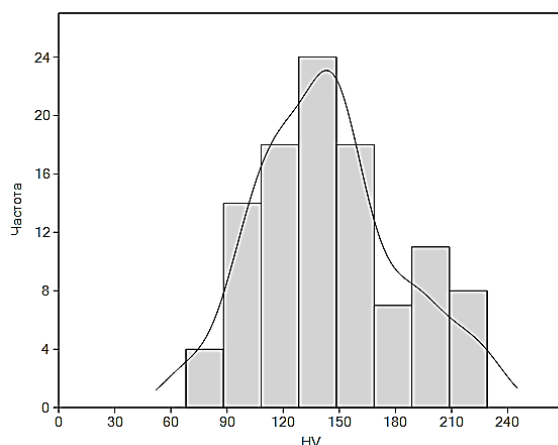
Учитывая, что синтез многослойного материала проводится при высокой температуре в условиях значительного термомодеформационного воздействия [2], можно предположить, что эти факторы оказывают существенное влияние на перераспределение легирующих элементов между слоями. Было проведено послыйное определение значений микротвердости в модельных композициях с целью выявления областей, которые могли изменить свои свойства вследствие диффузии легирующих элементов. Известно, что показателем неоднородности свойств является несоблюдение нормального закона распределения в массиве численных данных. Поэтому методом измерения микротвердости был получен массив измерений из каждого слоя бинарной композиции и изучен характер распределения этих значений в пределах каждого слоя [3].

В качестве исходного состояния были взяты образцы толщиной 2 мм с количеством слоев, равным 100, с толщиной слоя 20 мкм в исходном горячекатаном состоянии.

При исследовании микротвердости в слоях сталей композиции У8+08Х18 было установлено, что распределение микротвердости в слое стали У8 после горячей прокатки при температуре 1000 °С имеет ярко выраженную бимодальность нормального закона распределения с максимумами при твердости в интервале 40–50 НВ и 70–80 НВ (рис. 1, а). При этом количество измерений, попадающих в первый интервал, в два раза больше, чем во втором. Такая бимодальность нормального закона распределения свидетельствует о наличии двух областей с разными физико-механическими характеристиками. При этом в слое стали 08Х18 в исходном состоянии распределение значений микротвердости является нормальным с некоторой правосторонней асимметрией с максимумом при твердости 140 НВ (рис. 1, б).



а



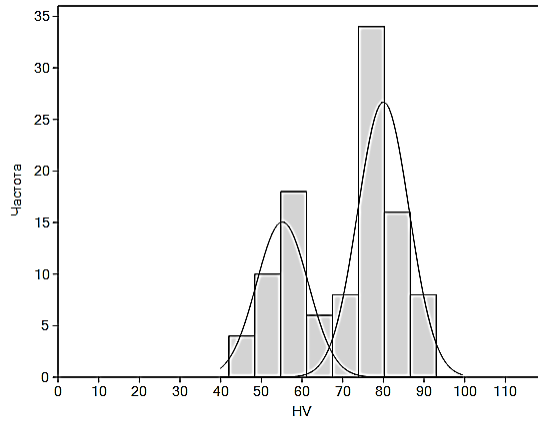
б

**Рис. 1.** Гистограмма распределения микротвердости в композиции У8 + 08Х18 после горячей прокатки при температуре 1000 °С: а — в слое стали У8; б — в слое стали 08Х18

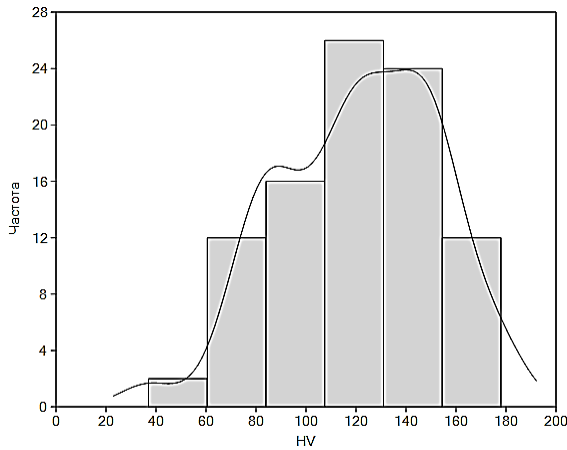


Предполагая межслоевое диффузионное распределение легирующих элементов, были проведены эксперименты, состоящие в отжиге указанных образцов при температуре 1000 °С в течение одного, двух и трех часов. При увеличении продолжительности выдержки до 3 ч сохраняется бимодальность распределения микротвердости в слое стали У8 и нормальный закон распределения с правосторонней асимметрией в слое стали 08X18.

В слое стали 08кп при композиции 08кп + 08X18 наблюдается ярко выраженное бимодальное (в отличие от нормального асимметричного) распределение микротвердости в слое 08X18 (рис. 2). Проведение выдержки в течение трех часов приводит к формированию нормального распределения в стали 08 кп со значительным снижением значений микротвердости, а в стали 08X18 — к сужению интервала значений микротвердости и снижению средних значений микротвердости почти в 2 раза.



*a*



*б*

**Рис. 2.** Гистограмма распределения микротвердости в композиции 8кп + 08X18 после горячей сма45кпрокатки при температуре 1000 °С: *a* — в слое стали 08кп; *б* — в слое стали 08X18

Анализ проведенных исследований показал отклонение от нормального закона распределения значений микротвердости во всех слоях различных композиций, что свидетельствует о наличии многофазного строения в этих слоях.

### Литература

- [1] Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки. *МиТОМ*, 2010, № 6, с. 44–49.
- [2] Колесников А.Г., Мечиев Ш.Т., Панова И.Ю. Состояние и перспективы применения многослойных металлических заготовок. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2008, № 1, с. 42–43.
- [3] Степнов М.Н. *Статистические методы обработки результатов механических испытаний*. Справочник. Москва, Машиностроение, 1985, 232 с.

## Study of the Endurance of Multilayer Steel Materials During Cyclic Loading

© | Vlasova D.V.  
Plokhikh A.I.

vlasova-dari@list.ru  
plokhikh@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In the work, a layered distribution of the microhardness of multilayer metallic materials was investigated. Analysis of the studies showed that deviations from the normal distribution of microhardness in layers of multilayer materials are observed in all compositions, which indicates the presence of a multiphase structure in all layers of compositions multilayer materials.*

**Keywords:** *multilayer metal materials, laminar structure, hot pack rolling, microhardness.*

УДК 621.316.53.066.002

## Выбор материалов и конструкции их соединения для электрических контактов автоматических выключателей

© | Курганов Данила Сергеевич<sup>1</sup>  
Николюкин Юрий Валерьевич<sup>2</sup>  
Куркалов Сергей Михайлович<sup>3</sup>

Danilka1@yandex.ru

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> АО «НИИ газоразрядных приборов «Плазма», Рязань, 390023, Россия

<sup>3</sup> ООО «Пластметпроект», Ульяновск, 432071, Россия

*Реализован выбор сочетания материалов и разработана технология их соединения в конструкции неподвижных контактов автоматических выключателей низковольт-*

ной коммутационной аппаратуры электротехнического оборудования, обеспечивающая повышенные эксплуатационные характеристики.

**Ключевые слова:** электрические контакты, коммутационный ресурс, металлографитные композиции.

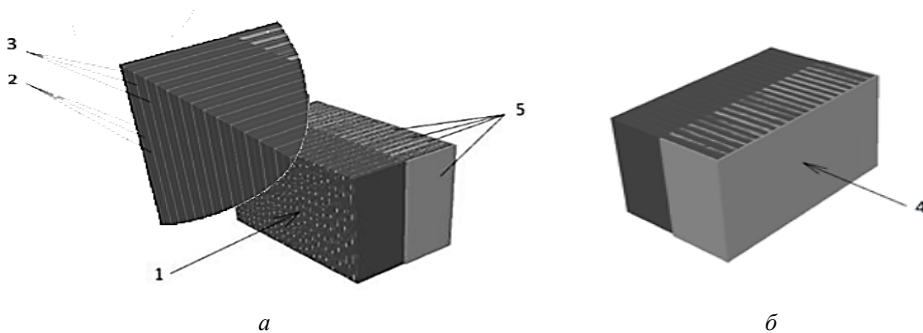
Увеличение мощности электрооборудования влечет за собой преждевременный выход из строя основных составляющих узлов, в том числе реле, вследствие отказа электрических контактов. Возникает проблема, связанная с повышением надежности и безотказности их работы. Данные реле являются элементной базой систем железнодорожной автоматики и телемеханики и обеспечивают безопасность движения поездов. Большинство проблем при эксплуатации таких электрических контактов, связаны со свариванием замыкающих фронтовых контактов и преждевременным изнашиванием рабочих частей. Объектом данного исследования выбраны неподвижные контакты автоматических выключателей низковольтной коммутационной аппаратуры.

Задача, на которую направлено исследование, состоит в разработке более дешевого, по сравнению с применяемыми до настоящего времени, электрического контакта, обладающего высокой стойкостью к свариванию и повышенным коммутационным ресурсом.

На основе результатов патентного поиска и анализа специальной литературы, смоделированы конструкции соединения различных материалов. Эмпирическим путем установлена оригинальная конструкция сочетания материалов, обеспечивающая ряд предъявляемых требований [1–3].

За образец для сравнения и предполагаемый объект замены, принят контакт из серебро-графитной композиции марки Вар.112Д (серебро 40 % масс.) ТУ16-538.158-72, используемый в настоящее время для осуществления коммутации электрического тока в реле 1 класса надежности.

Экспериментальные электрические контакты изготовлены прессованием тридцати сегментов анизотропного графита и пятнадцати сегментов серебра между ними с рабочей поверхностью 7×5 мм и высотой 5 мм. Рабочая поверхность 1 (рис. 1, а) электрического контакта обеспечивается торцами спрессованных слоев графита с анизотропной структурой и торцами слоев металла между ними. Поверхность токосъема 4 (рис. 1, б) образована металлической сеткой 5.



**Рис. 1.** Электрический контакт:

а, б — контакт со стороны рабочей поверхности токосъема соответственно; 1 — рабочая поверхность электрического контакта; 2 — сегменты металла; 3 — сегменты анизотропного графита; 4 — поверхность токосъема контакта; 5 — металлическая сетка

Выбор данного сочетания материалов обоснован прогнозированием повышения коммутационного ресурса контакта за счет слоев металла между слоями графита, и получения надежной несвариваемости контакта при протекании мощных импульсов тока за счет большого содержания графита в контакте — 60...80 % масс.

Среди прочих испытаний, подтверждающих возможность замены контактов на предлагаемые, проведены испытания на стойкость к свариванию и коммутационный ресурс, которые выполняли по методике ФЭО.005.765 «Испытания металлографитных контактов на коммутационный ресурс и не свариваемость», утвержденных Главным Управлением сигнализации и связи. Для испытаний экспериментальный контакт был установлен в реле марки НМШ1-1440, традиционно применяемое в системах автоматики железных дорог.

Испытания проводили путем пропускания через замкнутую пару контактов десяти разрядов конденсаторной батареи емкостью 20 000 мкФ, заряженной до напряжения 24 В. При этом амплитуда тока составила 200 А, длительность протекания тока — 50 мс. Несвариваемость контролировали после каждого разряда конденсаторной батареи. В результате испытаний экспериментальные электрические контакты показали устойчивую несвариваемость в заданных условиях.

При оценке значения коммутационного ресурса коммутируемый ток составлял 2 А, коммутации осуществлялись при коммутируемом постоянном напряжении 24 В. В начале испытаний и через каждые 100 тысяч коммутаций измеряли переходное сопротивление контактных пар. Результаты измерений отображены в таблице.

#### Результаты исследований на переходное сопротивление

Переходное сопротивление контакта реле НМШ1-1440, Ом												
В начале испытаний	Количество коммутаций											
	100 тыс.	200 тыс.	300 тыс.	400 тыс.	500 тыс.	600 тыс.	700 тыс.	800 тыс.	900 тыс.	1000 тыс.	1100 тыс.	1200 тыс.
0,04	0,02	0,02	0,05	0,14	0,17	0,07	0,01	0,02	0,02	0,06	0,07	0,10

Согласно методике ФЭО.005.765, переходное сопротивление контактной пары после 1200 тысяч коммутаций не должно превышать 0,5 Ом. Превышение данного показателя считается коммутационным ресурсом контакта.

Коммутационный ресурс контакта марки Вар.112Д, выбранного в качестве сравнительного объекта составил 6,1 млн коммутаций, а у экспериментального контакта он составил 30,8 млн коммутаций.

Таким образом, в результате сочетания чередующихся слоев графита с анизотропной структурой, параллельной плоскости прессования контакта, со слоями серебра и сформированной торцами рабочей поверхностью при наличии металлической сетки со стороны токосъема достигнут требуемый технический результат: обеспечена несвариваемость контакта и достигнут большой коммутационный ресурс, в 5 раз превышающий коммутационный ресурс традиционно используемого контакта марки Вар.112Д.

#### Литература

- [1] Гершман И.С., Харитонов Е.О., Бардин А.Н. Испытания на дуговое воздействие материалов систем Cu-C, Cu-Cr, Cu-Cr-C. *Вестник ВНИИЖТ*, 2006, № 4, с. 42-44.

- [2] Бойко А.В. Эрозионная стойкость материалов в системе серебро-графит с анизотропной структурой. *Известия вузов. Цветная металлургия*, 2006, № 1, с. 59–62.
- [3] Гершман И.С., Харитонов Е.О., Бардин А.Н. Испытания на дуговое воздействие материалов систем Cu–C, Cu–Cr, Cu–Cr–C. *Вестник ВНИИЖТ*, 2006, № 4, с. 42–44.

## Selection of Materials and their Connection Designs for Electrical Contacts of the Automatic Switch

© | Kurganov D.S.<sup>1</sup>  
Nikolyukin Y.V.<sup>2</sup>  
Kurcalov S.M.<sup>3</sup>

Danilkka1@yandex.ru

<sup>1</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> JSC "Research Institute of gas discharge devices «PLASMA»", Ryazan, 390023, Russia

<sup>3</sup> "Plasmatrete", Uloianovsk, 432071, Russia

*The choice of a combination of materials was realized and the technology of their connection in the design of fixed contacts of automatic switches of low-voltage switchgear of electrical equipment, providing increased operational ones, was developed.*

**Keywords:** *Electrical contacts, switching resource, metal-graphite compositions.*

УДК 620.22:621.771:620.178.3

## Исследование долговечности многослойных стальных материалов при циклическом нагружении

© | Минаков Александр Александрович  
Плохих Андрей Иванович

crytoicem@rambler.ru  
plokhikh@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Исследованы усталостные свойства многослойных металлических материалов на основе широко используемых нержавеющей сталей 08X18H10 и 08X18. Анализ исследований показал, что циклическая долговечность увеличивается с повышением дисперсности ламинарной структуры многослойного материала.*

**Ключевые слова:** *многослойные металлические материалы, ламинарная структура, горячая пакетная прокатка, усталость, циклическая долговечность.*

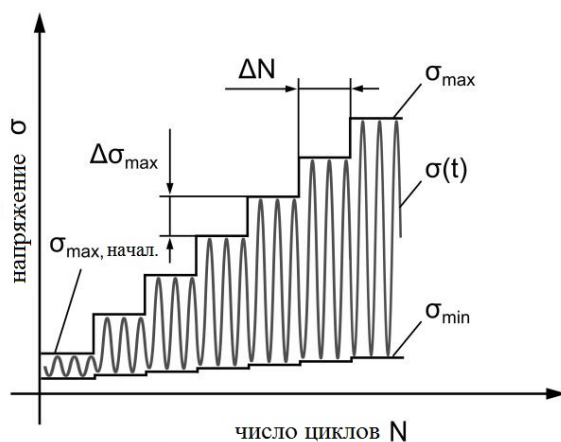
Многослойные металлические материалы имеют значительную перспективу использования в качестве конструкционных и инструментальных материалов. В работе [1] было изучено состояние поверхности раздела и влияние последовательности чередования слоев на механические свойства многослойных металлических материалов.

Эти свойства проявляются благодаря созданию многослойной (ламинарной) структуры с чередующимися слоями материалов с толщиной субмикронного (или наноразмерного) диапазона.

Существует две группы методов синтеза многослойных материалов — «нисходящие» и «восходящие». В основе «восходящей» группы лежит принцип осаждения материала на подложку, в основе «нисходящей» — значительная пластическая деформация массивных композитных заготовок. Один из новых методов «нисходящей» группы разработан авторами [2] — получение многослойного материала на основе использования горячей пакетной прокатки, который позволяет получить однородную ламинарную структуру на основе гомогенных материалов: сталей, широко выпускающихся промышленностью. При этом в таких материалах достигаются высокие показатели прочностных свойств (пределы текучести и прочности, твердость), а сам метод горячей пакетной прокатки является высокопроизводительным и эффективным.

Известно, что в материалах, обладающих высоким пределом текучести, возможно реализовать высокое сопротивление усталости [3]. Исследования многослойных материалов, полученных по «восходящему» методу, на примере многослойной композиции из меди и ниобия показали, что эти материалы обладают высокой усталостной прочностью за счет формирования наноразмерных слоев в таком материале [4]. Поэтому целью исследования в данной работе было изучение усталостных свойств многослойных стальных материалов и оценка влияния на них дисперсности ламинарной структуры.

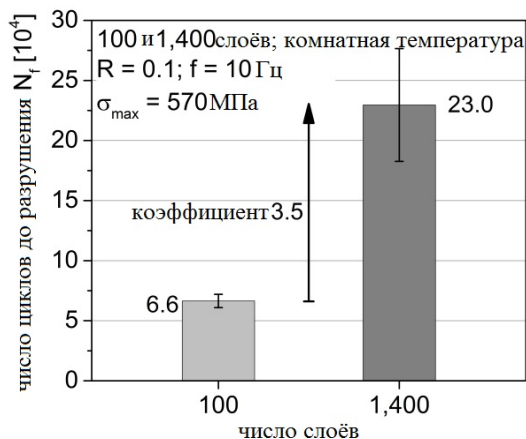
Совместно с коллегами из Технического университета г. Дортмунда (Германия) были проведены испытания по определению усталостной прочности ускоренным методом постепенного повышения нагрузки (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема определения усталостной прочности ускоренным методом постепенного повышения нагрузки

В исследовании использованы многослойные материалы на основе нержавеющей сталей 08X18H10 и 08X18, полученные после реализации разных этапов технологического процесса синтеза материалов [5]. После первого технологического цикла количество слоев в материале составило 100 при толщине отдельного слоя 20 мкм, а

после второго — 1400 при толщине отдельного слоя 5 мкм. Исследования показали, что предел усталостной прочности данного материала составил 570 МПа при значительной разнице в циклической долговечности между образцами с разным количеством слоев. Так, циклические долговечности многослойных стальных материалов с 1400 и 100 слоями различались в 3,5 раза (рис. 2).



**Рис. 2.** Число циклов до разрушения при испытании методом постепенного повышения нагрузки для многослойных стальных материалов после первого (100 слоев) и второго (1400 слоев) технологических циклов

Таким образом, многослойные стальные материалы, обладая значительным запасом циклической долговечности, могут стать перспективными конструкционными материалами для изделий, работающих в условиях циклического знакопеременного нагружения. Установлено, что циклическая долговечность увеличивается с уменьшением толщины слоев многослойного материала. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение механизмов влияния на увеличение циклической долговечности.

### Литература

- [1] Колесников А.Г., Плохих А.И. Конструкционные металлические материалы с субмикронной и наноразмерной структурой. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спецвыпуск «Наноинженерия»*, 2010, с. 44–52.
- [2] Колесников А.Г., Плохих А.И., Михальцевич И.Ю. Исследование возможности получения субмикронной и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки. *Производство проката*, 2010, № 3, с. 25–31
- [3] Херцберг Р.В. *Деформация и механика разрушения конструкционных материалов*. Москва, Металлургия, 1989, 576 с.
- [4] Wang Y.C., Misra A., Hoagland R.G. Fatigue properties of nanoscale Cu/Nb multilayers. *Scripta Materialia*, 2006, vol. 54, pp. 1593–1598.
- [5] Schmiedt A., Luecker L., Kolesnikov A., Plokhikh A.I., Walther F. Production- and microstructure-based fatigue assessment of metallic AISI 304/430 multilayer materials produced by hot pack rolling. *Materialpruefung*, 2017, vol. 59, no. 2, pp. 123–129.

## Study of the Endurance of Multilayer Steel Materials during Cyclic Loading

© | Minakov A.A.  
Plokhikh A.I.

crytoicem@rambler.ru  
plokhikh@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The fatigue properties of multilayer metallic materials based on widely used stainless steels AISI 304 and AISI 430 were investigated. Analysis of the studies showed that the fatigue life increases with increasing dispersion of laminar structure of the multilayer material.*

**Keywords:** multilayer metal materials, laminar structure, hot pack rolling, fatigue, fatigue life.

УДК 669.136.9

## Термодинамическая вероятность образования феррита на месте графита в высокопрочных чугунах после азотирования

© | Мишук Любовь Николаевна  
Крапошин Валентин Федорович

lotos1391@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Процесс азотирования применяется для повышения твердости поверхности, увеличения коррозионной стойкости материала и снижения износа деталей, работающих в условиях трения. Объектом исследования являлся высокопрочный чугун на перлитной металлической основе. Рассмотрены термодинамические особенности, протекающие в поверхностном слое образцов после азотирования: на микроструктуре на месте графита образовались светлые области, которые формируются в результате диффузии азота при температуре азотирования равной 580 °С. В работе проведен расчет по основным уравнениям термодинамики для энергии активации продуктов реакции. Для проверки результатов использовалась программа «SmartCalc», которая подтвердила правильность расчетов. Было установлено, что реакция протекает самопроизвольно и в результате нее на месте графита образуется феррит.*

**Ключевые слова:** чугун, термодинамика, азотирование, графит, феррит, диффузия.

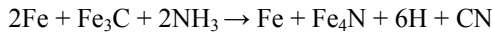
Детали локомотивов, такие как втулки дизельных двигателей, изготавливают из высокопрочного чугуна. Втулки длительный период времени работают в тяжелых условиях при разных климатических условиях, ударах. Поэтому, к ним предъявляются высокие требования по надежности, долговечности и работоспособности. Для обеспечения требуемых параметров необходимо поверхность деталей защищать от износа с помощью азотирования.

При изучении образцов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом после азотирования была замечена интересная закономерность, которая заключалась в



том, что в результате эксперимента на поверхностном слое был виден переход графита в новую фазу, которая сохраняет форму предыдущей. Для подтверждения возможности такого явления нужно в процессе азотирования провести термодинамический расчет вероятности преобразования одной структурной составляющей в другую.

Перлит — это структура, состоящая из эвтектоидной смеси фаз феррита и цементита. В результате азотирования происходит увеличение диффузии железа, что приводит к образованию феррита, а цементит распадается на феррит и углерод, но в результате азотирования углерод в свободном состоянии уходит из-за воздействия на него азота, а на месте углерода образуется феррит. Напишем реакцию взаимодействия [1]:



Рассчитаем энергию образования химических соединений, участвующих в реакции азотирования высокопрочного чугуна при температуре второй ступени равной 580 °С ( $\approx 900 \text{ K}$ ) [2]:

$$\begin{aligned} \Delta G(\text{Fe}) &= -8\,523 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{K}); \quad \Delta G(\text{Fe}_3\text{C}) = 1\,300 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{K}); \\ \Delta G(\text{NH}_3) &= 12\,000 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{K}); \quad \Delta G(\text{Fe}_4\text{N}) = 7\,800 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{K}); \\ \Delta G(\text{H}) &= -30\,843 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{K}); \quad \Delta G(\text{CN}) = 64\,500 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{K}). \end{aligned}$$

Рассчитаем  $\Delta G_{\text{реакции}}$  по формуле

$$\Delta G_{\text{реакции}} = \Delta G - \Delta G_{\text{исходных}}$$

$$\Delta G_{\text{продуктов}} = -8\,523 + 7\,800 + 64\,500 + (6 \times (-30\,843)) = -121\,281 \text{ кал}/\text{моль},$$

$$\Delta G_{\text{исходных}} = (2 \times (-8\,523)) + 1\,300 + (2 \times 12\,000) = 8\,254 \text{ кал}/\text{моль},$$

$$\Delta G_{\text{реакции}} = -121\,281 - 8\,254 = -129\,535 \text{ кал}/\text{моль} \approx -129\,535 \times 4,18 = -541\,456 \text{ Дж}.$$

Было проведено сравнение термодинамического расчета с результатами, полученными с помощью программы SmartCalc. В итоге установлено, что значения совпадают, следовательно, реакция протекает самостоятельно. Таким образом, в процессе азотирования возможно возникновение феррита на местах ранее сформировавшегося графита, что обеспечивается процессом диффузии азота в процессе химико-термической обработки [3].

Проведенные исследования подтвердили все ранее высказанные предположения, следовательно, в процессе азотирования высокопрочных чугунов с шаровидным графитом на перлитной металлической основе идет образование феррита — это было подтверждено термодинамическим расчетом. В результате насыщения азотом в слое начинаются процессы диффузии, приводящие к образованию на месте графитовых включений феррита. За счет этих включений происходит релаксация напряжений и ударов при работе тяжело нагруженных деталей, увеличивается их срок службы и повышается надежность.

### Литература

- [1] Уикс К.Е., Блок Ф.Е. *Термодинамические свойства 65 элементов, их оксидов, галогенидов, карбидов, нитридов*. Москва, Металлургия 1965, 240 с.
- [2] Могутнов Б.М., Томилин И.А. *Термодинамика сплавов железа*. Москва, Металлургия, 1972, 328 с.
- [3] Усков М.П. Структура и фазовые превращения твердых растворов внедрения на основе альфа-железа. Москва, Металлургия, 1981, 366 с.

## Thermodynamic Probability Ferrite Formation in Place of High-Strength Graphite in Cast iron after Nitriding

© | Mishchuk L.N.  
| Kraposhin V.F.

lotos1391@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Nitriding process is used to increase the surface hardness, increase the corrosion resistance of the material and to reduce the wear and tear parts subject to friction. The study on pearlitic cast iron is a metal base. In this work the thermodynamic features occurring in the surface layer after nitriding samples. On microstructure formation visible light areas on the site of graphite. They are formed as a result of diffusion of nitrogen at the temperature of the nitriding equal 580 °C. work calculation on the basic equations of thermodynamics for the activation energy of the reaction products. To check the results of the program «used SmartCalc, which confirmed the correctness of calculations. It was found that the reaction takes place spontaneously, and as a result it is formed on the site of graphite ferrite.*

**Keywords:** iron, thermodynamics, nitriding, graphite, ferrite, diffusion.

УДК 669.141.232:669.182.36:669.018.472

## Исследование температурной зависимости теплового расширения многослойных материалов на основе сталей

© | Сафонов Михаил Дмитриевич  
| Плохих Андрей Иванович

MSafonov@bmstu.ru  
plokhikh@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены результаты исследований температурной зависимости термического коэффициента линейного расширения многослойного металлического материала, изготовленного методом горячей пакетной прокатки, на основе конструкционных сталей.*

**Ключевые слова:** горячая пакетная прокатка, многослойный металлический материал, направление прокатки, dilatометрический анализ, термический коэффициент линейного расширения.

Изучением теоретических аспектов создания материалов имеющих нелинейные физико-механические характеристики занимались многие исследователи, что стало результатом активизации работ по поиску материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона и термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) [1–3]. Известны работы по созданию математической модели, в соответствии с которой ТКЛР может иметь отрицательные значения в материалах со слоистым строением на

основе бинарных либо тройных композиций металлов. Основным критерием при выборе материалов является существенная разница в модуле нормальной упругости  $E$  и значении ТКЛР, которая для выбранных материалов может отличаться в 4–5 раз [4]. Однако технологические аспекты, связанные с совместимостью подобных материалов, межслойной диффузией легирующих элементов, способами создания неразрывной связи между слоями, благодаря которым и стало бы возможным проявление указанного эффекта, рассмотрены не были. Поэтому актуальной является идея реализации разработанных подходов в конструкционных металлических материалах, имеющих особое, слоистое строение, но которые были бы получены на основе доступных и технологичных материалов, например сталей.

Исходя из представленных соображений, нами в качестве модельной была выбрана композиция, состоящая из сталей 08кп и 08Х18. Первичные композитные заготовки состояли из 100 чередующихся между собой листов указанных сталей толщиной 0,5 мм (по 50 каждой марки соответственно). С помощью разработанного ранее экспериментального технологического маршрута, включающего мерную резку заготовок из листов, обработку их поверхности, сборку нарезанных листов в пакет, вакуумирование пакета и последующее пластическое деформирование методом горячей прокатки при температуре 1000 °С, были получены заготовки полосового сортамента шириной 100 мм и толщиной 10 мм [5].

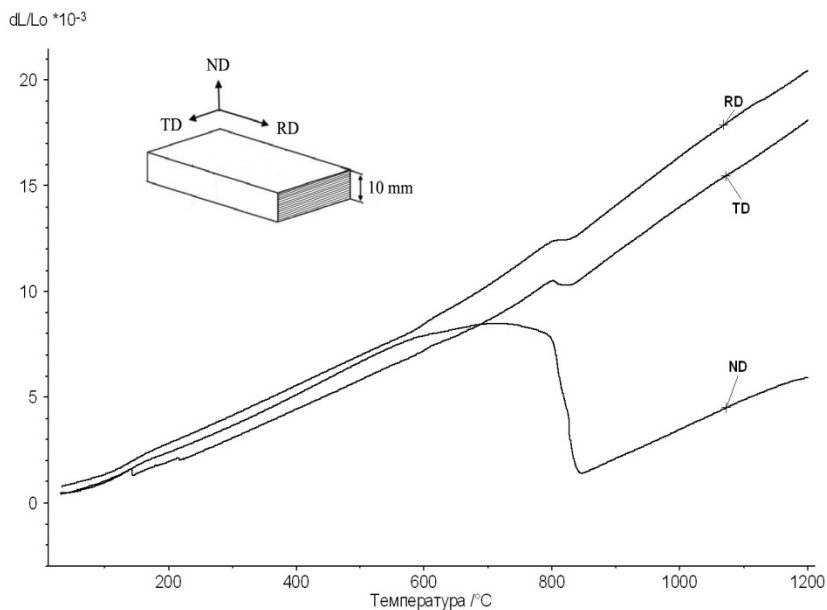
Для проведения дилатометрических исследований из горячекатаной полосы вырезали образцы одинаковой длины, равной 10 мм, которая соответствовала толщине проката. Образцы вырезались в трех направлениях: вдоль направления проката (RD), в плоскости проката (TD) и в направлении, перпендикулярном плоскости проката (ND).

Измерения выполняли на дилатометре DIL-402С производства фирмы «Netzsch» (Германия) с держателем и толкателем из корунда в интервале температур от 20 до 1200 °С при нагреве и охлаждении печи со скоростью 5 град/мин в атмосфере технически чистого аргона. Температуру измеряли платина-платинородиевой термопарой (тип S), расположенной в непосредственной близости от образца, с погрешностью не превышающей 5 °С.

Проведенное дилатометрическое исследование показало (рис. 1), что исследуемый многослойный материал имеет аномалию теплового расширения ( $dL/L$ ) в направлении перпендикулярном к плоскости прокатки ND. Одновременно с этим, в плоскости этого же листового материала, в направлениях RD и TD ход дилатометрической кривой с незначительными отклонениями, совпадает с трендом термического расширения стали 08Х18.

Учитывая, что  $\alpha \rightarrow \gamma$  переход в процессе нагрева стали 08кп происходит с уменьшением параметров кристаллической решетки, можно связать усиление этого сжатия с наложением напряжений со стороны расширяющихся слоев стали 08Х18. При этом такое же сильное действие, но уже растягивающего свойства со стороны слоев стали 08Х18, напряжения оказывают на слои стали 08кп в направлениях RD и TD, что вызывает практически полную компенсацию сжатия, обусловленную  $\alpha \rightarrow \gamma$  переходом.

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что формирование многослойной структуры способно оказать влияние на значения ТКЛР в нормальном к плоскости материала направлении. Однако уменьшение абсолютных значений коэффициента термического расширения обусловлено благоприятным сочетанием условий при нагреве, а именно совпадением знака сжимающих напряжений стали 08Х18 с направлением изменения параметров кристаллической решетки стали 08кп.



**Рис. 1.** Зависимость относительного удлинения при нагреве многослойного материала 08X18 + 08кп в направлениях RD, TD и ND (образец толщиной 10 мм, кол-во слоев 100)

При этом важным остается сам факт значительной анизотропии температурной зависимости ТКЛР многослойного стального материала, что может предполагать его избирательное, адаптивное поведение при использовании в узлах и устройствах, требующих термической компенсации в процессе эксплуатации.

### Литература

- [1] Bensoussan A., Lions J.-L., Papanicolaou G.C., *Asymptotic Analysis for Periodic Structures*, North Holland, Amsterdam, 1978.
- [2] Sanchez-Palencia E. *Nonhomogeneous Media and Vibration Theory, Lecture Notes in Physics*, vol. 127, Springer-Verlag, Berlin-New-York, 1980.
- [3] Almgren R.F. An isotropic three-dimensional structure with Poisson's ratio. *J. of Elasticity*, 1985, vol. 15, pp. 427–430.
- [4] Колпаков А.Г., Ракин С.И. К задаче синтеза композиционного материала одномерного строения с заданными характеристиками. *Прикладная механика и техническая физика*, 1986, № 6, с. 143–150.
- [5] Колесников А.Г., Плохих А.И. Конструкционные металлические материалы с субмикронной и наноразмерной структурой. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спецвыпуск «Нанотехнологии»*, 2010, с. 44–52.

## The Temperature Dependence of the Thermal Expansion of the Laminates Based Steels

© Safonov M.D.  
Plokhikh A.I.

MSafonov@bmstu.ru  
plokhikh@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The paper presents the results of research into Coefficients of Thermal Expansion anisotropy discovered in multilayer metal material produced by hot pack rolling based on structural steels.*

**Keywords:** hot pack rolling, multilayer metal material, rolling direction, dilatometric analysis, coefficients of thermal expansion.

УДК 621.785

## Влияние термической обработки на контактную выносливость легированных высокоуглеродистых сталей

© Севальнев Герман Сергеевич  
Смирнов Александр Евгеньевич

herman92@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрено влияние упрочняющей обработки в вакууме на контактную выносливость легированных высокоуглеродистых сталей 8Х4В9Ф2-Ш, 60Х13С-ШД, 95Х18-Ш, 110Х18М-ШД, предназначенных для изготовления деталей тонкостенных прецизионных подшипников качения. Показано, что количество циклов до разрушения растет с увеличением концентрации углерода в стали. Получено, что увеличение скорости охлаждения в азоте при закалке также приводит к увеличению количества циклов до разрушения: для стали 110Х18М-ШД на 12 %, для остальных более чем в 1,5 раза.*

**Ключевые слова:** упрочняющая обработка в вакууме, подшипниковые стали, высокоуглеродистые легированные стали, подшипники качения.

Прецизионные тонкостенные подшипники качения являются высоконагруженными изделиями, работоспособность которых зависит от контактной выносливости и износостойкости колец и тел качения, а также от их размерной стабильности.

Основная причина повреждения и дальнейшего разрушения деталей подшипников — контактная усталость. Кольца и тела качения при работе подвергаются переменным напряжениям сдвига в подповерхностных слоях, напряжения соответствуют образованию трещин, которые распространяются по направлению к поверхности. При перекачивании тел качения по местам образования трещин происходит скалывание частиц материала, из которого изготовлены детали подшипника. Данный процесс

развивается при совокупном воздействии кромочных напряжений и продуктов контактного изнашивания.

Для устранения данной проблемы тонкостенные детали необходимо изготавливать из материалов с однородной структурой, высокой прочностью и твердостью поверхности [1].

Прецизионные подшипники качения работают в условиях малоударных или безударных нагрузок, поэтому всем необходимым требованиям удовлетворяют высокоуглеродистые подшипниковые стали, состав которых представлен в таблице.

**Химический состав сталей**

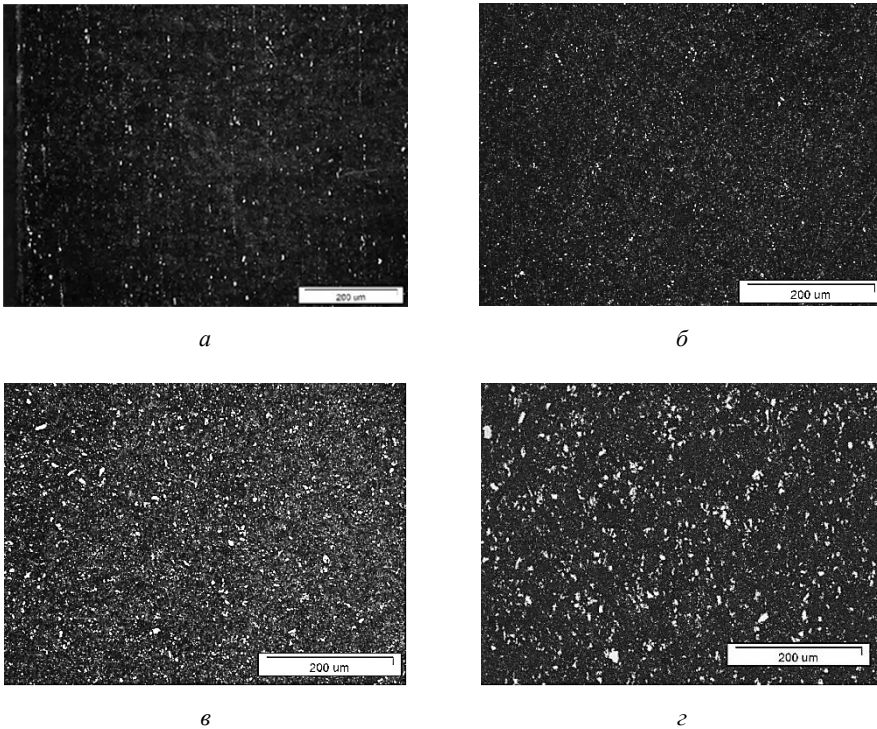
Марка стали	Содержание элементов, % (масс.)										
	C	Mn	Si	Mo	Cr	S	P	Ni	Cu	W	V
8X4B9Ф2-Ш	0,7... 0,8	≤0,4	≤0,4	≤0,3	4,0... 4,6	≤0,03	≤0,03	≤0,35	≤0,35	8,5... 9,5	1,4... 1,7
60X13C-ШД	0,56... 0,63	0,2... 0,6	1,2... 1,6	—	13,0... 13,9	≤0,015	≤0,025	≤0,3	≤0,3	—	—
95X18-Ш	0,9... 1,0	≤0,8	≤0,8	—	17,0... 19,0	≤0,02	≤0,03	≤0,6	≤0,3	—	—
110X18-ШД	1,10... 1,12	0,5... 1,0	0,53... 0,93	0,5... 0,8	16,5... 18,0	≤0,015	≤0,025	≤0,3	≤0,3	—	—

Для анализа влияния термической обработки в вакууме на число циклов до разрушения и выбора давления охлаждающего газа при закалке проводили исследования при двух значениях давлений охлаждающей среды — 0,1 и 0,6 МПа [2].

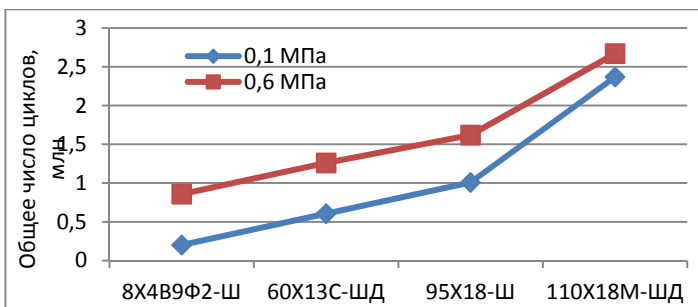
Упрочняющую обработку в вакууме образцов для испытаний на контактную выносливость проводили по различным режимам [3, 4]. Образцы из стали 8X4B9Ф2-Ш подвергали закалке при 1200 °С и трехкратному отпуску при 580 °С. Стали 60X13C-ШД, 95X18-Ш, 110X18М-ШД обрабатывали по следующему режиму: закалка 1080 °С, обработка холодом (-70 °С) и отпуск при 400...420 °С. Микроструктура сталей после полного цикла упрочняющей обработки представлена на рис. 1.

Испытания образцов на контактную выносливость показали, что проведение закалки при большем давлении охлаждающей среды (0,6 МПа) позволяет получать более высокие значения контактной выносливости. Для стали 8X4B9Ф2-Ш количество циклов до разрушения увеличилось в 4 раза, для сталей 60X13C-ШД и 95X18-Ш — в 1,5 раза, для стали 110X18М-ШД — на 12 % (рис. 2). Одной из возможных причин данного роста является более полное мартенситное превращение.

Анализ микроструктур (см. рис. 1) дает возможность предположить, что причиной роста количества циклов до разрушения при увеличении концентрации углерода является увеличение объемной доли карбидной фазы (см. рис. 1, б-з). Аномально низкое значение количества циклов для стали 8X4B9Ф2-Ш возможно связано с карбидной неоднородностью в виде строчек карбидов (см. рис. 1, а).



**Рис. 1.** Микроструктура сталей 8X4B9Ф2-Ш (а), 60X13С-ШД (б), 95X18-Ш (в) и 110X18М-ШД (г) после полного цикла упрочняющей обработки (давление закалочного газа 0,6 МПа) при увеличении 200 крат



**Рис. 2.** Количество циклов до разрушения при испытании на контактную выносливость для различных марок сталей

### Литература

- [1] Смирнов А.Е., Шевченко С.Ю., Щипунов В.С., Куняев В.Е., Севальнев Г.С. Особенности нитроцементации деталей приборных подшипников, предназначенных для работы в особо сложных условиях. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2016, № 5, с. 41–47.

- [2] Смирнов А.Е., Семенов М.Ю. Применение вакуумной термической и химико-термической обработки для упрочнения тяжело нагруженных деталей машин, приборов и инструмента. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн*, 2014, № 2. DOI: 10.7463/0214.0700036.
- [3] Герасимов С.А., Куксенова Л.И., Смирнов А.Е., Семенов М.Ю., Щербаков С.П. Структура и контактная выносливость упрочненных слоев теплостойкой стали ВКС-7 после ионно-плазменного азотирования. *Металлург*, 2016, № 4, с. 77–81.
- [4] Пахомова С.А., Рыжова М.Ю., Фахуртдинов Р.С., Макушина М.А., Пикалов А.И., Усова В.В., Юшин Н.А. Контактная выносливость и износостойкость теплостойкой стали после различных видов цементации. *Вестник научно-технического развития*, 2016, № 9 (109), с. 19–28.

## Influence of Heat Treatment on Fatigue Strength of Alloyed High Carbon Steels

© Sevalnev G.S.  
Smirnov A.E.

herman92@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The influence of hardening treatment in vacuum on the fatigue strength of alloyed high-carbon steels 8Kh4V9F2-SH, 60Kh13S-SHD, 95Kh18-SH, 110Kh18M-SHD intended for the manufacture of thin-walled precision rolling bearings is considered. It is shown that the number of cycles before failure increases with increasing concentration of carbon in steel. It is obtained that an increase in the rate of cooling in nitrogen also leads to an increase in the number of cycles before failure: for steel 110Kh18M-SHD by 12 %, for the rest more than 1.5 times.*

**Keywords:** *hardening treatment in vacuum, bearing steels, high-carbon alloyed steels, bearings.*

УДК 67.017

## Анализ влияния режимов термической обработки на структуру и свойства сварного соединения — гранулируемого никелевого сплава системы Ni–Cr–Mo–Al–Co

© Севальнева Татьяна Геннадьевна  
Севальнев Герман Сергеевич  
Курганова Юлия Анатольевна

tat8341945@yandex.ru  
herman92@mail.ru  
kurganova\_ya@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрено формирование структуры сварного соединения жаропрочного никелевого сплава системы Ni–Cr–Mo–Al–Co после сварки электронным лучом. Исследование микроструктуры и дюротметрический анализ показали, что после проведения полного цикла термической обработки микротвердость сварного соединения воз-*



растает на 50 HV<sub>0,1</sub>, а предварительная термическая обработка незначительно влияет на структуру сварного соединения.

**Ключевые слова:** *гранульная металлургия, горячее изостатическое прессование, сварка, сварное соединение, электронно-лучевая сварка.*

Никелевые сплавы являются незаменимыми конструкционными материалами, благодаря таким свойствам, как жаропрочность, жаростойкость, коррозионная стойкость, хорошая пластичность, небольшой коэффициент линейного расширения. Такой широкий спектр свойств позволяет использовать данные материалы в условиях высоких температур и напряжений в изделиях авиа- и ракетостроения.

На сегодняшний день большинство применяемых деталей в машиностроении — сварные. Никелевые сплавы по технике сварки близки к аустенитной стали. Однако усложнение химического состава данной категории сплавов с целью повышения жаропрочности, привело к затруднению их свариваемости.

Перед многими предприятиями стоит цель создания малолегированного никелевого сварного сплава. На ОАО «Композит» был разработан гранулированный малолегированный свариваемый никелевый сплав системы Ni–Cr–Mo–Al–Co, химический состав которого представлен в таблице [1].

**Химический состав исследуемого никелевого сплава, масс. % [1]**

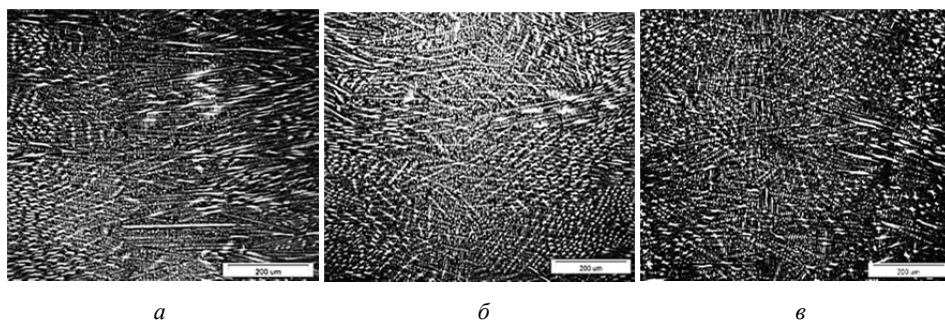
Ni	Cr	Mo	Al	Co	Nb	Hf	C
59,9–66,2	15,0–16,0	7,5–8,5	4,0–5,0	5,0–7,0	2,0–3,1	0,3–0,5	0,008–0,010

Анализ литературы показал, что наиболее подходящим видом сварки является электронно-лучевая, когда сварное соединение имеет прочность на уровне основного металла, а чистота атмосферы позволяет получить качественный сварной шов [2].

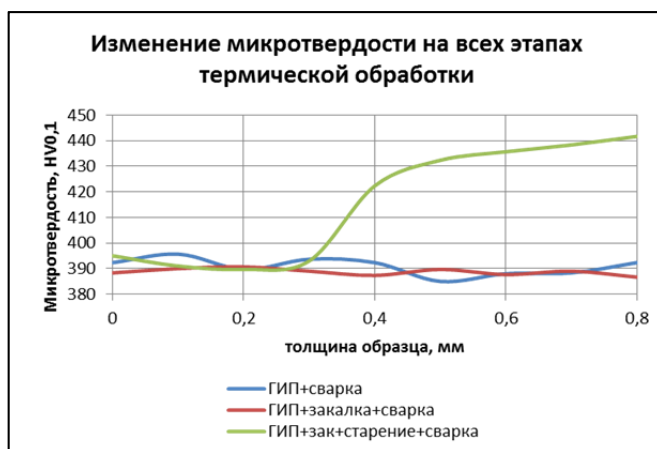
Для оценки влияния предварительной термической обработки на микроструктуру сварного шва никелевого сплава была проведена сварка после каждого технологического этапа технологии гранульной металлургии: ГИП + сварка, ГИП + закалка + сварка, ГИП + закалка + старение + сварка (ГИП — это метод соединения двух металлов горячим изостатическим прессованием). Анализ микроструктуры показал, что дендритная структура на каждом технологическом этапе меняет свой размер. После ГИП наблюдаются более крупные дендриты, по сравнению с закалкой и старением. После полного режима термической обработки наблюдается равномерная, равноосная мелковетвистая дендритная структура (рис. 1).

Для относительной оценки прочности сварного шва был проведен дюрометрический анализ. На рис. 2 показано влияние режимов термической обработки на изменение микротвердости в зоне сварного шва. Выявлено, что после проведения полного цикла термической обработки твердость сварного соединения выросла на 50 HV<sub>0,1</sub> по сравнению с твердостью основного металла, что, возможно, связано с образованием острой текстуры в направлении (111) в сварном шве.

Главной упрочняющей фазой в никелевых сплавах является гамма штрих фаза. Именно ее форма, количество являются определяющими прочностных характеристик изделий из никелевых сплавов. Правильную форму и равномерное распределение этой фазы получают после полного цикла термической обработки: ГИП + закалка + старение [3, 4].



**Рис. 1.** Микроструктуры образцов из никелевого сплава, полученных после разных режимов термической обработки на оптическом микроскопе: *а* — ГИП + сварка; *б* — ГИП + закалка + сварка; *в* — ГИП + закалка + старение x200



**Рис. 2.** Микротвердость сплава в зависимости от термической обработки

По результатам анализа микроструктур (см. рис. 1) показал, что предварительная термическая обработка незначительно влияет на формирование структуры сварного соединения. После полного цикла термической обработки сформировалась более мелкодендритная структура по сравнению с остальными видами обработки. Микротвердость сварного соединения также выросла на 50 HV<sub>0,1</sub>. Можно предположить, что данное явление связано с формированием острой текстуры, а также с большим количеством мелкодисперсной кубической гамма-штрих-фазы.

### Литература

- [1] Пат. 2327754 РФ. *Жаропрочный сплав на основе никеля*. Береснев А.Г., Богданова Т.Г., Кляцкин А.С. Кононов С.А., Логачева А.И., Логунов А.В., Перезовов А.С., Таран П.В., Логачев А.В. 2008, Бюл. № 18, с. 5.
- [2] Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. *Теория свариваемости сталей и сплавов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 487 с.

- [3] Жукова Т.Г. Изменение структуры и свойств гранулированного никелевого сплава под воздействием горячего изостатического прессования. *Физико-химия и технология неорганических материалов: Сб. матер. XIII Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов*, 2016, с. 234–235.
- [4] Логачева А.И., Жукова Т.Г., Курганова Ю.А. Формирование заданного комплекса свойств из гранулированного никелевого сплава ЭП741НП. *Будущее машиностроения России: Сб. докл. Восьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, с. 249–250.

## Analysis of the Influence of Thermal Processing Modes on the Structure and Properties of the Weld Compound — Granulated Nickel Alloy of the System Ni–Cr–Mo–Al–Co

©	Sevalneva T.G. Sevalnev G.S. Kurganova Yu.A.	tat8341945@yandex.ru herman92@mail.ru kurganova_ya@mail.ru
---	--	--

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The formation of the structure of a welded joint of a Ni-Cr-Mo-Al-Co high-temperature nickel alloy after welding with an electron beam is considered. A microstructure study and durometric analysis shown that after a complete heat treatment cycle, the microhardness of the welded joint increases by 50 HV<sub>0.1</sub>, and preliminary heat treatment has little effect on the structure of the welded joint.*

**Keywords:** granule metallurgy, hot isostatic pressing, welding, welded joint, electron-beam welding.

УДК 548.2

## Ориентационные соотношения между аустенитом и цементитом

©	Симич-Лафицкий Ненад Драганович Крапошин Валентин Сидорович	fiksor@mail.ru
---	--	----------------

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены различные ориентационные соотношения между аустенитом и цементитом. Предложен возможный механизм преобразования объединения двух октаэдров по общему ребру, присутствующего у ГЦК-решетки аустенита в характерное для цементита объединение двух девятивершинников Бернала по общей треугольной грани. Выполнено индцирование граней и плоскостей исходного и полученного кластеров и определены параллельные плоскости и направления. Показано, что полученные в данном механизме параллельности плоскостей и направлений совпадают с ориентационным соотношением Томсона — Ховела.*

**Ключевые слова:** Ориентационные соотношения аустенита и цементита, политопный подход.

Ориентационные соотношения (ОС) аустенита (раствор углерода в ГЦК-модификации железа) и цементита (карбид  $Fe_3C$ , структурный тип  $D0_{11}$ ), а также цементита и феррита (раствор углерода в ОЦК-модификации железа) исследованы во многих работах. К настоящему времени известны экспериментальные данные по ОС аустенита и цементита Джойса, Питча, Томпсона и Ховелла [1]. В заэвтектидной стали ( $Fe - 1,3 \% C - 12,0 \% Mn$ ) между избыточными видманштеттовыми карбидами (ВК) и аустенитом установлены ОС Питча:

$$[100]_{ВК} \parallel [5-54]_A; [010]_{ВК} \parallel [10-1]_A; [001]_{ВК} \parallel [225]_A. \quad (1)$$

Кроме о.с. Питча известны ориентационные соотношения, полученные Томпсоном и Ховелом в стали  $Fe-1.09\%C-2.38\%Mn$ :

$$[100]_{ВК} \parallel [181]_A; [010]_{ВК} \parallel [10-1]_A; [001]_{ВК} \parallel [-41-4]_A. \quad (2)$$

Томпсон и Ховел показали, что соотношения (1) и (2) могут быть записаны в единой форме [2, 3]:

$$\{103\}_{ВК} \parallel \{111\}_A; \langle 010 \rangle_{ВК} \parallel \langle 10-1 \rangle_A; \langle 30-1 \rangle_{ВК} \parallel \langle -12-1 \rangle_A. \quad (3)$$

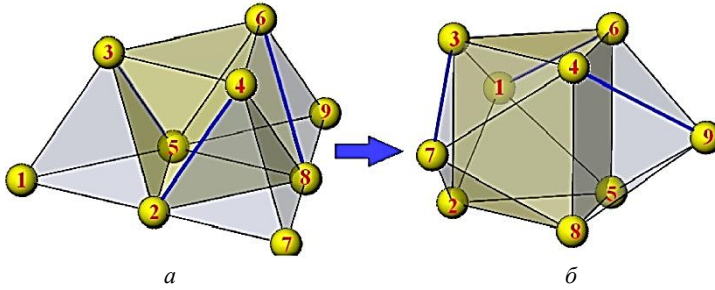
Природа наблюдаемых ориентационных соотношений между цементитом и аустенитом до сих пор остается неясной. В работе [1] высказывается естественное предположение о сопряжении фаз вдоль плотноупакованных плоскостей этих структур, т. е. плоскости (103) кристаллической решетки карбида  $Fe_3C$  и одной из плоскостей (111) гранцентрированной кубической решетки железа. Однако геометрия расположения атомов в сопрягающихся плоскостях цементита и аустенита нигде не рассматривалась.

В общем можно сказать, что вариантов ориентационных соотношений между аустенитом и карбидом железа несколько, что удивительно для низкосимметричного структурного типа  $D0_{11}$ . Можно предположить, что происхождение ориентационных соотношений между этими двумя фазами обусловлено самим механизмом превращения аустенит — карбид, более точно, механизмом образования зародыша кристаллической структуры цементита в кристаллической структуре аустенита. Сопряжение с низкой энергией межфазной границы достигается уже в процессе развития зародыша в кристалл, и наблюдаемое ориентационное соотношение является следствием механизма зародышеобразования. Высказанное предположение основано на развиваемой нами концепции полиморфных превращений в металлах, согласно которой все превращения являются симметричными трансформациями порождающих структуру атомных кластеров [4]. Такие симметрии групп Галуа  $PSL(2,7)$  и  $PSL(2,11)$ , описывающие перестановки вершин атомных кластеров в отличие от Федоровских групп эти некристаллографические симметрии предусматривают в процессе преобразования изменение расстояний между вершинами. Универсальным механизмом преобразования любой структуры в этой концепции является переброска диагоналей в ромбе, соответствующая симметричному мелко-линейному преобразованию Мебиуса в конечной плоскости Лобачевского. Было показано, что предположение такого механизма в качестве механизма мартенситного превращения между ГЦК и ОЦК структурами в сталях правильно предсказывает все наблюдаемые экспериментально габитусы мартенситного кристалла [5] и ориентационные соотношения между аустенитом и мартенситом [6].

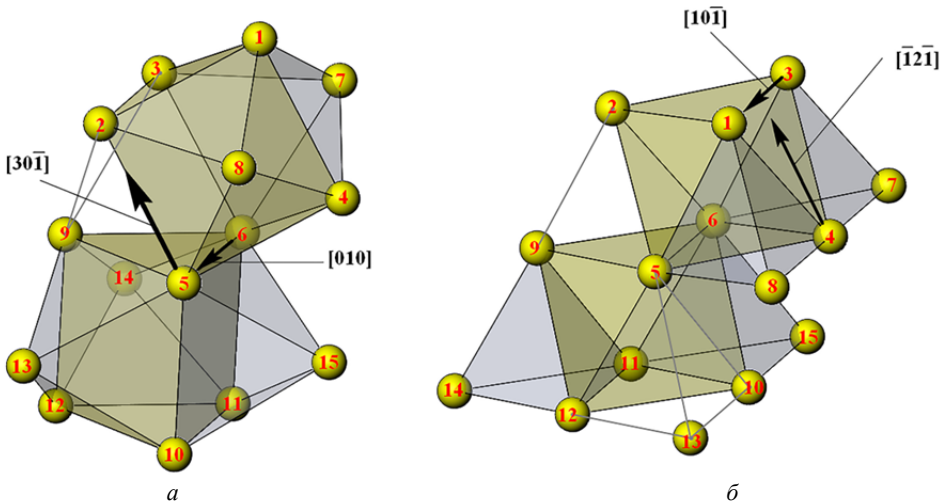
В настоящей работе мы исходим из предположения, что наблюдаемые ориентационные соотношения между цементитом и аустенитом определяются именно

симметричным механизмом образования зародыша при превращении аустенита в цементит.

Применительно к превращению аустенит — цементит можно предложить механизм преобразования объединения октаэдра с тремя тетраэдрами по общим граням в трехшапочную трехгранную призму (девятивершинник Бернала), как это показано на рис. 1. В структуре цементита трехгранная призма является вместилищем атома углерода, а порождающим кластером — объединение двух девятивершинников Бернала по общей треугольной грани (рис. 2).

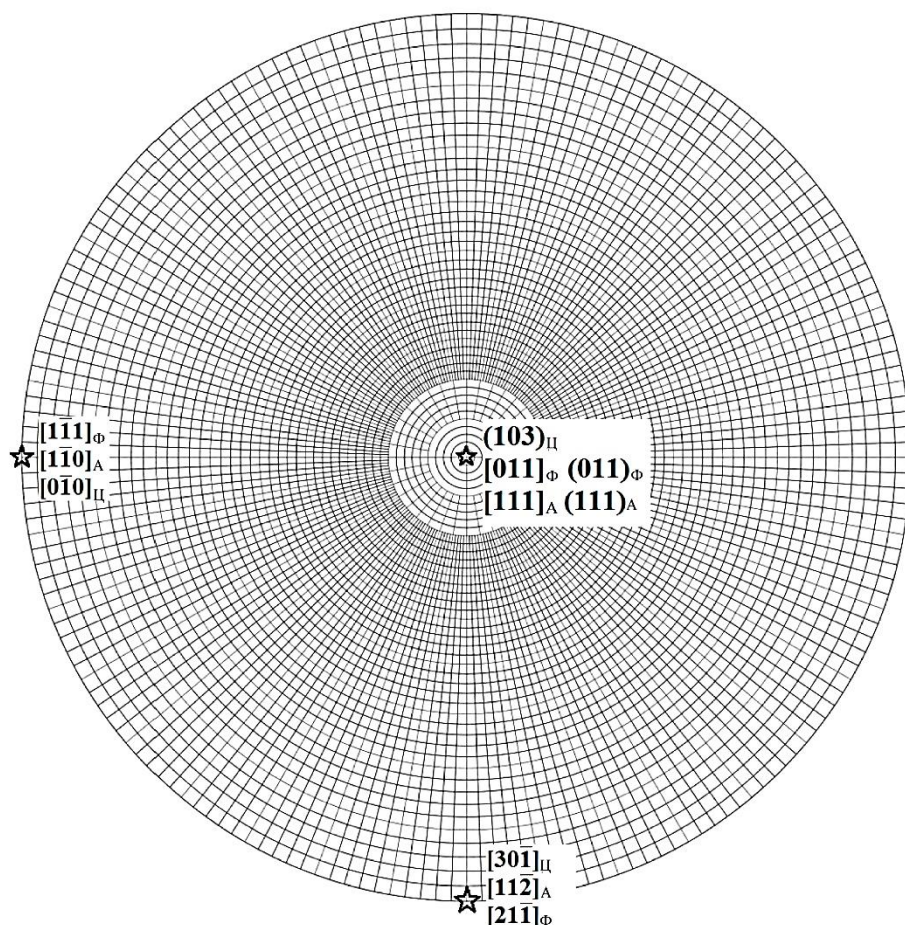


**Рис. 1.** Реконструкция объединения правильного октаэдра по общим граням с тремя тетраэдрами (а) в трехшапочную тригональную призму (б). Ребра 2-4, 3-5 и 6-8 заменяются ребрами 3-7, 1-6 и 4-9 соответственно (выделены цветом)



**Рис. 2.** Объединение двух девятивершинников Бернала по общей треугольной грани 5-6-9 (треугольной грани призмы одного кластера и треугольной грани полуоктаэдрической шапочки второго кластера) порождает всю структуру карбида  $Fe_3C$  (а). Выполнение замен ребер в обоих девятивершинниках, аналогичное показанному на рис. 1, трансформирует 15-вершинный кластер в объединение двух октаэдров по общему ребру 5-6 (б), т. е. во фрагмент ГЦК-решетки. Показаны индексы направлений решеток цементита (а) и ГЦК-аустенита (б), параллельность которых соответствует ОС Томсона — Ховела (1)

На рис.2 показано преобразование характерное для цементита объединение двух девятивершинников в объединение двух октаэдров по ребрам, что характерно для ГЦК-упаковки. В этом случае взаимная ориентировка трехшпачных призм и октаэдров точно соответствует ОС аустенит — цементит Питча — Томсона (3). Согласно экспериментальным данным Яковлевой [1] при выполнении ОС аустенита — цементита Питча она обнаружила выполнение ОС Курдюмова — Закса для феррита — аустенита, но при этом не указаны соотношения феррита — цементита. Согласно эксперименту была построена стереографическая проекция, где аустенит с цементитом совместили согласно Питчу — Томсону, а феррит относительно аустенита совместили по Курдюмову — Заксу. Тогда получается, что между ферритом и цементитом выполняется ОС Исайчева (рис. 3).



**Рис. 3.** Совмещенная стереографическая проекция цементит-аустенит-феррит по данным [2]. Аустенит и цементит совмещены согласно ОС Томсона — Ховела. Изображение звезды указывает на совпадение направлений (плоскостей) одновременно трех фаз (феррит, цементит, аустенит)

Таким образом, предложен возможный механизм образования зародыша при взаимном преобразовании порождающих кластеров цементита и аустенита. Определены индексы взаимно параллельных плоскостей и направлений аустенита и цементита (ОС) при данном механизме образования зародыша. Установлено, что ориентационные соотношения Томсона — Ховела (3) и полученные авторами работы полностью совпадают.

### Литература

- [1] Яковлева И.Л., Карькина Л.Е., кабанова И.Г., Счастливцев В.М., Зубкова Л.Е. Электронно-микроскопическое исследование микродвойников аустенита и их влияние на кристаллографические особенности перлитного превращения. *Известия РАН. Сер. физическая*, 2010, т. 74, № 11, с. 1599–1605.
  - [2] Talis A., Kraposhin V., Finite noncrystallographic groups, 11-vertex equiedged triangulated clusters, and polymorphic transformations in metals: *Acta Crystallographica A*, 2014, vol. 70, pp. 616–625.
  - [3] Kraposhin V.S., Pankova M.N., Talis A.L., Freiman Yu.A. An application of a polytope (4D-polyhedron) concept for the description of polymorphic transitions: iron martensite and solid oxygen. *J. Phys. IV. France*, 2003. vol. 112, pp. 119–122.
  - [4] Kraposhin V., Jakovleva I., Karkina L., Nuzhny G., Zubkova T. A.Talis: Microtwinning as a common mechanism for the martensitic and pearlitic transformations. *Journal of Alloys and Compounds*, 2013, vol. 577, no. 1, s30–S36.
  - [5] Thomson S.W., Howell P.R. F preliminary comparison of two apparently diverse cementite/austenite orientation relationships. *Scripta Metallurgica*, 1988, vol. 22, pp. 229–233.
- C.M. Wayman, Crystallographic Theories of Martensitic Transformations. *J. Less-Common Metals*, 1972, vol. 28, pp. 97–105.

## Orientation relationships between austenite and cementite

© Simich-Lafitsky N.D.  
Kraposhin V.S.

fiksor@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article shows the different orientation relationships between austenite and cementite. Possible mechanism of transformation of combination of two octahedrons connected by the general edge typical for the FCC-lattice of austenite to combination of two 9-vertex Bernal polyhedron connected by the general triangular face typical for cementite is shown. Assignment of indices of faces and planes of parent and received clusters was done and parallel planes and directions was determined. It is shown that received parallelism planes and directions is the same as orientation relationships Tompson — Howell.*

**Keywords:** orientation relationships between austenite and cementite, polytopic approach.



УДК 7.05

**Управление эффективностью предпринимательского проекта в сфере дизайна**

© Власов Максим Эдуардович  
Спасская Дарья Дмитриевна  
Терехова Наталия Юрьевна

maximvLASOV@inbox.ru  
spasskaydd@mail.ru  
terehova\_n\_u@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены вопросы управления эффективностью предпринимательских проектов в сфере дизайна, которые имеют свои специфические особенности, способствуют формированию новой культуры управленческой деятельности. Возрастающая сложность предпринимательских проектов в сфере дизайна с инновационными подходами к их выполнению и реализации, с одной стороны, и накопленный опыт классического управления предприятиями, с другой, при правильном менеджерском подходе дают уникальные решения для развития компаний сферы креативных индустрий.*

**Ключевые слова:** предпринимательский проект, дизайн, креативные индустрии

Предпринимательские проекты в сфере дизайна требуют тщательного изучения как с научно-технической, так и с экономической точки зрения, так как имеют свои специфические особенности. Всевозрастающая сложность предпринимательских проектов в сфере дизайна с креативными подходами к их выполнению и реализации, с одной стороны, и накопленный опыт классического управления предприятиями, с другой, при правильном менеджерском подходе дают уникальные решения в стремительно меняющемся современном мире, но необходим поиск инновационных технологий, методов и способов управления их эффективностью.

В настоящее время предпринимательские проекты с креативной составляющей способствуют формированию новой культуры управленческой деятельности и становятся стимулом к развитию инновационных методов, способов и технологий эффективного управления компаний их реализующих. Для оценки эффективности предпринимательских проектов необходимо проанализировать целый комплекс финансово-экономических показателей проекта, а также провести оценку рисков.

Однако дизайн, творчество, культура, искусство существуют по своим законам, поэтому к ним трудно применимы экономические модели (рыночные, плановые). Мотив творчества — это самовыражение. От творца нельзя требовать расчета при-



были, убытков и других экономических показателей. Творца нужно сохранять, дать возможность развиваться. Задача общества и государства — дать ему свободно творить, так как есть заинтересованность в его творчестве. Дизайн, изобразительные искусства, музыка, кино, исполнительские искусства, галерейный бизнес, мода, ремесла, издательское дело, реклама, архитектура, интернет и компьютерные технологии, культурный туризм относятся к креативным индустриям (creative industries). Также как и наука, они — основа генезиса общества, а сиюминутной рыночной прибылью невозможно измерить его положительное изменение [1].

Началом века креативных индустрий, как теоретически осмысленного явления, считается 1998 год, когда Департамент культуры, медиа и спорта правительства Великобритании, ранее называемый Советом Большого Лондона, сформулировал понятие креативных индустрий как деятельности, в основе которой лежит индивидуальное творческое начало, навык или талант и которая несет в себе потенциал создания добавленной стоимости и рабочих мест путем производства и эксплуатации интеллектуальной собственности. В 2000 г. в Англии появилась книга специалиста по городскому развитию Чарлза Лэндри «Творческий город» (The Creative City), пропагандирующая объединение творческих ресурсов людей и сообществ по формированию экономически и социально благополучной городской среды. В этом же году в американском журнале Business Week впервые было введено понятие «креативная экономика», а в 2001 г. вышла книга британца Джона Хокинса «Креативная экономика» (The Creative Economy), в которой экономический успех связывается с предложением новых идей. В 2001 г. в правительственных документах Великобритании креативные отрасли были определены, как «те отрасли промышленности, которые имеют свое происхождение в индивидуальном творчестве, навыках и талантах, которые обладают потенциалом для создания богатства и создания рабочих мест посредством создания и эксплуатации интеллектуальной собственности» [2].

Зарубежные исследователи отмечают, что английское понятие «creativity» — широко и многозначно, оно не фиксирует важных различий между теорией и практикой, открытием и изобретением, наукой, культурой и социальной практикой, и эта широта используется в идеологии «креативной экономики» [3].

Вслед за Британией лидером продвижения творческих, креативных индустрий, оригинальных программ и предпринимательских проектов стали страны Европы, Юго-Восточной Азии, Северной и Латинской Америки, Восточной Европы. В этих и во многих других странах получили развитие некоторые секторы экономики с креативной составляющей. Экономический эффект креативных, творческих индустрий стал заметнее. В Латинской Америке и Юго-Восточной Азии в креативных индустриях увидели новые идеи для динамично развивающихся союзов культуры, экономики и новой волны модернизации. Сотрудники Технологического университета Квинсленда (The Queensland University of Technology, или QUT) в Австралии много сделали для того, чтобы придать «креативным индустриям» легитимность и теоретическое обоснование.

Словосочетание «креативные индустрии» неслучайно употребляется во множественном числе. Это не единая отрасль, так как перечень видов креативных индустрий достаточно широк. Креативные индустрии в последнее время проявляют себя как все более значимый инновационный ресурс современного общества, как феномен, получивший распространение с появлением постиндустриального, информационного общества, они являются носителями культурной идентичности, которые играют важную роль в укреплении мирового культурного разнообразия.

Слово «creative» переводится с английского языка как «творческий, созидательный», состоящий в порождении новых идей и/или концепций, новых связей между существующими идеями и/или концепциями. В русском языке, в философском словаре, есть следующее толкование: «творчество — деятельность, порождающая нечто качественно новое, никогда прежде не существовавшее» [4]. В настоящее время вошло в моду, прижилось и укрепилось слово «креативный», которое тесно связано с дизайном, дизайн-проектированием и предпринимательскими проектами в этой сфере [5, 6].

Творчество, с одной стороны, стихийно и неуправляемо, с другой, связано с высшими, духовными ценностями, а индустрия — это поточное производство материальных благ, которое ассоциируется с управлением, конвейером и точным расчетом. В настоящее время, сознание об остром противопоставлении творчества и бизнеса, художника и рынка остается в прошлом. Предпринимательские проекты в сфере креативных индустрий соединяют бизнес-навыки и культурные практики, основой которых является творческая, интеллектуальная составляющая. Концепция развития предпринимательских проектов состоит в выдвигании культурных ресурсов и творчества на первый план современной экономики.

Предпринимательские проекты креативных индустрий не являются консервативными, в них множество разных вариаций соединения творческих и коммерческих мотивов. Преимущества креативных индустрий — в малых размерах, подвижности, гибкости. Креативные индустрии способствуют индивидуальному творчеству, навыкам и таланту, предлагают разнообразные и полезные карьерные возможности, носят инновационный характер, обладают современными знаниями и высоко экспортируются [7].

Сферы креативных индустрий имеют различные возможности получения прибыли, разную экономическую логику и динамику развития. Большая их часть относится к коммерческой деятельности разной степени инновационной составляющей. Сфера креативных индустрий имеет свое ядро и обязана своим существованием традиционным культурным институтам и образовательным учреждениям культуры, что является почвой для роста. Креативным индустриям нужны традиционные культурные институты, но верно и обратное. Создавая рабочие места, они, во-первых, отчисляют средства в бюджет государства в виде налогов, а во-вторых, они могут собираться в «культурные кластеры» вокруг творческих вузов, театров, музеев, библиотек, филармоний, составляя вместе с ними общее культурное поле.

Отдельный аспект в определении креативных индустрий составляют «ширина» и «глубина» понятия. «Ширина» в определении культурных индустрий важна, когда речь идет об оценке потенциала занятости в креативных индустриях. «Широта» концепций и измерений, которая была использована на том или ином национальном и локальном уровне, становится серьезным препятствием для того, чтобы сравнить присутствие креативных индустрий в разных странах, регионах или городах. Государства имеют разные системы национальной статистики предприятий и занятости населения, и даже сравнение эффективности нескольких предпринимательских проектов, реализуемых в одном городе или регионе, требует принимать во внимание различные подходы, методы и технологии, отражающие специфические факторы того или иного города или региона. Использовать стандартные производственные классификации занятости в официальной статистике очень сложно, поскольку, например, дизайнерская сфера имеет тенденцию объединения с другими индустриями, такими как издательское дело и реклама, а современные предпринимательские проекты в этой сфере основаны, как правило, на системной интеграции нескольких компаний. Тем не менее большинство отчетов по внедрению предпринимательских

проектов сферы креативных индустрий в различных городах и регионах показывают общую тенденцию роста внутреннего валового продукта.

Дизайн, творчество и креативность востребованы в самых разных областях жизни — промышленности, бизнесе, управлении. Современные бизнес-стратегии принимают во внимание не только материальные, но и нематериальные активы. Человеческий, творческий капитал корпорации становится немаловажной частью ее финансовой состоятельности. Творческий, креативный подход дает возможность найти новые, уникальные решения различных компаний в стремительно меняющемся мире.

Расширились границы возможностей большого числа людей для участия в творческом производстве, распространении культурных ценностей, сотрудничестве и бизнесе. Однако в творческом процессе, у творческих, креативных людей возникают сложности с доступом к этим возможностям. За большим успехом может последовать срыв, кризис, неопределенность. Это прослеживается во всех компонентах творческой экосистемы: учреждениях в области дизайна, культуры и искусств, творческих союзах, фондах и ассоциациях.

Ученые М. Гнедовский и Э. Макилрой утверждают, что одной из функций творческих индустрий является то, что постиндустриальная экономика способствовала выходу на арену истории нового «творческого класса». Были проведены исследования по определению профессий и отраслей, которые можно отнести к креативным, творческим, их список был получен на основе творческой интенсивности, наблюдающейся в той или иной отрасли. С помощью анкетирования и экспертной оценки определен список творческих занятий и мероприятий, рассчитана доля творческих рабочих мест для каждой отрасли, творческая интенсивность. Отрасли с творческой интенсивностью выше определенного порога были отнесены к творческим. Так, портрет людей, которых приписывают к творческому креативному классу, независимые профессионалы описывают как неориентированных на корпоративную карьеру, свободно мигрирующих между компаниями и городами, выбирая места с наиболее благоприятными условиями для жизни и работы. Для них принципиальна определенная «плотность» культурной среды, творческая обстановка и атмосфера толерантности; они объединяются в неформальные сети, являющиеся для них более важными, чем формальные организации. Именно к этому классу относятся представители творческих индустрий — художники, артисты, писатели, дизайнеры, включенные в разнообразные творческие проекты. Важной характеристикой креативных творческих индустрий является их предпринимательский дух.

Управление эффективностью присуще любому коммерческому предприятию, в частности и организациям, занимающимся дизайном. Целями управления эффективностью компании могут быть: получение стабильного высокого дохода, защита капитала от инфляции, долгосрочное размещение средств под высокий процент, комбинация указанных выше целей и др.

Одним из средств решения проблем, стоящих перед компанией для достижения ее целей, являются альтернативные предпринимательские проекты. В этом случае необходимо сделать выбор в пользу одного или нескольких проектов, основываясь на определенных критериях. Обычно альтернативные проекты поочередно сравнивают друг с другом с точки зрения доходности, перспективности и безопасности для инвесторов и выбирают наилучший из них. Принятие решения по выбору инвестиционного проекта осложняется такими факторами, как ограниченность финансовых ресурсов, наличие инвестиционных рисков и т. д. Особенно трудоемка оценка долгосрочных проектов, для которых вероятность достижения спрогнозированных

результатов невелика. Принятие решения по реализации предпринимательского проекта в сфере креативных индустрий требует учета интересов различных категорий лиц, так или иначе связанных с проектом — руководителей, менеджеров, дизайнеров. В настоящее время остро стоит вопрос о том, как системно стимулировать дизайн, творчество и культуру для новых средств достижения целей компании.

Дизайн, культура и искусство являются движущей силой развития общества, в ее основе лежит рост экономики в целом, а также творческой и культурной индустрии, в частности, признанной не только за свою экономическую ценность, но также во все большей степени за роль в создании новых творческих идей и технологий.

### Литература

- [1] Цибизова Т.Ю., Терехова Н.Ю. Основные фазы системогенеза обучающихся в системе непрерывного образования. *Европейский журнал социальных наук*, 2012, № 5 (21), с. 62–67.
- [2] Payne A., McVay J., Caine D., Norbury C., Taylor G., Davie T., Vaizey E., Hull J., Campbell T., Newbigin J., Eustace S., Bakhshi H. A Creative Industries Council strategy for Cross Industry Collaboration. The next 5 years. *Creative Industries Council*, 2015, p. 1–27.
- [3] United Nations conference on trade and development, creative economy outlook and country profiles: Trends in international trade in creative industries. United Nations, 2015, p. 1–169.
- [4] *Creative Industries: Focus on Employment*. Department for Culture, Media and Sport. 2016, p. 1–87.
- [5] Спасская Д.Д., Терехова Н.Ю. Интеграция методов системного дизайн-проектирования в научно-исследовательские работы. *Будущее машиностроения России. Сб. докл. Восьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, 2015, с. 335–339.
- [6] Терехова Н.Ю., Цибизова Т.Ю., Егорова О.В. Инновационные технологии трехмерного моделирования при изучении исторических инженерно-технических объектов. *Будущее машиностроения России. Сб. докл. Девятой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, 2016, с. 241–245.
- [7] Брекалов В.Г., Терехова Н.Ю. Технологический аудит в аспекте проблем трансфера технологий при выполнении научно-исследовательских работ. *Европейский журнал социальных наук*, 2014, № 11–1 (50), с. 7–11.

## Performance Management an Entrepreneurial Project in the Field of Design

© Vlasov M.E.

Spasskaya D.D.

Terekhova N.Y.

maximVLASOV@inbox.ru

spasskaydd@mail.ru

terehova\_n\_u@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This article is devoted to the performance management of business projects in the field of design, which have their specific characteristics, contribute to the formation of a new culture of management. The increasing complexity of business projects in the field of design with innovative approaches to their implementation and realization, on the one hand, and the experience of the classic enterprise control, on the other, with the right management approach can provide unique solutions for the development of companies in the sphere of creative industries.*

**Keywords:** *entrepreneurial project, design, creative industries.*

УДК 678

## Дизайн-проектирование художественного изделия из полимерных материалов

© | Косовская Диана Владимировна

kosov-diana@yandex.ru

Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, 117997, Россия

*Рассмотрены вопросы проектирования художественного изделия, состоящего из пластмассы. Проведено дизайн-проектирование изделия «подставка», анализ возможных аналогов. Сделан вывод о том, что для изготовления изделия можно применить пластик. В качестве технологического процесса предложено использовать 3D-принтер. Для изготовления изделия «подставка» были выбраны принтер и материал, характеризующиеся наибольшей экономичностью и экологичностью производства.*

**Ключевые слова:** дизайн-проектирование, художественно-конструктивный анализ, технологический процесс, экономичность, экологичность.

В наше время невозможно представить мир без пластмассовых изделий, которые отличаются высокими эксплуатационными качествами, они вполне надежны, долговечны, функциональны и доступны. Полимеры используют для производства разнообразных изделий, начиная с бутылок или контейнеров для пищевых продуктов и заканчивая решетками, сетками, пакетами и автомобильными запчастями. Полимеры отличаются высокой стойкостью к воздействиям среды [1].

Дизайн-проектирование — это творческий процесс, включающий [2]:

- выбор аналогов и критический анализ существующих решений;
- установление принципа действия и режимов работы механизма;
- выбор материала для изготовления деталей механизма с учетом технологии их изготовления и экономической целесообразности выбора данной конструкции;
- определение формы и размеров всех деталей механизма с учетом технологии их изготовления и экономической целесообразности выбора данной конструкции;
- составление операционно-технологической карты.

При этом возможны разнообразные решения. Задача конструктора заключается в том, чтобы спроектированное изделие имело минимальные габаритные размеры и массу, было простым в изготовлении, сборке, регулировке. Узлы детали должны иметь необходимую прочность, жесткость, обладать малыми потерями на трение, технологичностью.

Проведем дизайн-проектирование такого изделия, как подставка. Подставка — это очень актуальный, нужный в повседневности аксессуар, используемый как в офисе, так и дома. В современном мире, люди постоянно пьют кофе или чай, работая или отдыхая, а подставка для кружки убережет стол и ценные вещи от пятен, мокрых следов и др. Если подставка оснащена интересными приспособлениями, к примеру мешалкой, подогревом или usb-входами, то это уже не просто красивая, но и необходимая вещь. К тому же подставка может быть не просто нужным, но и стильным оживляющим интерьер аксессуаром.

Для улучшения потребительских свойств разрабатываемого проекта требуется провести поиск имеющихся аналогов.

Материал для изготовления подставки разнообразен: фетр; срезы агата; дерево; текстиль; кожа, керамика, пробка. Подставки бывают вязанные крючком, плетеные и др.

Учитывая результаты художественно-конструктивного анализа, требования технического задания и технологические возможности выявленных аналогов было принято решение изготовить подставку из пластика. К основным преимуществам такого изделия относятся: долговечность, износостойкость, прочность, водоотталкивающий эффект, обеспечение чистоты на кухонном/рабочем месте, интересный дизайн, защита мебели, удобство хранения и использования, низкая цена, качество материала.

Подставка стандартного размера состоит из одной основной части, размеры изделия могут меняться в соответствии с назначением. При выборе цветофактурного решения учитывается назначение, сочетание цветов в предполагаемом интерьере, другие предпочтения заказчика.

По результатам проведенных художественно-конструкторского анализа и проектной разработки можно констатировать, что разработанный художественно-конструкторский проект «подставка» находится на уровне востребованности среди потребителей. Художественно-конструкторский проект выполняется после утверждения эскизного проекта.

Разрабатываемый технологический процесс должен быть прогрессивным, обеспечивать повышение производительности труда и требуемое качество деталей, наиболее низкую себестоимость их изготовления и уменьшение вредных воздействий на окружающую среду.

Перспективной технологией изготовления является использование 3D-принтеров [3, 4]. Принцип работы 3D-принтера зависит от его типа и применяемых расходных материалов, это может быть: лазерная печать; спекание; послойное плавление и наклеивание пластика; ламинирование; плавление порошка; полимеризация фотополимерного пластика путем воздействия на него лазером; послойное склеивание расходного материала; вакуумная электронно-лучевая плавка порошка.

Также существуют 3D-принтеры, способные печатать одновременно двумя и более разными материалами или выполнять многоцветную печать. В связи с этим помимо технологии печати принтеры подразделяют на следующие типы:

- монохромный — устройство, печатающее одним цветом;
- принтеры с разрешением 3D-прототипирования [5];
- цветной 3D-принтер, позволяющий создавать разноцветные физические объекты;
- 3D-принтер с камерой обдува, который самостоятельно выполняет финишную обработку изделия.

Основными материалами для 3D-принтера являются:

1. *ABS-пластик*. Особая структура этого вида «расходника» позволяет выдерживать сильное механическое воздействие. Такой пластик относится к ударопрочной группе. Материал обладает высокой размерной стабильностью. Распечатанные объекты имеют блестящую поверхность (уровень блеска можно регулировать). Основным недостатком — чувствительность к воздействию ультрафиолетовых лучей и атмосферных осадков. Данный материал характеризуется низким уровнем электроизоляции.

2. *PLA пластик или полилактид* является самым экологически чистым и подходящим расходным материалом для трехмерной печати. Данный вид пластика представляет собой термопластичный полиэфир, создаваемый из биологических отходов. Распечатанные объекты имеют отличный уровень скольжения, и из такого пластика

даже можно производить подшипники скольжения. PLA-пластик обладает наименьшим уровнем токсичности. Единственным недостатком полилактида является недолговечность и постепенное разложение.

3. *PVA-пластик* — это тот же самый поливинилацетат, т. е. клей ПВА. Основным достоинством этого материала является быстрая растворимость в воде. Данный вид расходного материала часто используется в качестве разделителя.

4. *Фотополимеры*. Такой расходный материал применяется для печати на принтерах SLA и PJET. Подобные «расходники» могут быть жидкими или твердыми. Объекты, которые были распечатаны при помощи фотополимеров, имеют высокую прочность, устойчивость к солнечному свету и воде.

5. *Металлический порошок*. Данный вид расходного материала широко применяется в производстве драгоценностей. К тому же модели из металла более высокопрочны, чем другие виды расходных материалов для 3D-принтеров.

6. *Нейлон*. Этот материал очень похож на самый популярный ABS-пластик. Однако у него лучшая сопротивляемость к высокой температуре печати и он способен впитывать влагу. Недостатком нейлона является более высокий срок застывания и необходимость откачки воздуха из экструдера. Нейлон считается токсичным материалом. Данный вид расходного материала отлично подходит для печати шестерней, рычагов и даже запчастей для медицинских аппаратов.

Для изготовления подставки лучше всего подойдет 3D-принтер серии FDM, так как создаваемые на нем изделия прочные. Размеры деталей стабильные. Принтеры FDM характеризуются высокой точностью и повторяемостью по сравнению с любой другой технологией 3D-печати, FDM, а также печать на них наименее дорогая, что обеспечивает растущую популярность бытовых принтеров, основанных на этой технологии.

В качестве материала для подставки выбираем PLA-пластик, потому что он является биоразлагаемым, биосовместимым, термопластичным алифатическим полиэфиром, структурная единица которого — молочная кислота. Пластик производят из кукурузы или сахарного тростника. Сырьем для получения служат также картофельный и кукурузный крахмал, соевый белок, крупа из клубней маниока, целлюлоза.

На сегодняшний день полилактид активно используется в качестве расходного материала для печати на 3D-принтерах. Натуральное природное сырье в составе PLA-пластика позволяет без угрозы для здоровья человека применять его для различных целей.

При изготовлении PLA-пластика значительно сокращаются выбросы углекислого газа в атмосферу по сравнению с изготовлением «нефтяных» полимеров; на треть уменьшается использование ископаемых ресурсов, применение растворяющих веществ не требуется вообще.

Подставка под кружку — функциональный и стильный аксессуар, который может оживить интерьер, а также нужный в обиходе предмет, так как все поверхности стойко выдерживают воздействие влаги или температуры, поэтому подставка поможет предотвратить безвременную порчу стола, которые включают в себя возможные царапины от кружек, особенно на стеклянных и лакированных поверхностях. Еще одна основная функция, которая распространила так называемые бирдекели (подставки) в питетейных заведениях — это использование их в качестве средства маркетинга.

Анализ изготовления художественного изделия «подставка» из пластмассы показал, что существует много новых методов, материалов, среди которых можно выбрать экологически чистые и экономичные.

## Литература

- [1] Кулезнев В.Н. *Смеси и сплавы полимеров: Конспект лекций*. СПб., Научные основы и технологии, 2013, 216 с.
- [2] Спасская Д.Д., Терехова Н.Ю. Интеграция методов системного дизайн-проектирования в научно-исследовательские работы. *Будущее машиностроения России. Сб. докл. Восьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, 2015, с. 335–339.
- [3] Брекалов В.Г., Терехова Н.Ю., Сафин Д.Ю. Применение технологии трехмерного прототипирования в образовательном процессе. *Дизайн и технологии*, 2012, № 29 (71), с. 118–123.
- [4] Терехова Н.Ю., Цибизова Т.Ю., Егорова О.В. Инновационные технологии трехмерного моделирования при изучении исторических инженерно-технических объектов. *Будущее машиностроения России. Сб. докл. Девятой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, 2016, с. 241–245.
- [5] Брекалов В.Г., Терехова Н.Ю. Технология прототипирования при создании физических моделей из полимерных материалов. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2015, № 4, с. 6–9.

## Design Engineering Art Products from Polymeric Materials

© | Kosovskaya D.V.

kosov-diana@yandex.ru

Kosygin Russian State University, Moscow, 117997, Russia

*The article is devoted to the design art products, consisting of plastics. Conducted design engineering product design «stand», the analysis of potential analogs. It is concluded that for the manufacture of the product, you can use plastic. As a technological process is proposed to use a 3D printer. Printer has been selected and the material for making the product “stand”, characterized by the highest efficiency and environmental friendliness of production.*

**Keywords:** *design engineering, art-design analysis, manufacturing process, cost efficiency, environmental friendliness.*

УДК 621.5

## Дизайн-модернизация промышленных пространств в России

© | Матвеев Дмитрий Павлович

snuppyshut@gmail.com

Щербакова Инна Станиславовна

broddir@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены вопросы, связанные с современной ситуацией модернизации предприятий в России, ее предпосылки и вероятные пути развития. Также приведены примеры разноуровневой модернизации российских предприятий, отличных друг от друга по ряду признаков. На основе анализа полученных данных сделаны выводы и предполагаемые пути решения вопросов модернизации.*



**Ключевые слова:** модернизация, промышленность, предприятие, дизайн, эффективность, эргономика.

На сегодняшний день в России наблюдается, в целом, положительная тенденция в развитии промышленных предприятий. Растет их количество, обновляется и совершенствуется оборудование.

Однако остаются проблемы, негативно влияющие на рентабельность, эффективность, потенциал, безопасность предприятий промышленности. Одна из проблем, являющаяся причиной неэффективного производства, — изношенное, морально устаревшее, неудобное и не эргономичное оборудование, создающее неудовлетворительные условия труда, что приводит, в конечном счете, к понижению производительности.

Также эффективной работе производства могут мешать трудности передвижения по предприятию, неудобные связи и пути между отдельными цехами, зданиями. Неэстетичный вид окружающего пространства, грязь и отходы производства в помещениях тоже являются серьезной помехой как для сотрудников предприятия, так и для всей отрасли в целом, в достижении высоких результатов. На данный момент эти проблемы встречаются практически на всех промышленных предприятиях нашей страны.

Выходом из сложившейся ситуации может стать модернизация производства как в целом (на всех его уровнях и этапах), так и на отдельных его участках с помощью продуманного дизайна [2].

Типы модернизации промышленных предприятий можно разделить по следующим принципам:

- модернизация производства на действующем предприятии;
- частичная модернизация (касающаяся только части единого комплекса предприятия, например, только оборудования или дизайна внутренних пространств и помещений, экономичности или программного обеспечения и т. д.);
- полное преобразование и перестройка всего комплекса предприятия (требует приостановление работы).

Речь идет о выделении стратегических направлений «индустриального прорыва» (в России ими могут стать повышение энергоэффективности, использование более современных строительных и производственных материалов, реализация инфраструктурных проектов и др.), в которых государство должно четко наметить желаемые ориентиры.

В качестве примеров современной модернизации можно выделить следующие: «Высота 239» и пространство «Росатома».

Трубоэлектросварочный цех «Высота 239» — новый цех, который находится на Челябинском трубопрокатном заводе (ЧТПЗ), одном из крупнейших производителей стальных труб в России.

Группа ЧТПЗ является одной из промышленных групп металлургического комплекса России. В рамках стратегии непрерывного совершенствования группа ЧТПЗ продолжает укреплять лидирующие позиции на российском трубном рынке. Для достижения этих целей компания ЧТПЗ провела модернизацию и реконструкцию существующих мощностей по производству стальных труб, реализовала три крупных инвестпроекта — построила Финишный центр и электросталеплавильный комплекс «Железный Озон 32» на Первоуральском новотрубном заводе (один из самых больших в Европе) цех по производству труб большого диаметра «Высота 239» на Челябинском трубопрокатном заводе. Этот завод обладает уникальными технологически-

ми преимуществами, которые позволяют обеспечивать мировые стандарты качества при конкурентоспособной себестоимости и минимальных сроках поставки [3].

С запуском высокотехнологичных производств, ставших прорывными для трубной отрасли, связано зарождение понятия «белая металлургия». На новейших высокотехнологичных производствах компании впервые в стране был сформирован и применен новый подход к организации и оформлению производственного пространства, построению рабочей среды и главное — к созданию уникальной корпоративной культуры, в центре которой лежит человеческая личность. Призванная нести позитивные изменения и внедрять новые стандарты, «белая металлургия», ставшая образом жизни для «белых» цехов и шагнувшая за пределы предприятий, получила определение философии преобразования личности, рабочей среды, производственного пространства и социума. Прочным фундаментом «белой металлургии» является производственная система с одноименным названием, созданная на основе собственного многолетнего опыта трубных заводов ЧТПЗ с применением лучших мировых практик, в том числе бережливого производства и практики непрерывного совершенствования.

Цель проекта — оптимизация процесса строительства и эксплуатации, создание благоприятной среды для улучшения качества условий труда. Необходима также была разработка элементов дизайна, позволяющих позиционировать ЧТПЗ как самое современное предприятие в этом секторе российской промышленности.

Задача решалась одновременно по нескольким направлениям:

- разработка архитектурного проекта цеха, включая колористическое решение интерьеров и фасадов;
- создание корпоративного фирменного стиля ЧТПЗ с детализацией его отдельных элементов (дизайна внутренних помещений, спецодежды, системы навигации, а также брендинг корпоративного транспорта и др.);
- управление проектом, а также подбор подрядных организаций по поставке осветительного оборудования, отделке офисных помещений;
- рекламное сопровождение бренда ЧТПЗ «Высота 239».

Минимализм фасадов органично сочетается с деконструктивистскими элементами отделки. Входные группы, выполненные в виде «золотых» труб, яркие колористические решения для различных производственных участков, оригинальная корпоративная одежда — все это положительно влияет на работоспособность и психологический комфорт сотрудников предприятия, поднимает моральный дух коллектива. Спроектированные с применением светопрозрачных материалов офисные помещения позволяют повышать производственную дисциплину и упрощать коммуникации. Совместно с инженерными службами ЧТПЗ специалистами «Е-программы» были разработаны решения, позволяющие минимизировать затраты на поддержание чистоты в цехе. Применение энергосберегающих систем повысило освещенность предприятия без увеличения эксплуатационных расходов. Принципиально новая схема организации раздевалок, удобная столовая, химчистка-прачечная, панорамный лифт и пешеходная галерея — все это новая высота в проектировании предприятий отрасли не только в России, но и за рубежом [3].

Трубоэлектросварочный цех «Высота 239» — первый проект отечественной «белой металлургии», качественно нового типа металлургической промышленности, основанного на инновациях, высочайшем уровне технологий, максимальной автоматизации процессов и принципиально новых условиях труда. Проект выполняет функции формирования гармонизированной и гуманизированной промышленной культуры и нового индустриального мифа. В цехе «Высота 239» реализовано множество

необычных решений: паркетный пол, живые деревья, сад камней, столовая в виде трубой заготовки, оборудование золотистого цвета.

Проект ЧТПЗ является хорошим и, к сожалению, одним из единственных на сегодняшний день в нашей стране, примером успешной программируемой модернизации, поскольку она велась сразу на нескольких уровнях:

- реконструкция инфраструктуры предприятия (все здания и помещения предприятия, прилегающая к нему территория и т. д.);
- обновление и реорганизация экономической составляющей управления промышленным объектом;
- обновление технологического парка оборудования;
- повышение уровня и квалификации рабочего персонала.

На данный момент масштабная модернизация происходит и на других российских предприятиях. Первопроходцем в формировании нового взгляда на окружающую среду в офисах и на предприятиях стала производственная система «Росатом», направленная на всестороннюю оптимизацию процессов, устранение мешающих работе факторов.

Проект «Новый дизайн рабочего пространства» Госкорпорации «Росатом» — это масштабный отраслевой проект, нацеленный на модернизацию как внутренних помещений, так и внешнего вида ведущих предприятий атомной отрасли. Одной из основных задач проекта является создание нового облика предприятий, который бы соответствовал проводимым в «Росатоме» изменениям [1].

Цель рассматриваемого проекта — создание удобных и современных помещений с помощью управления рабочим пространством на предприятиях отрасли, повышение эффективности рабочих процессов, разработка и внедрение единого корпоративного стандарта архитектурно-планировочных решений и дизайна интерьеров рабочих и публичных пространств предприятий атомной отрасли.

Задачи данного проекта следующие:

1. Формирование пространства эффективных коммуникаций.
2. Повышение производительности труда.
3. Активизация креативной деятельности сотрудников.
4. Привлечение и удержание молодых сотрудников.
5. Гармонизация социальных отношений внутри Корпорации.
6. Поддержка масштабных изменений в отрасли.
7. Поддержание процесса формирования корпоративной идентичности.
8. Формирование и поддержание мирового имиджа Госкорпорации.
9. Формирование позитивного настроения на изменения в отрасли.

Планировалось, что за счет переформатирования пространства повысится производительность труда, удастся сделать более эффективными коммуникации между сотрудниками, а также сформировать настрой на создание нового. Кроме того, проект должен способствовать выработке у сотрудников позитивного настроения на изменения, что важно для поддержки тех масштабных перемен, которые происходят в атомной отрасли. Наконец, реализация проекта призвана ускорить процесс формирования корпоративной идентичности и в целом создать новый имидж Госкорпорации «Росатом», в том числе на международном уровне.

В 2015 г. распоряжением генерального директора Госкорпорации «Росатом» С.В. Кириенко на девяти пилотных площадках предприятий начались ремонтно-строительные работы по реализации дизайн-проектов новых эффективных рабочих пространств с применением базовых принципов, выработанных в ходе реализации

проекта. Пилотными площадками «первой волны» стали: Объединенный институт АО «НИИГрафит», АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» и другие. Кроме того, начала работу Лаборатория нового дизайна рабочего пространства Росатома, запущена образовательная программа «Управление дизайном рабочего пространства» [4].

По результатам модернизации было проведено интервьюирование рабочего персонала, для которого собственно и реализовывался проект. Были сформулированы следующие результаты опроса:

- 60 % сотрудников Корпорации чувствуют себя некомфортно на рабочем месте из-за отсутствия личного пространства и систем хранения; недостаточно или отсутствуют зоны для коммуникации в малых группах и неформального общения; большие территории создают ощущение «потерянности»; присутствуют закрытость, шумовое загрязнение в прилегающих к производству зонах; отсутствует навигация и айдентики, недостаточное освещение.

- 98 % наиболее вовлеченных работников говорят, что организация рабочих пространств помогает им выполнять работу как можно лучше, так как они чувствуют свою принадлежность к миссии и ценностям компании, ощущают себя комфортно на рабочем месте, могут управлять рабочим пространством, имеют зоны отдыха и неформального общения, могут свободно выражать себя, общаться, делиться идеями.

По нашим данным, всего было выделено 1100 м<sup>2</sup> под проектирование для 30 пользователей площадки, т. е. непосредственных сотрудников предприятия. Основными решениями являлись:

- эргономичность;
- многофункциональная мебель, структурирующая пространство;
- co-design (сотрудники участвовали в генерации идей для нового пространства);
- безопасность и создание адаптируемой рабочей среды в соответствии с нормами безопасности.

Как и в случае с проектом «Высота 239» в «Росатоме» был представлен комплексный программный подход к модернизации предприятий. Однако на рассмотренном объекте были в полной мере проведены лишь следующие преобразования:

- реконструкция внутренних помещений, облагораживание и ремонт внешнего фасада некоторых строений;
- проработка навигации на предприятии;
- частичная замена оборудования;
- создание единого архитектурно-стилевого решения для всей корпорации.

Даже эти преобразования способны дать представление о значимости и важности для предприятия систематизированной и продуманной дизайн-модернизации.

Результат исследований показал, что можно повысить эффективность рабочего процесса на 36 % именно с помощью продуманной организации пространства.

Развитие промышленности невозможно на основе старых образов и смыслов, без концептуального переосмысления отраслевой идентичности; модернизация содержания невозможна без модернизации формы. Индустриальная сфера деградирует не только из-за дефицита новых технологий, но и вследствие отсутствия адекватного социального дискурса, что приводит к коммуникативному разрыву с социальной реальностью.

У эффективности производственных компаний всего мира много слагаемых: прибыльность, инвестиции, снижение издержек и тому подобное, а еще эргономика помещений, цвет стен, удобная мебель, комнаты отдыха и прочие составляющие мотивированной и успешной работы предприятия. Организация рабочего пространства напрямую влияет на продуктивность и энтузиазм сотрудников. Дизайн промышленных помещений занимает важное место при строительстве производственных поме-

щений. Объясняется это не столько желанием построить помещение, отвечающее эстетическим требованиям, сколько потребностью повысить производительность труда персонала через создание комфортного микроклимата на рабочих местах.

В монополизированной экономике нет рынка инноваций. Изменить ситуацию может лишь изменение системы управления экономикой и создание органа, уполномоченного внедрять промышленные стандарты, следить за их соблюдением и вычищать с рынка тех, кто не готов им соответствовать. Только так промышленность страны может доказать свою модернизационную состоятельность.

### Литература

- [1] *Официальный сайт «Госкорпорации «Росатом»*. [Электронный ресурс] URL: <http://www.rosatom.ru/about-nuclear-industry/newDesignRosatomWorkspace/> (дата обращения 13.05.2017).
- [2] Сафин Д.Ю., Алымова А.Е. Использование системного подхода в промышленном дизайне. *Интернет-журнал «Науковедение»*, 2015, т. 7, № 6 (31), с. 130.
- [3] *Официальный сайт Челябинского трубопрокатного завода* [Электронный ресурс] URL: <http://www.chelpipe.ru/> (дата обращения 13.01.2017).
- [4] *Ядерный дизайн: как изменятся интерьеры «Росатома»* [Электронный ресурс] URL: <http://reality.rbc.ru/news/577d20db9a7947a78ce91211> (дата обращения 13.05.2017).

## Design-Upgrade of Industrial Spaces In Russia

© | Matveev D.P.  
Shcherbakova I.S.

snuppyshut@gmail.com  
broddir@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article discusses issues related to the current situation of modernization of enterprises in Russia, its background and possible ways of development. It also provides examples of different levels of modernization of Russian companies are different from each other on a number of grounds. Based on the analysis of the data obtained and the anticipated solutions.*

**Keywords:** modernization, industry, company, design, effectiveness, ergonomics.

УДК 378.147.88

## Синтез производственного и образовательного пространств в рамках одного учебного учреждения

© | Матвеев Дмитрий Павлович  
Щербакова Инна Станиславовна

snuppyshut@gmail.com  
broddir@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены вопросы организации лаборатории кафедры с точки зрения взаимодействия образовательного и производственного процессов. Проведен анализ суще-*

ствующей лаборатории с целью выявления способа повышения ее эффективности и работоспособности. В результате была составлена карта функционального зонирования помещения, сделан вывод о том, что решение данной проблемы возможно только при рациональном смещении некоторых эргономических зон относительно друг друга для их расхождения с путями передвижения людей по лаборатории и свободного взаимодействия с оборудованием.

**Ключевые слова:** образовательный процесс, производственный процесс, научно-исследовательская работа, зонирование, модернизация, эргономичность, эффективность.

В современных условиях актуальным является создание такой системы обучения кадров, которая обеспечивала бы профессиональную подготовку высококвалифицированных специалистов, способных выполнять функции разработчиков, исследователей и руководителей широкого спектра научно-технических, научно-исследовательских и инновационных проектов [1].

Основной движущей силой в рамках всеобщей конкуренции стал творческий и интеллектуализированный труд, основанный на научных знаниях и современных технологиях. Отсюда задачи, связанные с необходимостью совершенствования процесса подготовки кадров, способных решать инновационные задачи, обладающих навыками научного творчества, становятся особенно острыми. В последнее время этой проблеме уделяется повышенное внимание, как со стороны государственной системы образования, так и со стороны представителей работодателей [2].

Очевидно, что решение должно быть основано на интеграции науки, образования и производства и согласовываться с обновлением сущности этапов подготовки научно-исследовательских и научно-технических кадров, их устойчивым формированием и развитием в образовательном процессе непрерывного образования [3].

В МГТУ им. Н.Э. Баумана практической подготовке студентов всегда уделялось очень серьезное внимание. Большую и обязательную часть в процессе обучения составляет практическая деятельность: лабораторные работы, производственная, эксплуатационная, технологическая практики, работа в мастерских, курсовые и дипломные работы и проекты. К учебному процессу привлечены ведущие специалисты промышленных предприятий [4].

Главная отличительная особенность «русского метода обучения ремеслам», принятая в МГТУ им. Н.Э. Баумана, заключается в том, что уже на первом курсе все студенты проходят учебно-технологический практикум — лабораторные работы в мастерских по обработке металлов давлением, резанием, по сварке и литью и т. д. На этих занятиях студент изучает на практике технологии заготовительного производства, непосредственно участвуя в создании того или иного изделия, обрабатывает его на различном оборудовании и получает серьезные практические навыки от умения сваривать детали до обработки металла на шлифовальном станке [5].

В качестве еще одного примера возьмем кафедру МТ-10 «Оборудование и технологии прокатки», материально-техническая база которой оснащена оригинальным производственным оборудованием.

Целью исследования являлось выявление способа повышения эффективности помещения лаборатории в соответствии с ее прямыми назначениями: осуществление образовательного процесса, проведение научно-исследовательских работ, использование при выполнении промышленных и производственных договоров [6].

В рамках исследования проведен ряд подготовительных мероприятий, нацеленных на целостное восприятие и фиксацию существующей на сегодняшний день ситуации в рассматриваемом помещении лаборатории кафедры МТ-10, в том числе: обзор всего помещения и его архитектурных составляющих (расстояние между стенами, колоннами, толщина всего выше перечисленного, окна и двери, их расположение, перепады высот пола и потолка, конструктивные особенности); анализ и осмотр всего оборудования, находящегося в лаборатории — составлен список всех станков и перечень оборудования, находящегося в лаборатории, его местоположение, а также классификация по различным категориям; фиксация возможностей лаборатории во время активирования в ней различных процессов.

В результате наблюдения и анализа увиденного был сделан вывод, что в лаборатории имеется ряд препятствий для эффективной работы, связанных с ее функциональными особенностями, а точнее с тем, что порой необходимо проводить мероприятия разного рода одновременно и совмещать ее функции, например, одновременно выполнять производственные работы и вести образовательный процесс обучения студентов.

Также наличие выявленных трудностей может быть связано с эргономикой лаборатории (то, что возможно удобно одному человеку для проведения каких-либо работ, может быть серьезной помехой для другого).

В ходе исследования (наблюдения и интервьюирования) был составлен перечень всех происходящих в лаборатории событий и связанных с ней лиц, определены их потребности к данному помещению и соответствующие требования к нему.

1. Студенты (выполняющие лабораторные работы) и студенты (занимающиеся проектной работой) — удобство, безопасность, современное оборудование, методики преподавания для получения актуальных умений и навыков (знания, профессиональные навыки), доступность, возможность поработать над своими проектами.

2. Сотрудники лаборатории (преподаватели) — удобство, систематизированный порядок — возможность преподавания студентам на современном актуальном оборудовании и по эффективным методикам.

3. Руководство кафедры — презентабельный вид, эффективность, современность — статус лаборатории, как части Университета.

Гости лаборатории — безопасность, привлекательность, актуальность получаемых знаний о предмете проводимых исследований — впечатление от посещения лаборатории.

С помощью данной классификации был сформирован план дальнейших исследований, направленных на конкретизацию потребностей потенциальных пользователей будущей лаборатории и выявление скрытых на первый взгляд проблем, связанных со сложившейся на сегодняшний день ситуацией.

Проанализировав планы помещения лаборатории за предыдущие годы, был сделан вывод о том, что помещение лаборатории постоянно увеличивалось, менялась его конфигурация, расположение входов и выходов, перегородок, изменялось зонирование, функционал и парк оборудования. Стоит принять во внимание, что изменение плана помещения соотносится с примерным интервалом времени в 15–20 лет. А с момента последнего ремонта прошло уже достаточное количество времени, чтобы задуматься о его необходимости. Из этого следует, что на данном этапе развития лаборатории необходимы серьезные пространственные изменения и модернизация как помещения, так и пересмотр взаимодействия с нынешним парком оборудования, поскольку возрастают функциональные требования и потребности непосредственных пользователей лабораторий.

В итоге всех исследований была составлена карта функционального зонирования помещения, состоящая из девяти зон.

1. Учебная зона.
2. Зона проведения лабораторных работ.
3. Зоны взаимодействия со станками.
4. Мастерские сотрудников.
5. Входная группа.
6. Специализированная мастерская.
7. Зона отдыха сотрудников и гардероб.
8. Зоны хранения (складские помещения).
9. Сантехническая зона.

Карта взаимодействия зон лаборатории между собой дает возможность для разработки решений по повышению эффективности ее работы. Опираясь на эргономические нормативы, были составлены планы эргономических зон взаимодействия человека с помещением, мебелью и оборудованием.

- Зона свободного передвижения по лаборатории — 600 мм (минимальная ширина прохода для среднестатистического человека).

- Зона взаимодействия студентов и преподавателей во время сидячей работы — 750 мм от края стола.

- Зона взаимодействия с лабораторным оборудованием (работа с ним, ремонт, обслуживание) — 860 мм от крайней точки («толщина» человека + длина вытянутой руки).

Проанализировав полученные карты, был сделан вывод, почему людям, находящимся в лаборатории и выполняющим те или иные задачи, трудно там работать. Все перечисленные выше эргономические зоны накладываются друг на друга, и их взаимное расположение противоречит все тем же эргономическим нормам. При одновременной активации всех функциональных процессов данного помещения, возникает критическая нехватка места для всех участников этих процессов. Такое положение дел в лаборатории, выполняющей столь разные функции, может привести к существенному снижению эффективности работы и уровня безопасности.

Решение данной проблемы возможно только при рациональном смещении некоторых эргономических зон относительно друг друга с целью расхождения с путями передвижения людей по лаборатории и их свободного взаимодействия с оборудованием [7].

В результате всей проделанной работы с использованием 3D-моделирования разработан план с одним из вариантов новой расстановки мебели и оборудования в лаборатории, а также нового функционального зонирования лаборатории и конфигурации зон. Применение 3D-моделирования дает возможность наглядно оценивать сложившуюся в рассматриваемом помещении ситуацию, а также изменять и корректировать конструктивные решения помещения в любой момент времени на каждом этапе проектирования, моделировать различные варианты новой конфигурации лаборатории и визуально оценивать их потенциальную эффективность [8].

Работа над данным проектом сейчас активно ведется: дорабатываются решения по новым расположением эргономических и функциональных зон в лаборатории, рассматриваются возможности улучшения условий труда и повышения уровня безопасности в ней для всех студентов и сотрудников университета.

## Литература

- [1] Цибизова Т.Ю., Терехова Н.Ю. О перспективах развития высшего образования в современных условиях. *Европейский журнал социальных наук*, 2013, № 2 (30), с. 62–67.



- [2] Цибизова Т.Ю. Интеграция науки и образования как элемент системы непрерывного профессионального образования. *Интеграция образования*, 2011, № 4, с. 25–29.
- [3] Цибизова Т.Ю. Подготовка высококвалифицированных специалистов в системе непрерывного профессионального образования (на примере МГТУ им. Н.Э. Баумана). *Интеграция образования*, 2011, № 2 (5), с. 154–159.
- [4] Комкова Т.Ю. Технология организации и проведения производственной практики в университете. *Будущее машиностроения России. Сб. докл. Девятой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, 2016, с. 847–850.
- [5] Куцый О.Я., Куцая А.Ю., Савохина О.М., Комкова Т.Ю. Об изменении в учебном плане и практической подготовке специалистов. *Литейное производство*, 2015, № 11, с. 26–29.
- [6] Брекалов В.Г., Терехова Н.Ю. Технологический аудит в аспекте проблем трансфера технологий при выполнении научно-исследовательских работ. *Европейский журнал социальных наук*, 2014, № 11–1 (50), с. 7–11.
- [7] Сафин Д.Ю., Алымова А.Е. Исследование влияния фактора технической оснащенности на качество научных разработок в техническом университете. *Европейский журнал социальных наук*, 2014, № 11–1 (50), с. 65–71.
- [8] Терехова Н.Ю., Цибизова Т.Ю., Егорова О.В. Инновационные технологии трехмерного моделирования при изучении исторических инженерно-технических объектов. *Будущее машиностроения России. Сб. докл. Девятой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, 2016, с. 241–245.

## Synthesis of Production and Educational Spaces within One Educational Establishment

© | Matveev D.P.  
Shcherbakova I.S.

snuppypshut@gmail.com  
broddir@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This article deals with the organization of the laboratory Department from the point of view of interaction between educational and production processes. The analysis of the existing laboratory to identify ways of enhancing its effectiveness and efficiency. The study was a map of the functional zoning of the premises, concludes that the solution to this problem is possible only with rational offset some ergonomic zones relative to each other for their differences with the paths of movement of people in the laboratory and their free interaction with the equipment.*

**Keywords:** *the educational process, manufacturing process, research work, zoning, upgrading, ergonomics, efficiency.*

УДК 001.892

## Дизайн-исследование требований и стандартов по оснащению учебной судебной лаборатории

© | Храмченкова Оксана Викторовна

khramchenkovao@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлено дизайн-исследование требований по специальности 40.05.03 Судебная экспертиза (уровень специалитета) и СанПиН, предъявляемые к оснащению учебной судебной лаборатории. Рассмотрены виды деятельности учащихся и проводимые ими экспертизы в учебном процессе с целью выявления используемого оборудования и размещения его в лаборатории. Также изучено использование оборудования с точки зрения практики и будущей работы — обозначена минимальная комплектация материально-технической базы по каждому виду судебных экспертиз, проводимых в федеральных бюджетных судебно-экспертных учреждениях Министерства юстиции Российской Федерации. Автор пришел к выводу о том, что, проектируя судебную лабораторию, дизайнеру необходимо грамотно расположить предметы и объекты учебного процесса, чтобы учесть не только эргономические и технические требования в соответствии со стандартом образования, но и способы и формы выражения творческого потенциала как педагога, так и учащегося в процессе их взаимодействия в рамках «сложного образовательного продукта».*

**Ключевые слова:** дизайн-исследование, судебная экспертиза, образовательный стандарт, санитарные правила и нормы, судебная лаборатория, компьютерно-техническая экспертиза, фото и видеотехническая экспертиза, оборудование, сложный образовательный продукт, творческий потенциал.

В Федеральном государственном образовательном стандарте высшего образования (ФГОС ВО) по специальности 40.05.03 «Судебная экспертиза (уровень специалитета)» в разделе IV (Характеристика профессиональной деятельности выпускников, освоивших программы специалитета) в п. 4.3 выделены пять специализаций [1]. В данной статье мы рассмотрим специализацию «Инженерно-технические экспертизы» с целью решения дизайнерских задач по организации учебного пространства и размещения в нем специального оборудования, технического оснащения и подсобных помещений для хранения рабочего и наглядного материалов.

В указанном стандарте дан минимальный перечень требований для реализации образовательной программы (ОП) специалитета [1]. Один из главных пунктов — обеспечение учебных аудиторий современными техническими средствами и, соответственно, организация учебного пространства, отвечающего новым задачам и компетенциям курса программ. Таким образом, высшее учебное заведение, имеющее судебные лаборатории, должно реорганизовать учебное пространство и оснастить лаборатории оборудованием, отвечающим времени, с целью соответствия новым требованиям образовательного стандарта.

В настоящее время от выпускника-специалиста, хорошо ориентирующихся в области компьютерно-технических и криминалистических исследований требуется быстрое адаптирование и внедрение в следственный процесс. Задача вуза — создать условия обучения, максимально приближенные к рабочей реальности, поэтому на

минимальный уровень требований образовательного стандарта налагается ряд стандартов и требований к рабочему месту судебного эксперта с учетом вида деятельности.

В приказе Министерства юстиции РФ от 26 ноября 2015 г. № 269 «Об утверждении Требований к минимальной комплектации материально-технической базы по каждому виду судебных экспертиз, проводимых в федеральных бюджетных судебно-экспертных учреждениях Министерства юстиции Российской Федерации», разработаны стандарты и требования к специально оснащенным помещениям для производства судебной экспертизы, в которых указаны расчетные нормативы площадей для расположения оборудования в специально оснащенных помещениях, где осуществляется производство судебной экспертизы, а также для размещения работников, и приведен перечень оборудования, приборов, инструментов, программного обеспечения для специально оснащенных помещений, а также рабочих кабинетов, вспомогательных и общих помещений [2]. Проанализировав данный документ, делаем вывод, что работа компьютерно-технического эксперта, рассмотренная только на заключительном этапе, сводится к анализу цифрового материала, полученного для исследования, проводимого за компьютером, имеющим определенное программное обеспечение.

Далее проанализируем документ, регламентирующий оснащение рабочего места учащегося за ПЭВМ. В СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в п.11 изложены требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для обучающихся в общеобразовательных учреждениях и учреждениях начального и высшего профессионального образования: указаны линия обзора, параметры конструкции одноместного стола, стула [3]. Для практических занятий студентов и в дальнейшем для рабочего места эксперта одноместного персонального компьютерного стола не достаточно. Практика показывает, что площадь стола нужно увеличить с целью размещения исследуемого материала, а также обеспечить доступ к дополнительным сетевым фильтрам для подключения специализированного оборудования в процессе выполнения лабораторных работ.

Рассмотрим виды деятельности учащихся и проводимые ими экспертизы в учебном процессе, чтобы определиться с необходимым оборудованием и оснащением лаборатории.

Компьютерно-техническая экспертиза (КТЭ) представляет собой самостоятельный род инженерно-технических экспертиз, проводимых с целью получения данных путем исследования компьютерных средств, систем и сетей, программного обеспечения, электронных носителей информации. Указанная экспертиза включает в себя аппаратно-компьютерную, программно-компьютерную, информационно-компьютерную (экспертиза данных), компьютерно-сетевую экспертизы.

Основные инструменты для проведения экспертизы: компьютеры персональные (ноутбуки, настольные, портативные); периферийные устройства (принтеры, модемы и т. п.); сетевые аппаратные средства (серверы, рабочие станции, активное оборудование, сетевые кабели и т. п.); рабочее место эксперта.

Видеотехническая экспертиза — один из видов инженерно-технических экспертиз. Экспертиза видеозаписи предназначена для изучения цифровых файловых структур видеоматериалов, установления цифровой видеотехники, на которую проводилась запись, определения подлинности видеозаписей и других задач. Объектами видеотехнической экспертизы выступают видеозаписи, а также видеозаписывающая цифровая техника [4].

Современная записывающая аппаратура — это цифровые фотоаппараты и видеокамеры, мобильные телефоны, веб-камеры, планшеты, авторегистраторы, системы видеонаблюдения, оперативные мини видеокамеры.

Фототехническая экспертиза относится к разделу судебных инженерно-технических исследований. Суть данной экспертизы — анализ фотографий (как традиционных, так и цифровых), фотографических изображений различных видов и наполнения, бумажных фотографических отпечатков. Фототехническая экспертиза предназначена для определения закономерностей получения фотографических изображений при помощи специального лабораторного оборудования и соответствующей аппаратуры: компьютеры, специальное программное обеспечение, рабочий стол эксперта и др.

Со стороны обучающихся для оснащения учебной компьютерно-технической лаборатории необходимо наличие рабочего места, оснащенного персональным компьютером с определенным программным обеспечением, доступ к периферийным устройствам, серверу, сети Интернет. В лаборатории судебной фотографии и видеозаписи необходимы персональные места для обучающихся с компьютером с определенным программным обеспечением для исследования материала видеокамер различного рода, также необходимы светоустановки для проведения цифровой печати, фотоаппараты, штативы, место для хранения фото и видеоматериала [4]. Также нужны персональные компьютеры для написания заключения эксперта и принтеры, чтобы сформировать бумажный отчет по результатам исследования.

Таким образом, обучение компьютерно-техническому исследованию представляет собой «сложный образовательный продукт» [5]. Терехова Н.Ю. отмечает важность этапа реализации «сложного образовательного продукта», так как он тесно «связан с материально-технической базой, имеющейся в образовательном учреждении, что особенно значимо для технических, технологических, конструкторских, инженерных направлений подготовки. Эффективность этапа реализации «сложного образовательного продукта» зависит от правильности выбора образовательных технологий, технического, компьютерного и информационного обеспечения, организации процесса их применения» [5].

В учебных компьютерно-технических лабораториях необходимо создать также условия для педагогов высшей школы с целью раскрытия их творческого потенциала [6]. В эти условия входит оснащение учебной аудитории видеопроектором, телевизором, сменными стендами для размещения учебных плакатов по определенной тематике, а также необходимы помещения и стеллажи для хранения лабораторного и демонстрационного материала. При разработке дизайна помечений нужно учитывать, что педагог активно задействован в смене учебного пространства аудиторий: мобильные стенды и размещение блоков плакатов по определенной программной тематике, расстановка учебной мебели в зависимости от формы занятия — все это будет выражать творческий потенциал педагога высшей школы. Буренина В.И. отмечает, что в современной действительности «творческий подход — неременное условие педагогического процесса, объективная профессиональная необходимость деятельности педагога» [7, 8].

Таким образом, главная задача дизайнера в проектировании учебного пространства лаборатории — грамотно расположить предметы и объекты учебного процесса с учетом не только эргономических и технических требований в соответствии со стандартом образования. При размещении пространства необходимо учесть способы и формы выражения творческого потенциала как педагога, так и учащегося в процессе их взаимодействия в рамках «сложного образовательного продукта».

## Литература

- [1] Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по специальности 40.05.03 *Судебная экспертиза* (уровень специалитета) от 28.10.2016.

- [2] Приказ Министерства юстиции РФ от 26 ноября 2015 г. № 269 «Об утверждении Требований к минимальной комплектации материально-технической базы по каждому виду судебных экспертиз, проводимых в федеральных бюджетных судебно-экспертных учреждениях Министерства юстиции Российской Федерации».
- [3] СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ.
- [4] Шамаев Г.П. *Судебная фотография и видеозапись: учебник*. Москва, Норма: ИНФА-М, 2017, 528 с.
- [5] Терехова Н.Ю. Сложный образовательный продукт как интегральная образовательная система. *Интеграция образования*, 2014, т. 18, № 3 (76), с. 6–11.
- [6] Буренина В.И. Формирование творческого потенциала будущего педагога в процессе становления личности. *Современные проблемы науки и образования*, 2015, № 4, с. 175.
- [7] Буренина В.И. Концептуальные принципы формирования творческого педагогического потенциала будущего педагога в условиях университетского образования//Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 4 (29). С. 104.
- [8] Цибизова Т.Ю. Модель организации исследовательской деятельности обучающихся в системе непрерывного образования. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, № 1 (37), с. 2.

## **Design-study requirements and standards for equipping the training forensic laboratory**

© | Khranchenkova O.V.

khranchenkovao@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article presents the requirements of the Federal State Educational Standard of Higher Education in the specialty 40.05.03 Forensic Expertise (Specialty Level) and the sanitary rules and standards for equipping the training forensic laboratory. The author considers the types of activities of students and their expertise in the educational process. The used equipment and its placement are revealed in the forensic laboratory. The use of equipment in practical employment and in the conditions of future work is considered. The minimal equipment of the material and technical base is indicated for each type of forensic examination conducted in the federal budget forensic expert institutions of the Ministry of Justice of the Russian Federation. The author came to the conclusion that designing a forensic laboratory, the designer should correctly place the subjects and objects of the educational process, taking into account not only ergonomic and technical requirements in accordance with the standard of education, but also take into account the ways and forms of expression of the creative potential of both the teacher and the student in the process of their interaction when placing space.*

**Keywords:** *design-study, forensic expertise, educational standard, sanitary rules and norms, forensic laboratory, computer-technical expertise, photo and video technical expertise, equipment, complex educational product, creative potential.*

УДК 62-78

## Культура прототипирования

© Щербаква Инна Станиславовна  
Колесников Александр Григорьевич

broddir@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Этап прототипирования уже давно прочно встроен в производственный процесс дизайн-проектирования и его изучение входит в учебный план по подготовке студентов по специальности промышленный дизайн. Будущие дизайнеры придумывают и разрабатывают проекты, отыскивая пути для решения выявленных ими или конкретно поставленных уже известных проблем. Для любого спроектированного дизайнером проекта изделия или процесса нужна тщательнейшая проверка на предмет тех необходимых свойств и функций, которые он должен в себе содержать, и в каждом случае разработки не может быть универсальных решений, так как любой проект уникален по определению. Каждая разработка должна обязательно проходить через этап прототипирования для исключения вероятности того, что она окажется нереализуемой или просто бесполезной «красивой картинкой».*

**Ключевые слова:** прототипирование, обучение, дизайн-проект, макет, материалы, эргономика, масштаб, мастерская.

Прототип — прежде всего какой-то физический объект-образец, модель, макет. Прототипирование — процесс создания (с применением определенных методов или технологий) какого-то физического объекта для конкретных целей. Быстрое прототипирование — это распространенная и легкодоступная технология быстрого «макетирования», быстрого создания опытных образцов или работающей модели системы для демонстрации заказчику или проверки возможности ее реализации [1–3].

Прототип позже уточняется для получения конечного продукта.

Прототипирование сегодня можно использовать практически повсеместно: для быстрой реализации идей и фантазий, как уникальный вид производства, в качестве полнофункциональных моделей и образцов, для различных сфер применения.

Существует множество способов и материалов для создания прототипа будущего изделия. Зачастую, чтобы проверить его эргономические свойства и масштаб, достаточно и модели ручного изготовления, допустим, из картона или специального пластилина, но такая модель слабо имитирует материал продукта, если только не предполагается его изготовление из этих же вышеупомянутых материалов. Существует заблуждение, внедренное продавцами специализированной техники, что быстрое прототипирование осуществляется исключительно на 3D-принтерах.

В некоторых случаях целесообразней будет прибегнуть к изготовлению более точной наглядной модели с помощью современных технологий, так как на сегодняшний день множество изделий изготавливается из различных пластиков, металлов и полимеров. Такие способы изготовления прототипов требуют наличия дорогостоящей техники или доступа к ней, а также довольно высокую материальную поддержку со стороны изготовителя или заказчика прототипа в лице дизайнера.

Также при анализе методик стоит понимать, что мы имеем дело с далеко не совершенными с точки зрения конструкционных свойств материалами, используемыми в технологии 3D-печати, потому что все эти материалы лишь имитируют свойства того или иного предполагаемого конструкционного материала.

Однако студенты чаще всего вообще не видят в прототипах никакого смысла и относятся к ним как к чему-то заведомо проходному, или же начинают копать слишком глубоко и анализировать его с точки зрения конечного дизайнера. Иногда просто нет возможности изготовить желаемый прототип или не хватает навыков для этого.

Без прототипа дизайнеры могут сделать очень красивый, но совершенно нефункциональный дизайн, в котором не предусмотрена, например, жизненно необходимая кнопка, или кнопки на изделии расположены слишком далеко друг от друга. Наличие этих кнопок может быть описано в техническом задании, но у прототипа перед ним есть главное преимущество — наглядность. Подобные изыскания отражают проработанность и адекватность проектируемого изделия на предмет его эргономичности, масштаба относительно среднестатистического или экстремального пользователя, человекоориентированность всего проекта в целом. Прототип предельно конкретен и визуально доступен, поэтому его наличие устраняет множество противоречий и поводов для конфликта и редактирования уже готового изделия в будущем.

Зачастую, защищая свой проект, дизайнеры говорят правильные слова, затем преподносят что-то дорогое, красивое, которое потом не работает и пользы не приносит. Проблема таких проектов кроется в том, что дизайнер основывается лишь на теории и не проверяет, не материализует разработанный продукт никакими доступными способами. Хотя теория — это существенный инструмент, но вовсе не единственный. Специалисты, представляющие нам свой опыт, на самом деле выдвигают такую теорию: мой практический опыт предыдущих проектов можно эффективно применить на вашем проекте. Однако любой проект уникален по определению. В нем не может быть готовых решений, так как каждый из новых проектов решает уникальную проблему. В крайнем случае, его отдельные компоненты, части или свойства могут содержать в себе общеизвестные методы решения (например, свойства определенных материалов, из которых может быть изготовлено изделие или система взаимодействия и управления, например, рычаги, кнопки, тумблеры), но концепция в целом должна максимально удовлетворять потребности потенциального пользователя и быть ему полезной в рамках конкретной рассматриваемой задачи.

Наличие прототипа на защите абсолютно любого проекта должно стать неотъемлемым критерием оценки деятельности начинающего дизайнера, а иначе, при отсутствии должной самопроверки, ценность его работ со временем все чаще будет сводиться к нулю.

Решить данную проблему можно двумя способами [4].

1. Широкая распространенность и доступность таких специализированных мастерских, как FabLab (это небольшая мастерская, предлагающая участникам возможность изготавливать необходимые им детали на станках с ЧПУ. Обычно она оборудована набором универсальных инструментов, управляемых с компьютера, и дает возможность сделать «почти все» из «практически ничего»). Особенно это актуально для продуктов, которые уже можно произвести благодаря существующим технологиям, но которые не выпускаются серийно).

2. Оттачивание навыков у студентов ручного изготовления прототипов с помощью недорогих и легкодоступных им материалов, таких как дерево, картон, гипс

и др., а также, что немаловажно, донесение до них мысли о необходимости и пользе мероприятия по изготовлению прототипа для их же собственного проекта.

С помощью прототипирования необходимо выявлять проблемы на раннем этапе, снижать риски, экономить время и средства при разработке, и тогда этот процесс становится генератором большого числа идей, источником экономии ресурсов. Он помогает материализовывать идеи, тестировать их и «продавать», поскольку, как говорит Тодд Заки Варфел, если картинка лучше тысячи слов, то прототип лучше десяти тысяч.

### Литература

- [1] *Прототипирование* [Электронный ресурс] URL: <http://www.art-up.ru/> (дата обращения 15.06.2017).
- [2] *Быстрое прототипирование* [Электронный ресурс] URL: <http://www.ap-proekt.ru/bystroeprotypirovanie.htm> (дата обращения 15.06.2017).
- [3] *Прототипирование* [Электронный ресурс] URL: <http://nami.ru/directions/technical/technology-centre/rapid-prototyping-rapid-prototyping> (дата обращения 15.06.2017).
- [4] Великжанин А. *Проблема прототипирования* [Электронный ресурс] URL: [http://www.cmsmagazine.ru/library/items/management/once\\_again\\_about\\_prototyping/](http://www.cmsmagazine.ru/library/items/management/once_again_about_prototyping/) (дата обращения 15.06.2017).
- [5] Варфел Т. *Прототипирование. Практическое руководство*. Москва, Манн, Иванов и Вебер, 2013, с. 5.

## Prototyping culture

© | Shcherbakova I.S.  
Kolesnikov A.G.

broddir@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The stage of prototyping has long been firmly embedded in the production process of design and included in the curriculum for the preparation of students in the specialty of industrial design. Future designers come up with and develop projects, looking for ways to solve identified or specifically already known problems. And for any projected design of the project or process, a thorough check is needed on the necessary properties and functions that it must contain. And in each case, development cannot be a universal solution, since any project is unique by definition. And every development must necessarily pass through this stage in order to exclude the possibility that it will be unrealizable or simply useless «beautiful picture».*

**Keywords:** *prototyping, curriculum, design, project, layout, materials, ergonomics, scale, workshop.*



УДК 621.77

### Получение бесшовных труб на ТПА 30-102 с непрерывным станом

© Захарова Василина Васильевна  
Комкова Татьяна Юрьевна

zakharova\_vasilina.v@mail.ru  
tkomkova@list.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Описан технологический процесс получения горячекатаных труб на трубопрокатном агрегате ТПА30-102, рассмотрены некоторые проблемы раската труб на непрерывном стане, предложены варианты модернизации.*

**Ключевые слова:** стан ТПА30-102, непрерывный стан, технологический процесс, трехвалковый непрерывный стан, стан винтовой прокатки.

Способ непрерывной прокатки бесшовных труб на длинной подвижной оправке известен с начала прошлого века. В начале его применяли для производства готовых и передельных труб диаметром 60...80 мм сравнительно небольшой длины. В дальнейшем, появились установки, оборудованные редуционно-растяжными станами. В результате этого предоставилась возможность прокатывать широкий сортамент труб из заготовки и черновой трубы одного диаметра, что в свою очередь увеличило производительность.

На трубопрокатных агрегатах (ТПА) с непрерывным станом, которые используются в настоящее время, производят бесшовные трубы диаметром от 16 до 426 с толщиной стенки 2,0...25 мм.

Технологический процесс получения труб на ТПА с непрерывным станом заключается в следующем [1].

- Трубная заготовка  $\varnothing 150$  мм и длиной 3...10 м, поступающая с металлургических заводов, режется на ножницах холодной резки (мощность прессов 1000 и 1600 т) на длины 1930, 2415, 3220 мм и рольгангом подводится к нагревательным печам.

- В кольцевых печах с вращающим подом происходит нагрев до температуры 1280 °С, время нагрева составляет 80...85 мин.

- Затем заготовка прошивается в гильзу в двухвалковом прошивном стане с бочкообразными валками в толстостенную гильзу  $\varnothing 162$  мм и толщиной стенки гильзы от 20 до 27 мм — в зависимости от готовой толщины стенки трубы, угол наклона валков 12...14 град.

• Далее прокатка гильзы в черновую трубу  $\varnothing 120 \times 3,0 \dots 8,0$  происходит на девятиклетьевом стане (с применением свободноплавающей оправки длиной 19,5 м и двухвалковых клетей). В каждой клетке непрерывного стана установлено по два вала диаметром 550 мм, привод на каждую клетку индивидуальный. Расстояние между клетями 1150 мм. Скорость выхода черновой трубы со стана составляет 5...6 м/с. Длина черновой трубы зависит от толщины стенки и длины применяемой заготовки 18...27 м.

• На двояном цепном оправкоизвлекателе оправка извлекается из черновой (промежуточный размер) трубы.

• Длинная оправка после извлечения проходит охлаждение, смазку и направляется на повторное использование (циклическая работа оправок).

• Задний разломаченный конец (100...150 мм) черновой трубы обрезают дисковой стационарной пилой горячей резки (диаметр диска пилы равен 1200 мм).

• Затем черновую трубу подогревают с выравниванием температуры по длине в скоростной индукционной печи до температуры 900...1100 °С.

• Далее происходит передача трубы на линию калибровочного стана или линию редуционного стана: прокатка в калибровочном стане (всего 12 клетей) на размеры от 76 до 102×3,5...8,0; 9,0; 10,0 мм, а также прокатка в редуционном стане (всего 24 клетки) на размеры от 45 до 76×3,0...6,0 мм.

• Проводят порезку концов трубы на ЛПУ на длины 18...25 м в линии редуционного стана при движении трубы или дисковой пилой в линии калибровочного стана при передаче ее с рольганга на шнековую часть оборудования.

• Труба передается на линию барабанного сбрасывателя. Скорость движения трубы после редуционного стана 5...8 м/с, после калибровочного стана 3...6 м/с.

• Далее трубы охлаждаются на холодильнике.

• Правка труб происходит на косовальковом стане в поточных линиях (6 линий).

• Выполняется порезка труб на длины 6...12 м, торцовка и, при необходимости, выполнение нормируемой фаски под сварку (для стенок более 5 мм).

• Труба поступает на участок контроля качества поверхности, размеров, механических характеристик на приборах и на столах ОТК.

• Далее следует маркировка, упаковка, взвешивание пакетов, оформление документации.

К горячекатаным бесшовным трубам с каждым годом предъявляются все более жесткие требования по точности толщины стенки, предельным отклонениям внутреннего и наружного диаметров, овальности и кривизне [2].

Проблема повышения точности геометрических размеров труб является одной из основных в трубопрокатном производстве, поэтому актуальным является изучение особенностей процесса прокатки, которые непосредственно влияют на геометрические характеристики трубы.

Возможными путями снижения неравномерности деформации металла можно считать:

• создание замкнутого калибра за счет ограничительных элементов (линеек, дисков, валков), закрывающих выпуски калибра;

• увеличение количества валков, образующих калибр;

• изменение формы калибра.

Одним из возможных решений проблемной области может быть установка непрерывного трехвалкового стана вместо двухвалкового [3]. Деформация стенки трубы в непрерывных станах с трехвалковыми клетями происходит аналогичным образом, как и для станков с двухвалковыми клетями. Основная деформация по стенке

трубы осуществляется в первых клетях. В последующих клетях формируется готовая стенка, при этом относительное обжатие стенки в последних клетях составляет до 5 %, позволяя решить задачу по снижению неравномерности деформации и обеспечить меньшую разностенность труб.

#### Литература

- [1] Данченко В.Н., Коликов А.П. *Технология трубного производства*. Москва, Интермет-инжиниринг, 2002 с.
- [2] Дунаев П.Ф., Леликов О.П. *Конструирование узлов и деталей машин*: Учеб. пособие. Москва, Высшая школа, 1998, 447 с.
- [3] Ершов Ю.Л., Тартаковский Б.И. PQF/МРМ — особенности проектирования непрерывного оправочного стана. *Теория и практика металлургии*, 2009, № 5–6, с. 3–14.

### Obtaining seamless pipes on TPA 30-102 with a continuous mill

© | Zakharova V.V.  
Komkova T.Y.

zakharova\_vasilina.v@mail.ru  
tkomkova@list.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Describes the process of hot rolling of tubes on TPA30-102, discussed some problems in the pipe rolling on a continuous mill, the proposed upgrade options.*

**Keywords:** *the mill 30-102, the continuous mill, 3-th rolling continuous mill, the screw rolling mill.*

УДК 621.77

### Анализ поведения летучей пыльной установки редукционного стана ТПА 30-102 в процессе ее эксплуатации

© | Колесова Сайыына Яковлевна  
КомковаТатьяна Юрьевна

cainako@mail.ru  
tkomkova@list.ru

МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*На базе анализа характеристик летучей пыльной установки планетарного типа (ЛПУ — RHS1000), установленной в технологической линии редукционного стана ТПА 30-102, приведены обоснования для введения технических предложений, направленных на повышение работоспособности и безотказности транспортной части оборудования и снижение расходного коэффициента при прокатке труб.*

**Ключевые слова:** *летучая пыльная установка, трубопрокатный агрегат, редукционный стан, труба, пила, рез трубы, вспомогательное оборудование прокатных агрегатов.*

В 2004 году на ОАО «Первоуральский новотрубный завод» в линии редуционного стана на ТПА 30-102 была установлена оригинальная летучая пыльная установка (ЛПУ) — RHS1000-1 планетарного типа с плоскопараллельным движением оси пыльного диска. В соответствии с техническим предложением ОАО «ПНТЗ» ЛПУ предназначена для мерной качественной резки горячекатаных труб на ходу со скоростью их поступательного движения до 10 м/с [1]. Характерной особенностью редуционного стана ТПА 30-102 является наличие утолщенных концевых участков прокатываемых труб. В результате этого на стадии окончательной отделки требуются дополнительные операции по удалению утолщенных участков, существенно ухудшающие технико-экономические показатели производства цеха. Длина утолщенных и немерных концов может составлять 200...1200 мм (короткая обрезь) и 1200...2350 мм (длинная обрезь) [2]. Вместе с основной задачей порезки прокатываемых труб на заданную меру была поставлена дополнительная задача отрезки утолщенных передних и задних концов в процессе непрерывного движения труб на выходе из редуционного стана и исключение их попадания на участок отделки.

Основные задачи надежной порезки труб при всех режимах работы.

1. Разделение заготовки на мерные трубы заданных размеров.
2. Разделение заготовки на трубы мерной длины с остаточными немерными участками («длинная обрезь»), т. е. удаление переднего и заднего немерных концов.
3. Мерная порезка заготовки с отрезкой коротких дефектных участков (короткая обрезь).

Данный участок состоит из пыльной установки и линии транспортировки, которая включает в себя рольганг на входе, поддерживающее колесо, рольганг исчезающий, рольганг на выходе с V-образными роликами, рольганг на выходе (цилиндрический).

При отладке процесса порезки на участке пыльной установки и линии транспортировки были выявлены отказы оборудования на различных участках ЛПУ RHS1000-1 и неоднократные аварийные ситуации. Анализ показал, что к основным недостаткам работы оборудования относятся:

- нестабильность собственно процесса реза при удалении короткой обрезки,
- непредсказуемость траектории движения короткого отпиливаемого участка и связанные с этим отказы — выход из строя оборудования пыльного агрегата;
- сложная кинематика и большая масса подвижных деталей исчезающего рольганга, не обеспечивающая заданного темпа работы при переходе с режима мерной (длинной) порезки на режим отрезки коротких утолщенных концов труб;
- низкая надежность работы сталкивающихся устройств и недостаточное позиционирование мерных труб при транспортировке рольганга на выходе с цилиндрическими роликами;
- низкая долговечность приводных ременных устройств обоих рольгангов на выходе из пыльной установки;
- отсутствие необходимой жесткости и автоматизированной настройки по высоте входного рольганга № 1;
- низкая износостойкость измерительного ролика на входе в участок распила заготовки в зоне расположения рольганга № 1;
- недостаточные износостойкость V-образных роликов и ремонтпригодность (доступность) деталей привода роликов рольганга на входе заготовки в зону работы пилы;
- значительные отклонения от перпендикулярности торцов труб в местах отрезки (так называемая «косина»);

• наличие облоя в виде большого заусенца на концах отрезаемых труб, не соответствующих требованиям качества торцовых участков.

Наиболее серьезные аварийные ситуации возникали при отрезке коротких утолщенных участков заготовки. Причинами отказов могли служить неуправляемая баллистика движения отрезаемых участков, их случайное попадание в подвижные элементы конструкции, вызывающие последующие разрушения деталей установки. Этому, в частности, способствовало одностороннее, консольное положение отрезаемых участков на вставные колодки направляющего колеса. Другая причина непредсказуемой траектории — отсутствие ограничивающих движение и направляющих элементов (проводок) в области порезки и дальнейшей траектории движения отрезаемых концов труб [3].

На данный момент из конструкции ЛПУ исключены те части транспортной линии, которые предназначены для удаления и транспортировки немерной обрези. Если ЛПУ в процессе рабочего цикла выполняет не все функции, то это отрицательно сказывается на производительности всего цеха. Таким образом, после детального изучения процесса работы ЛПУ в составе ТПА 30-102 был сделан вывод, что для обеспечения слаженной работы пилы при всех режимах реза и необходимого качества торцевых участков отрезанной трубы целесообразно провести модернизацию конструкции, направленную на выравнивание оси транспортной линии пильной установки с осью прокатки и на безотказное срабатывание всех участков ЛПУ.

### Литература

- [1] Циркулярная пила горячего распила (RHS) фирмы “Kocks”. Friedrich Kocks GmbH & Co KG, 2000, 5 с.
- [2] Правила технической эксплуатации механического оборудования трубопрокатных установок с непрерывным оправочным станом «30-102». Днепропетровск, «ВНИИмехчермет», 1981, 312 с.
- [3] Чечулин Ю.Б., Маслов В.С., Буйначев С.К. Некоторые вопросы повышения надежности пильных установок при резке поступательно движущихся труб. *Сталь*, 2013, № 5, с. 62–64 с.

## Analysis of the Behavior of a Flying Saw Unit the Reduction Mill TPA 30-102 in the Process of its Operation

© | Kolesova S.Y.  
Komkova T.Y.

Cainako@mail.ru  
tkomkova@list.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Based on the analysis of the characteristics of the planetary-type health facilities (RHS1000) installed in the technological line of the TPA 30-102 reduction mill, the rationale for the introduction of technical proposals aimed at improving the operability and trouble-free operation of the transport part of the equipment and reducing the consumption coefficient in the rolling of pipes is provided.*

**Keywords:** Rotating Hot Saw, tube aggregate, reduction mill, pipe, saw, pipe cutting, rolling equipment accessories.

УДК 621.774.36

## Приоритетные направления развития станов холодной прокатки труб

© Черепанов Дмитрий Сергеевич<sup>1</sup> cherepanov.dms@yandex.ru  
Колесников Александр Григорьевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика А.И. Целикова, Москва, 109428, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Исследованы современные станы холодной периодической прокатки труб (ХПТ). Проведен анализ конструкций приводных механизмов таких станов и сделаны выводы о рациональном применении рассмотренных систем в производственных условиях. Построена модель приводного механизма и выполнены исследования динамики узлов рабочей линии стана холодной прокатки труб ХПТ 10-45 конструкции ВНИИМЕТМАШ. По результатам моделирования проведена оценка возможностей стана, предоставлены рекомендации по улучшению конструкции приводного механизма с целью снижения динамических усилий и износа ответственных деталей.*

**Ключевые слова:** стан холодной прокатки труб, привод, кривошипно-шатунный механизм, динамика, производительность.

В настоящее время непрерывно развиваются такие высокотехнологичные отрасли, как атомная энергетика, авиастроение, ракетостроение и др. При этом значительно ужесточаются требования к качеству бесшовных прецизионных труб малого диаметра из различных сталей и сплавов, получаемых за счет технологии холодной периодической прокатки на станах холодной прокатки труб (ХПТ).

Основное внимание в последнее время уделяется следующим ключевым направлениям совершенствования станов ХПТ: получение готовой продукции с точными геометрическими параметрами и заданным качеством поверхности; оптимизация технологических режимов прокатки; повышение производительности; уменьшение износа ответственных деталей; повышение работоспособности основных и вспомогательных узлов и механизмов в линии стана. В данной работе углубленно рассмотрены конструктивные и технологические особенности станов ХПТ, связанные с повышением производительности. Задача повышения производительности является актуальной и требует, как четкого понимания всего цикла процесса прокатки труб на стане ХПТ, так и поиска новых научно-исследовательских и инженерно-конструкторских подходов.

Труба на станах ХПТ прокатывается отдельными участками по длине при возвратно-поступательном движении рабочей клетки [1]. Деформация осуществляется на неподвижной конической оправке с помощью двух валков-калибров. Каждый калибр имеет по окружности ручей переменного сечения от диаметра трубы-заготовки до размера готовой трубы.

Производительность стана непосредственно зависит от привода рабочей клетки, представляющего собой дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм. Приводной механизм обеспечивает требуемое число двойных ходов клетки в минуту, что в

конечном итоге выражается в объеме прокатанных труб. Например, станы конструкции ВНИИМЕТМАШ моделей ХПТ 6-20 и ХПТ 10-45 [2] позволяют достичь 140 дв. ход. клетки/мин и производительность до 200 м/ч (в зависимости от технологических режимов прокатки) и получать высокоточные трубы при оптимальных нагрузках на привода при прокатке.

Как уже было сказано выше, для осуществления процесса прокатки валкам, рабочей клетки необходимо сообщать возвратно-поступательное движение. При перемещении от заднего крайнего положения клетки до переднего происходит разгон и торможение подвижных масс, что вызывает появление сил инерции. Инерционные силы препятствуют повышению быстроходности и увеличению длины рабочей части ручья калибра, тем самым не позволяя увеличивать деформацию металла за проход и повышать точность готовой продукции. Чтобы уменьшить влияние сил инерции, конструкцию привода станов ХПТ оснащают различными системами уравнивания (дополнительные массы противовесов и контргрузов).

Проведенные исследования характера изменения крутящего момента кривошипного вала при увеличении числа двойных ходов у станов ХПТ третьего поколения (ХПТ 32, ХПР 55, ХПТ 75) конструкции Электростальского завода тяжелого машиностроения (ЭЗТМ) и станов ХПТ 6-20 и ХПТ 10-45 конструкции ВНИИМЕТМАШ, не имеющих уравнивающих устройств, показали, что с ростом быстроходности стана общая нагрузка на валу главного привода резко возрастает. При этом рост динамической составляющей от инерционных сил увеличивается при наличии в кинематической цепи главного привода зазоров в зубчатых зацеплениях и подшипниковых узлах.

Также был проведен анализ схем приводных механизмов станов ХПТ с реализованной системой уравнивания (пневматическим уравниванием, грузовым уравниванием эксцентрикового типа и с коленчатым валом). В результате определено, в конструкциях каких станов было нецелесообразным применять уравнивание. Оснащение приводного механизма большим количеством массивных элементов приводит к возникновению повышенных нагрузок на фундамент, а также, например, при использовании пневмоцилиндров в качестве уравнивающего звена необходимо поддерживать постоянный температурный режим.

В данной работе, на основании предшествующего опыта исследования и проектирования приводных механизмов станов ХПТ, была поставлена задача оценить конструктивные и технологические параметры существующего стана ХПТ 10-45 конструкции ВНИИМЕТМАШ, введенного в эксплуатацию на Первоуральском новотрубном заводе (2016 г.) с целью найти способы увеличения скорости перемещения клетки, расширения технологических возможностей стана, оптимизации режимов прокатки при минимизации критических нагрузок в ответственных узлах и механизмах стана. Для данного стана разработана динамическая модель приводного механизма в программном пакете Autodesk Inventor и получены значения критических нагрузок при разгоне клетки с установленной максимальной скоростью движения клетки для данного стана  $n = 140$  дв.ход.кл./мин до  $n = 200$  дв.ход.кл./мин. Результаты моделирования могут быть использованы при модернизации существующего стана и при проектировании новых быстроходных станов [3].

### Литература

- [1] Фролов В.Ф., Данченко В.Н., Фролов Я.В. *Холодная пильгерная прокатка труб*. Днепропетровск, Пороги, 2005, 260 с.

- [2] Целиков Н.А., Чекулаев А.В. Станы холодной прокатки труб конструкции ВНИИМЕТМАШ. *Тяжелое машиностроение*, 2010, № 5, с. 28–31.
- [3] Черепанов Д.С. Разработка конструкции высокоскоростного привода станков ХПТ (ВНИИМЕТМАШ). *Неделя металлов в Москве: сб. труд. конф.* Москва, АО АХК ВНИИМЕТМАШ, 2017, с. 241–246.

## Priority Directions of Cold Pilger Mills Development

© | Cherepanov D.S.<sup>1</sup>  
Kolesnikov A.G.<sup>2</sup>

cherepanov.dms@yandex.ru

<sup>1</sup>VNIIMETMASH Holding company, Moscow, 109428, Russia

<sup>2</sup>BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The report is devoted to research of modern cold pilger mills (HPT). The analysis of the drive mechanisms constructions of HPT mills was conducted and conclusions about the rational application of the considered systems in production conditions were made. The model of the drive mechanism was built and research of the working line units dynamics of HPT 10-45 design VMM Holding company were conducted. Based on the simulation results, an assessment of the mill opportunities was conducted and also recommendations to improve the design of the drive mechanism to reduce dynamic forces and wear of critical parts were provided.*

**Keywords:** cold pilger mill, drive, crank mechanism, dynamics, capacity.



УДК 621.316.06

## Разработка блока коммутации источника питания с потребителями в камере установки ВУП-11М

© Акишин Максим Юрьевич akishinm1996@gmail.com  
Васильев Денис Дмитриевич d.d.vasiliev@ya.ru  
Моисеев Константин Михайлович mkm430@ya.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Предложена конструкция блока коммутации источника питания с нагревательным элементом и подложкодержателем в вакуумной камере с возможностью измерения ионного тока на подложке.*

**Ключевые слова:** *напряжение смещения, ионный ток, магнетронное распыление.*

**Введение.** В плазме тлеющего разряда на поверхности катода магнетрона происходит ионизация как рабочего газа аргона, так и распыляемого материала. Вследствие чего потенциал смещения на подложке влияет на энергию осаждаемого материала и позволяет проводить ассистирование растущей пленки ионами аргона из плазмы, оказывая влияние на характеристики получаемого покрытия [1, 2]. Для контроля интенсивности бомбардировки подложки ионами необходимо измерять ионный ток.

В камере установки ВУП-11М кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана помимо магнетрона находятся два потребителя постоянного напряжения, питающиеся от одного источника: нагреватель подложки и подложкодержатель как потребитель напряжения смещения. Устройства используются поочередно, переключение блока питания между потребителями во время работы установки небезопасно и усложняет работу на установке. Большой диапазон значений ионного тока требует перед началом процесса подключения различных амперметров для определения подходящего по интервалу измерения и точности прибора, что создает неудобства в эксплуатации установки и сужают ее потенциальные возможности. В связи с этим было принято решение спроектировать и изготовить блок коммутации источника питания постоянного напряжения с потребителями в камере.

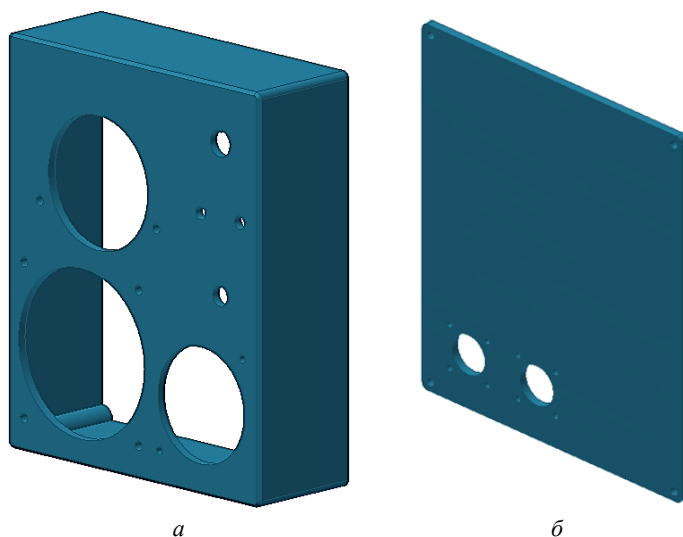
**Технические требования.** Измерение ионного тока планируется проводить с помощью амперметра, установленного в ветвь подачи напряжения смещения. Цифровые амперметры обычно дают показания с большой погрешностью, поэтому для получения более точных результатов лучше использовать стрелочные измерительные

головки. Однако вследствие небольшого диапазона измерения стрелочных амперметров, а также из-за отсутствия представлений о силе ионного тока на подложке, необходимо использовать несколько измерительных головок с разными диапазонами. Исходя из сведений о значении ионного тока в разряде [2], общий диапазон измерений должен быть от 1 мкА до 1 мА.

Относительно подаваемого в камеру сигнала блок коммутации должен выполнять несколько функций. Во-первых, переключать подачу сигнала с нагревателя на подложку. Это позволит исключить операцию переключения проводов на блоке питания, сделав рабочий процесс короче и безопаснее. Во-вторых, менять полярность напряжения смещения, увеличивая тем самым диапазон его варьирования и проводя эксперименты как при положительном значении напряжения смещения, так и при отрицательном. В-третьих, менять полярность измерения амперметров. Это необходимо в том случае, если на подложку летит больше электронов, чем ионов. В-четвертых, иметь возможность переключения активного амперметра для проведения измерений в нужном диапазоне.

Также важным требованием является встраиваемость разрабатываемого блока коммутации в шкаф управления установки. Для этого его ширина и высота не должны превышать соответственно 155 и 180 мм.

**Реализация.** Для измерений ионного тока были подобраны три амперметра с общим диапазоном измерений от 1 мкА до 1 мА. Среди стандартных корпусов для радио электронной аппаратуры не оказалось подходящих по габаритам и при этом вмещающих три амперметра. Поэтому корпус для блока коммутации был напечатан на 3D-принтере. Модель для печати изображена на рис. 1.



**Рис. 1.** 3D-модель корпуса блока коммутации:  
а — корпус; б — крышка

Для коммутации всех элементов блока была разработана принципиальная электрическая схема, представленная на рис. 2.

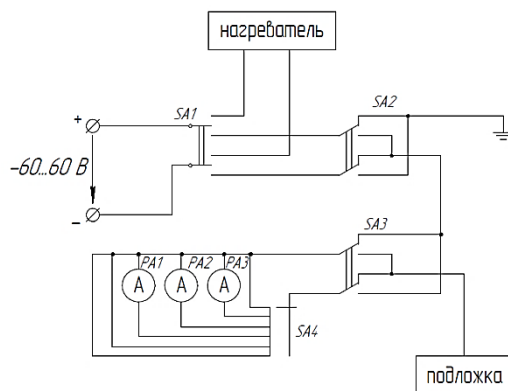


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема



Рис. 3. Блок коммутации источника питания постоянного напряжения

**Заключение.** Спроектированный блок коммутации источника питания постоянного напряжения (рис. 3) позволяет подавать напряжение на нагреватель и подложку, а также имеет возможность измерения ионного тока в диапазоне от 1 мкА до 1 мА.

В дальнейшем планируется провести эксперименты по измерению ионного тока на подложке при различных напряжениях смещения подложки, коэффициентах заполнения импульсного сигнала, частотах тока.

#### Литература

- [1] Гусева М.Б. Ионная стимуляция в процессе образования тонких пленок на поверхности твердого тела. *Соросовский образовательный журнал*, 1998, No. 10, p. 106–112.

- [2] Manova D., Gerlach J.W., Mändl S. Thin film deposition using energetic ions. *Materials*, 2010, No. 3, p. 4109–4141.
- [3] Духопельников Д.В. *Магнетронные распылительные системы с электромагнитами*. Автореф... канд. техн. наук. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007, 16 с.

## Development of Power Supply Switching Unit with Consumers in the VUP-11M Installation Chamber

©	Akishin M.Y.	akishinm1996@gmail.com
	Vasilev D.D.	d.d.vasiliev@ya.ru
	Moiseev K.M.	mkm430@ya.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*A design of a power supply switching unit with a heating element and a substrate holder in a vacuum chamber with the possibility of the ion current measuring on a substrate is propose in this article.*

**Keywords:** bias voltage, ion current, magnetron sputtering.

УДК 681.3

## Проектирование электронных устройств в программе DesignLab

©	Арсланов Ильмир Каримович	zarim@rambler.ru
	Зарипова Римма Солтановна	

Казанский государственный энергетический университет, Казань, 420066, Россия

*Система DesignLab относится к тем системам моделирования, которые дают наиболее достоверное представление о работе проектируемых устройств. Используя дополнительные программы, DesignLab позволяет автоматизировать различные этапы разработки электронных устройств. Преимуществом данной системы является то, что она объединяет в себе систему моделирования электронных устройств и систему разработки печатных плат, позволяя моделировать электронные устройства, не делая дорогие физические макеты.*

**Ключевые слова:** система моделирования электронных устройств, DesignLab, проектирование электронных устройств.

Проектирование электронных устройств представляет собой итерационный процесс, состоящий из этапов функционального проектирования, разработки принципиальной схемы, разработки печатной платы, ее изготовления, проведения испытаний, доработки по их результатам принципиальной или функциональной схемы, внесения изменений в печатную плату и т. д. и осуществляемый до тех пор, пока не будут удовлетворены все требования технического задания [1].

С повышением сложности аппаратуры, переходом к более высоким диапазонам частот, применением смешанных аналого-цифровых устройств число итераций увеличивается [2]. Такое повышение связано с тем, что аналитически трудно учесть паразитные эффекты, присущие как электронным компонентам, так и проводникам печатных плат, и их взаимное влияние. Единственный выход из положения заключается в организации сквозного цикла автоматизированного проектирования аппаратуры, включающего в себя моделирование как идеальной схемы, так и реальной конструкции и ее испытаний при действии различных дестабилизирующих факторов и учета разброса параметров. Наиболее полно эти задачи решаются на рабочих станциях с применением специализированного программного обеспечения. Однако дороговизна такого решения делает его невозможным для широкого применения. На платформе персональных компьютеров в настоящее время имеется система, обеспечивающая сквозное проектирование аналого-цифровой аппаратуры — DesignLab корпорации MicroSim.

Система DesignLab — интегрированный программный комплекс для сквозного проектирования аналоговых, цифровых и смешанных аналого-цифровых устройств, синтеза устройств программируемой логики и аналоговых фильтров. Проектирование начинается с ввода принципиальной схемы, ее моделирования и оптимизации и заканчивается созданием управляющих файлов для программаторов, разработкой печатной платы и выводом управляющих файлов. Система DesignLab относится к тем системам моделирования, которые дают наиболее достоверное представление о работе проектируемых устройств, используя программу моделирования PSpice. Также DesignLab позволяет в удобной форме вести работу над проектами создания электронной аппаратуры, конечным результатом которого является выпуск документации печатной платы разрабатываемых устройств. Используя дополнительные программы, DesignLab позволяет автоматизировать различные этапы разработки электронных устройств: моделирование, оптимизацию, размещение компонентов на печатной плате, трассировку печатной платы, расчет паразитных эффектов печатных плат. Преимуществом данной системы является то, что она объединяет в себе системы моделирования электронных устройств и разработки печатных плат, что позволяет моделировать электронные устройства, не делая дорогие физические макеты.

Подготовка и само моделирование проводятся в несколько этапов.

1. Размещение символов сигналов. После создания схемы моделируемого устройства должны быть введены символы источников сигналов.
2. Простановка позиционных обозначений. Перед моделированием схем всем ее компонентам нужно присвоить уникальные имена (позиционные обозначения).
3. Именованние цепей.
4. Проверка схемы. Проверяется наличие неподсоединенных выводов.
5. Создание списка соединений.
6. Составление задания на моделирование.
7. Конфигурирование программы построения графиков.
8. Просмотр результатов моделирования.

Работа с системой DesignLab и основные этапы моделирования были рассмотрены на примере автогенератора, схема которого изображена на рис. 1. Работу схемы иллюстрирует рис. 2.

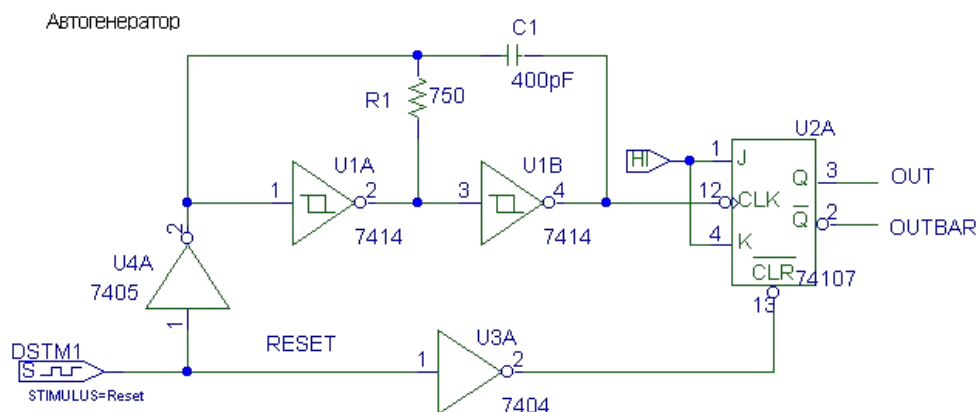


Рис. 1. Схема автогенератора

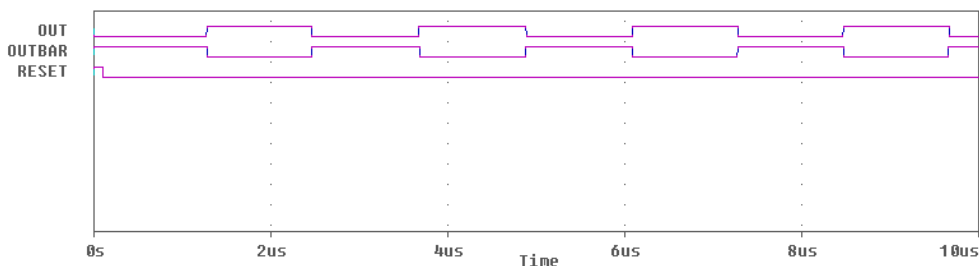


Рис. 2. Диаграммы работы автогенератора

Авторами статьи была рассмотрена проблема сквозного проектирования электронных устройств с помощью системы DesignLab корпорации MicroSim; изучен процесс автоматизации различных этапов разработки электронных устройств: моделирование, оптимизация, размещение компонентов на печатной плате, трассировка печатной платы, расчет паразитных эффектов печатных плат. В задачу входил анализ исходных данных на предмет оптимального выбора структурной схемы и типа электронных компонентов, входящих в состав устройства, а также согласование отдельных узлов по уровням сигналов на входах и выходах и их нагрузочной способности [3].

### Литература

- [1] Ситников С.Ю., Ситников Ю.К. Использование компьютерных моделей при работе в учебной лаборатории. *Ученые записки ИСГЗ*, 2014, № 1, с. 353–357.
- [2] Кардашев Г.А. *Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств*. Москва, Горячая Линия — Телеком, 2007.
- [3] Кольцов В.В., Зарипова Р.С. Устройство, выполняющее функцию автоматического выключателя лестничного освещения. *Мат. докл. IV Российской молодежной научной школы-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи»*. Томск, Томский политехнический университет, 2016, т. 2, с. 147–148.

## Design of Electronic Devices in the DesignLab Program

© | Arslanov I.K.  
Zaripova R.S.

zarim@rambler.ru

Kazan State Energy University (KGEU), Kazan, 420066, Russia

*The DesignLab system belongs to systems of modeling which give a reliable idea of operation of the designed devices. DesignLab allows to automate development stages of electronic devices. She unites in herself system of modeling of electronic devices and system of development of printed circuit boards.*

**Keywords:** *system of modeling of electronic devices, DesignLab.*

УДК 539.23

## Декоративные черные покрытия на установке PLATIT п80, полученные методом дугового испарения

© | Баклыков Дмитрий Алексеевич  
Дубинин Сергей Александрович  
Моисеев Константин Михайлович  
Сидорова Светлана Владимировна

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Приведено описание декоративных покрытий черного цвета, материалов и методов их получения. Представлены результаты экспериментов по нанесению черного покрытия методом дугового испарения в вакууме на установке PLATIT п80 на подложки из стекла и нержавеющей стали.*

**Ключевые слова:** *декоративное черное покрытие, тонкие пленки, дуговое испарение, магнетронное распыление.*

**Введение.** В настоящее время основными декоративными покрытиями черного цвета являются DLC и AlTiN. Такие покрытия получают методом PVD. Обычно для снижения стоимости декоративного покрытия, его толщина составляет примерно 0,3 мкм. Для изготовления таких покрытий наиболее часто используются реактивные газы, например, азот и ацетилен. Черные декоративные покрытия достаточно популярны на сегодняшний день и пользуются спросом [1].

**Покрытие AlTiN.** Покрытие AlTiN является одним из самых лучших универсальных покрытий, применяемых как для режущих инструментов, так и для декоративных целей [2]. Для его нанесения чаще всего применяют методы магнетронного распыления и дугового испарения, последний обеспечивает высокую скорость ионизации, что позволяет варьировать температуру нанесения от 100 до 500 °С. Указанная особенность метода способствуют тому, что это покрытие можно наносить как и на металлическую поверхность, так и на пластиковую [3].

Кроме того, существует возможность варьировать состав покрытия и цвет, изменяя параметры процесса и толщину пленки. Цвет может быть желтым, розовым, фиолетовым, синим и черным [4].

**Покрытия DLC.** Черные DLC-покрытия довольно часто используются для декоративных целей, они обеспечивают высокое качество поверхности и имеют высокую износостойкость, к тому же увеличивается срок службы изделия. Такие покрытия наносят на наручные часы, пишущие ручки, дверные ручки, краны, оправы для очков, мобильные телефоны, детали экстерьера автомобиля и др. (рис. 1). К тому же высока потребность в нанесении этих покрытий на пластик. Получить DLC-покрытия можно методами дугового испарения, магнетронного распыления и химического осаждения газов в плазменной среде.

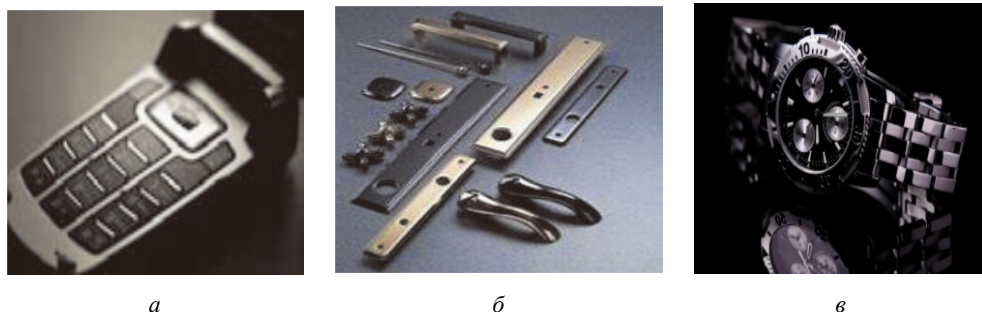


Рис. 1. Примеры черного декоративного DLC-покрытия, нанесенного на корпус телефона (а); фурнитуру для дверей (б); наручные часы (в)

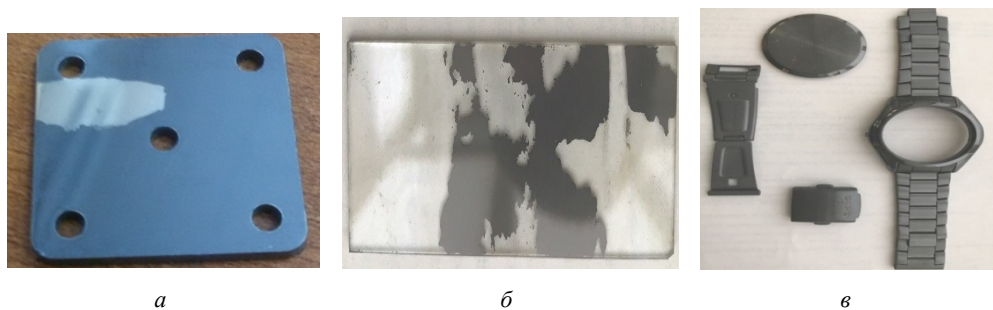
Также перспективными методами для нанесения DLC-покрытий являются двойное магнетронное распыление и магнетронное распыление импульсами высокой мощности [5, 6].

**Проведение экспериментов и обсуждение результатов.** В данной работе для исследования было выбрано покрытие AlTiN. Нанесение осуществлялось методом дугового испарения, реализованным на установке PLATIT  $\pi$ 80. Тонкие пленки напыляли при различных режимах на металлические изделия из нержавеющей стали и стекла. Для получения покрытий толщиной 0,3 мкм подойдут оба режима с той лишь разницей, что в ручном режиме необходимо более тщательно контролировать весь технологический процесс. Измерены значения адгезии, толщины и твердости для всех образцов. Результаты экспериментов представлены в таблице, где  $h$  — толщина покрытия;  $H$  — твердость;  $A$  — адгезия.

#### Результаты экспериментов

Материал подложки	$h$ , мкм	$H$ , HV	$A$	Описание режима
Сталь нержавеющая	0,59	350	ISO0	Напыление проводили при токах 120 А на катоде из Al и 70 А на Ti. Напряжение смещения плавно изменяли в течение процесса от 300 до 50 В
Сталь нержавеющая	1,39	745	ISO0	Напыление осуществляли по рецепту, предоставленному компанией PLATIT
Стекло	1,44	1815	ISO0	





**Рис. 2.** Примеры покрытия AlTiN, нанесенного на образец из стали (а); образец из стекла (б); наручные часы (в)

Полученные в результате покрытия представлены на рис. 2.

### Литература

- [1] PVD Coatings. Decorative coatings. [Электрон. ресурс] URL: <https://www.pvd-coatings.co.uk/applications/decorative> (дата обращения 16.06.2017).
- [2] Локтев Д., Ямашкин Е. Основные виды износостойких покрытий. *Наноиндустрия. Сер. Промышленные нанотехнологии*, 2007, № 5, с. 24–30.
- [3] Vetter J., Kayser O., Bieler H.-W. AlTiN — a universal coating for different applications: from dry cutting to decoration. *Vakuum in Forschung und Praxis* 17, 2005, no. 3, pp. 131–134.
- [4] Panjan M., Klanjšek Gunde M., Panjan P., Čekada M. Designing the color of AlTiN hard coating through interference effect. *Surface & Coatings Technology*, 2014, no. 254, pp. 65–72.
- [5] Yoshihiko A. PVD/PACVD Technology and Equipments of Hauzer Techno Coating. *Engineering Review*, 2010, no. 2, pp. 89–93.
- [6] Christie D.J. Dual Magnetron Sputtering: More than meets the eye. *Advanced Energy Industries*, 2013, pp. 34–35.

## Black Decorative Coating Obtained by Arc Evaporation on the Installation PLATIT π80

© Baklykov D.A.  
Dubinin S.A.  
Moiseev K.M.  
Sidorova S.V.

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article describes black decorative coatings, materials, and methods for obtaining them. The results of experiments by deposition of black coating by the method of arc evaporation in vacuum on the installation PLATIT π80 on substrates of glass and stainless steel are presented.*

**Keywords:** *black decorative coating, thin films, arc evaporation, magnetron sputtering.*

УДК 621.793.06

## Разработка системы автоматического управления вакуумной и газовой систем установки МВТУ-11-1МС

© Голованов Дмитрий Александрович scorpio\_13-95@mail.ru  
Прохоров Евгений Павлович  
Моисеев Константин Михайлович

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Оборудование для процессов обработки заготовок потоками заряженных частиц должно обладать надежностью и простотой эксплуатации. Целью работы было проведение автоматизации вакуумной и газовой систем установки МВТУ-11-1МС. В статье рассмотрено устройство этих систем, описано подключение комплектующих к программируемому контроллеру и процесс разработки программного обеспечения. Приведено описание алгоритмов автоматизации.*

**Ключевые слова:** Автоматизация, вакуумная установка, программируемый логический контроллер, программное обеспечение, газовая система, вакуумная система, вакуумная откачка, интерфейс.

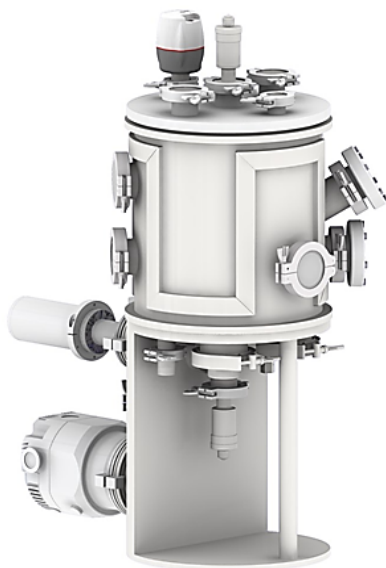
**Введение.** Вакуумные установки для проведения элионных процессов (элионные — электронные и ионные) должны обеспечивать высокую степень разряжения в рабочей камере и возможность подачи в нее рабочих газов: Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и других. Отличительной особенностью элионных технологий являются большие временные затраты на выполнение подготовительных операций. Кроме того, важной задачей является обеспечение надежности оборудования [1, 2].

Добиться высокой надежности — значит обеспечить корректность работы на установке и снизить влияние человеческого фактора, а это, в свою очередь, требует повышения уровня автоматизации вакуумных установок.

Цель данной работы — разработка и реализация системы автоматического управления вакуумной и газовой системами лабораторной технологической установки.

**Устройство установки.** Объектом разработки является малогабаритная установка МВТУ-11-1МС (рис. 1), расположенная на кафедре МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Установка имеет безмасляную систему откачки и три технологических источника: магнетрон, источник ионов, электроннолучевой испаритель.

Форвакуумная откачка осуществляется спиральным насосом Edwards XDS10, высоковакуумная — турбомолекулярным насосом (ТМН) Edwards nEXT240D. Электромагнитный клапан VAT Series 26428-КА61 отсекает насосы друг от друга. Клапан напуска атмосферы Edwards TAV-5 расположен на ТМН. Для контроля давления в камере использован широкодиапазонный датчик Edwards WRG, на выходе высоковакуумного насоса — датчик Пирани Edwards APG100-ХМ. Для управления вакуумной системой применен турбоинструментальный контроллер (далее ТИК) Edwards TIC. К контроллеру подключены все перечисленные устройства, кроме спирального насоса и отсечного клапана. Чтобы включить форвакуумный насос и открыть отсечный клапан, достаточно замкнуть электромагнитное реле, управляющее подачей питания. Для этого используется сигнал 24 В на выходе логического интерфейса ТИК.



**Рис. 1.** Вакуумная малогабаритная лабораторная установка MBTU-11-1MC

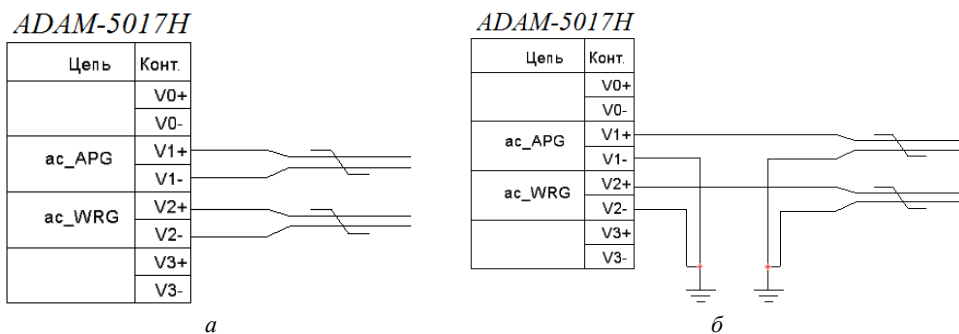
Газовая система установки состоит из шести электромагнитных клапанов и двух регуляторов расхода газа (далее РРГ). Для открытия клапанов требуется подавать сигналы 24 В на электромагнитные реле, задание потока газа РРГ осуществляется подачей на них аналогового сигнала 0...5 В, имеется возможность реализации их аналогового контроля.

В качестве центрального контроллера в установке используется программируемый логический контроллер (далее ПЛК) ADAM-5510E/TCP с подключенными к нему модулями ввода-вывода. Контроллер связан с персональным компьютером (далее ПК) по протоколу Modbus/TCP через порт Ethernet и исполняет роль сервера.

В исходном состоянии установки управление вакуумной системой осуществляется в ручном режиме путем нажатия кнопок на передней панели контроллера ТИК. Устройства газовой системы управляются от ПЛК путем последовательной записи числовых команд в регистры памяти.

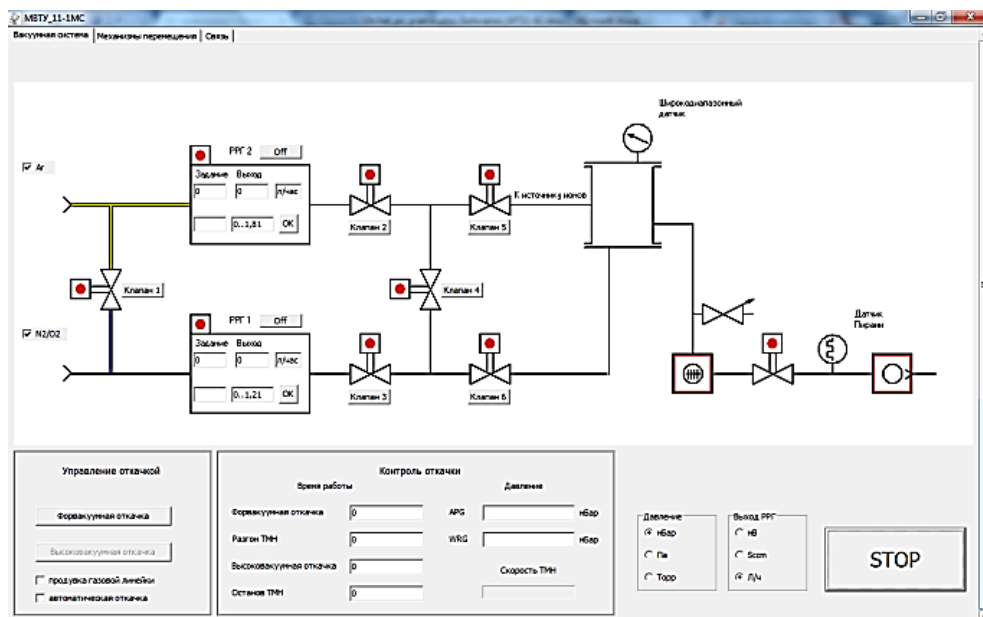
**Проведение автоматизации.** Для управления откачкой и контроля скорости разгона ТМН соответствующие каналы логического интерфейса ТИК были подключены к модулю дискретного управления ПЛК. Для контроля давления одновременно с ТИК использованы сплиттеры разъема 8P8C, а аналоговый сигнал по витой паре поступал на модуль аналогового контроля ПЛК. При этом рассматривалось два варианта подключения — с заземлением и без (рис. 2). Был выбран вариант без заземления, поскольку в таком случае разница в показаниях с ТИК сохранялась в одних и тех же пределах на всем диапазоне значений.

Значение дискреты аналогового сигнала ПЛК равно 2,7 мВ. Для получения одинаковых значений на ТИК и на ПЛК в коэффициент дискретизации была внесена поправка, в результате чего он стал равен 2,77 мВ. При этом расхождение на всем участке работы датчиков не составило в среднем более 8 мВ, что равно 0,08 % максимального сигнала.



**Рис. 2.** Подключение датчиков давления к ПЛК:  
*a* — без заземления; *б* — с заземлением

Для управления вакуумной и газовой системами в среде Delphi 7 было разработано программное обеспечение (ПО) для ПК, имеющее удобный пользовательский интерфейс (рис. 3). Программа использует регистры памяти ПЛК для записи в них команд управления и считывания контролируемых параметров. Основой работы программы является циклическое выполнение процедур чтения и записи с задержкой в полсекунды, предоставляя ПЛК время на обработку каждого цикла записи. Программное обеспечение для ПЛК было разработано в среде программирования Borland C 3.1 и представляет процедуры обработки протекающих процессов.



**Рис. 3.** Интерфейс программы управления

Процедура запуска вакуумной откачки состоит из трех этапов (рис. 4).

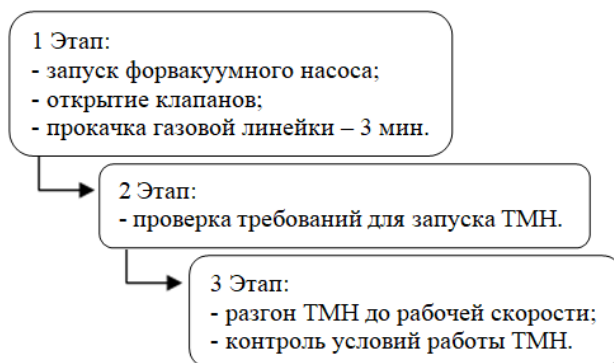


Рис. 4. Этапы вакуумной откачки

Процедура остановки откачки состоит из одного-трех этапов в зависимости от того, на какой стадии откачки находилась установка. Происходит остановка ТМН, закрытие клапанов и выключение форвакуумного насоса.

Для подготовки РРГ к работе требуется выполнить процесс продува. Он может быть запущен только при нахождении установки на этапе 1 откачки. Открываются клапаны газовой линейки, открываются РРГ и пропускают рабочий газ в рабочую камеру в течение 5 минут, после чего закрываются.

**Заключение.** Автоматизация установки минимизирует количество ошибок оператора, тем самым повышая надежность установки и облегчая работу оператора.

Для индикации адекватных показаний с датчиков давления на ПК достаточно подключить датчики к ПЛК без заземления и добавить повышающий множитель к значениям давления, получаемым программой от программируемого логического контроллера.

#### Литература

- [1] Панфилов Ю.В. *Конспект лекций по курсу «Эллионные процессы и нанотехнологии»/ комплект учебно-методического обеспечения.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
- [2] Каракулов Р. *Установка магнетронного распыления «Магна ТМ 7» в технологии создания тонкопленочных ГИС СВЧ.* DOI: 10.22184/1993-8578.2017.72.2.80.86

## МVTU-11-1MS Set Vacuum and Gas System Automotive Control System Design

© | Golovanov D.A.  
Prokhorov E.P.  
Moiseev K.M.

scorpio\_13-95@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Charge carriers beam workpiece machining equipment must be reliable and easy to operate. The work task was to automate MBTV-11-IMC set vacuum and gas systems. The article consist those systems' configuration examination, the description of devices' connection*

to programmable logic controller and the process of software design. Automation algorithm structure is described.

**Keywords:** Automation, vacuum set, programmable logic controller, software, gas system, vacuum system, vacuum pumping, interface.

УДК 539.23

## Исследование влияния электрофореза на формирование коллоидных пленок кремнезема

© Дюбанов Владислав Алексеевич  
Езенкова Дарья Андреевна  
Мозер Ксения Витальевна

vlad.dyubanov@yandex.ru  
dasha.ezenkova@mail.ru  
dog\_tegr@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Изложены теоретические предпосылки и экспериментальные исследования формирования коллоидных пленок кремнезема в условиях электрофореза. Приведены результаты экспериментов по осаждению коллоидного раствора кремнезема в условиях электрофореза в зависимости от ориентации подложек в пространстве. Сформулированы выводы на основе результатов экспериментального исследования.*

**Ключевые слова:** опаловая матрица, электролиз, седиментация, ориентация подложек, материал внедрения.

**Введение.** Одним из приоритетных направлений современной науки и техники является разработка новых материалов, в частности, создание нанокompозитов, которые обладают комплексом уникальных физических и механических свойств. Металл-диэлектрические нанокompозиты находят применение в спинтронике, СВЧ-технике и ряде других областей. Инверсные структуры, созданные на основе таких композитов, могут быть использованы в газовых сенсорах, а также при изготовлении кантилевых зондовых микроскопов.

Традиционную технологию получения композитов можно разделить на два основных этапа: первый — формирование матрицы; второй — заполнение матрицы материалом внедрения.

Наиболее распространены матрицы на основе кремния, так как данный элемент широко распространен, прост в получении и очистке, а также имеет хорошие электрофизические, теплофизические и химические свойства. Матрица на основе кремния — опаловая матрица позволяет получать образцы со структурированной и контролируемой пористостью. Опал имеет гранецентрированную кубическую решетку частиц аморфного кремнезема, объем пустот которой составляет 26 % [1–4].

Технологии последовательного формирования матрицы и заполнения ее пустот материалом присущ существенный недостаток: «закупоривание» каналов матрицы, соединяющих заполненные пустоты у поверхности с пустотами, расположенными во внутренних слоях.

Для решения этой проблемы предложено использовать метод одновременного с формированием матрицы заполнения ее пустот материалом внедрения (рис. 1). Наиболее просто такой метод реализуется при совмещении процессов седиментации частиц кремнезема из коллоидного раствора и электрохимического осаждения материала внедрения. В этом случае седиментация частиц кремнезема будет осуществляться в условиях электрофореза, протекание такого процесса исследовано в настоящей работе.

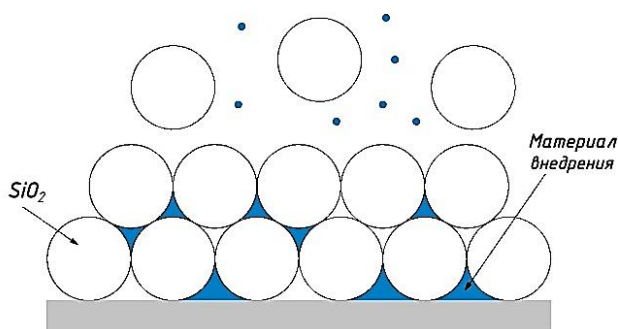


Рис. 1. Метод одновременного с формированием матрицы заполнения ее пустот материалом внедрения

**Теоретические предпосылки.** Седиментация в условиях электрофореза является одним из самых старых методов получения пленочных структур. Покрытия, изготовленные данным способом, нашли широкое применение в промышленности, так как этот метод позволяет работать практически с любыми материалами.

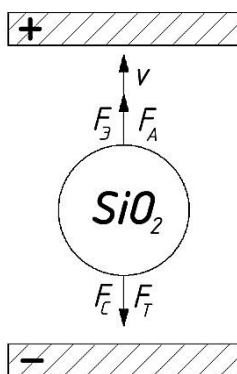
Сущность процесса: в раствор опускают две пластины — анод и катод. Далее подают постоянный электрический ток, под воздействием тока частицы осаждаются на одну из пластин, образуя пленку.

Процесс электрофореза можно охарактеризовать такими параметрами, как материал покрытия, электрохимические характеристики материала, время процесса, температура, плотность тока, ориентация анода относительно катода. Данные параметры оказывают влияние на скорость роста пленки и ее структуру.

Предмет исследования данной работы — коллоидный раствор частиц кремнезема. Усредняя размер частиц по всему объему и тем самым пренебрегая силами притяжения и электрического отталкивания между частицами, из уравнения сил, действующих на частицу (рис. 2), можно вывести выражение для расчета скорости седиментации:

$$v = \frac{Uq}{6d\pi r\mu} - \frac{2r^2g(\rho - \rho_0)}{9\mu} \quad (1)$$

Формула (1) показывает, что, варьируя параметрами в условиях электрофореза, можно добиться более быстрого и структурированного осаждения частиц. Также, вследствие преобладания сил электрического поля над силами тяжести, устраняется проблема неоднородности формируемой структуры, которая могла бы возникнуть при одновременном осаждении частиц кремнезема и материала внедрения в условиях естественной седиментации.

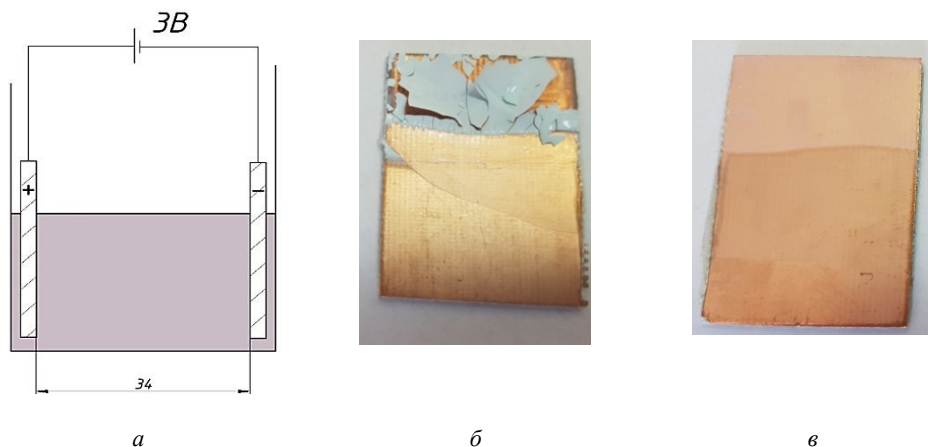


**Рис. 2.** Седиментация глобул кремнезема с применением электрофореза

**Экспериментальные исследования и обсуждение результатов.** В рамках данной работы были проведены эксперименты по осаждению коллоидного раствора частиц кремнезема в условиях электрофореза с различной ориентацией подложек в пространстве.

Было рассмотрено два варианта расположения подложек: вертикальное (рис. 3); горизонтальное (рис. 4).

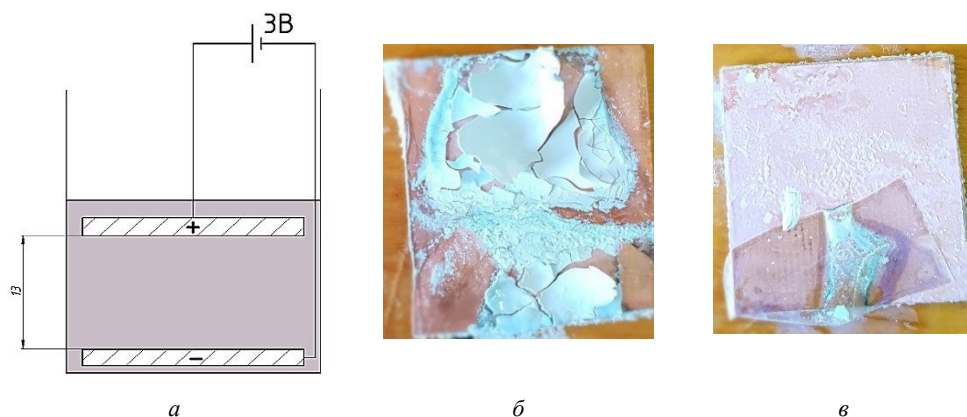
Приложенная разность потенциалов  $U$  к подложкам была равна 3 В.



**Рис. 3.** Схема установки (а) и результаты осаждения на вертикально расположенные анодную (б) и катодную (в) подложки

В ходе экспериментов было отмечено, что частицы интенсивнее всего осаждались на анодную подложку.





**Рис. 4.** Схема установки (а) и результаты осаждения на горизонтально расположенные анодную (б) и катодную (в) подложки

Расчет скорости осаждения для данных случаев по (1) при  $r = 98,6 \cdot 10^{-9}$  м,  $\mu = 10^{-2}$  Па·с,  $\rho = 2650$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_0 = 880$  кг/м<sup>3</sup> ожидаемо продемонстрировал более быстрое формирование структуры в случае горизонтального расположения подложек. Скорость при вертикальном расположении подложек (на которое оказывали влияние только электрические силы) составила

$$v = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м/с,}$$

а при горизонтальном расположении подложек

$$v = (1,987 \cdot 10^{-6} - 3,75 \cdot 10^{-9}) = 1,983 \cdot 10^{-6} \text{ м/с.}$$

Можно заметить, что слагаемое скорости от сил электрического поля на 3 порядка больше, чем от неэлектрических сил, и для оценочных расчетов вторым слагаемым можно пренебречь.

**Заключение.** Осаждение частиц на анодную подложку в ходе двух экспериментов доказывает, что частицы кремнезема несут отрицательный заряд. Происходит это из-за того, что каждая частица окружена двойным электрическим слоем, состоящим из потенциалопределяющих ионов.

Следует отметить, что силы тяжести в условиях электрофореза играют малую роль, и это подтверждает эксперимент с горизонтальным расположением подложек. Если бы осаждение происходило преимущественно под действием сил тяжести, то пленка формировалась на катодной подложке; обратный результат говорит о том, что в осаждении при помощи электрофореза основную роль играют силы электрического поля.

Также можно наблюдать, что образовавшиеся пленки не обладают иризацией, что свидетельствует о недостаточно равномерном осаждении частиц кремнезема в использованных в эксперименте условиях электрофореза. Для получения однородных по размерам частиц слоев опаловой матрицы в дальнейшем следует проводить эксперименты с меньшей скоростью протекания процесса.

## Литература

- [1] Гольдштрах М.А. *Газочувствительные свойства тонких пленок металлокомплексов этиопорфирина-II*. Автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02. Москва, 2006. 24 с.
- [2] Григорьев Ф.И. *Осаждение тонких пленок их низкотемпературной плазмы и ионных пучков в технологии микроэлектроники*: учеб. пособие. Москва, 2006. 36 с.
- [3] Максимов А.И. *Газочувствительные полупроводниковые нанокompозиты на основе диоксида олова, сформированные золь-гель технологиями*: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.10. СПб, 2005. 158 с.
- [4] Рябцев С.В., Чувенкова О.А., Попов А.Е., Чернышев Ф.М., Рябцева Н.С., Домашевская Э.П. Механизмы окисления тонких металлических пленок олова. *Конденсированные среды и межфазные границы*, 2012, т. 14, № 3, с. 328–333.

## Investigation of the Effect of Electrophoresis on the Formation of Colloidal Silica Films

©   Dubanov V.A.	vlad.dyubanov@yandex.ru
Ezenkova D.A.	dasha.ezenkova@mail.ru
Mozer K.V.	dog_tegr@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The paper is concerned with theoretical and experimental studies of the formation of colloidal films of silica under conditions of electrophoresis. The results are given about the experiments on the deposition of colloidal solution of silica under conditions of electrophoresis, depending on the orientation of substrates in the space. Conclusions are drawn on the results of the experimental study.*

**Keywords:** *opaline matrix, electrolysis, sedimentation, substrate orientation, implementation material.*

УДК 621.8.024.6

## Разработка оборудования для формирования коллоидных пленок

©   Кулешова Вера Леонидовна
Жуков Роман Михайлович

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Работа посвящена актуальной теме формирования пленок искусственного опала. Наиболее рациональным способом изготовления таких структур является вертикальное вытягивание подложки из коллоидного раствора частиц кремнезема, полиметилметакрилата или полистирола. Способ позволяет формировать пленки достаточно большой площади равномерной толщины с заданным рельефом*

поверхности. Предложены способы повышения качества формируемых пленок путем использования, специально разработанного стенда.

**Ключевые слова:** искусственный опал, кремнезем, тонкие пленки.

На начальных этапах развития технологии изготовления искусственного опала основное внимание уделялось формированию из него фотоннокристаллических 3D-образцов и инвертированных структур. Однако в последующем стало понятно, что не меньший интерес представляют собой пленочные слои, которые после последующего формирования на их поверхности различных тонкопленочных структур можно использовать в оптике, сенсорике, лазерной технике и ряде других областей.

Для создания подобных устройств необходимо обеспечить воспроизводимое получение двумерного слоя искусственного опала на поверхности подложки достаточно большой площади. Поскольку для ряда перечисленных выше устройств опаловая матрица играет роль рельефообразующей подложки, желательно иметь возможность варьирования параметрами рельефа. Для решения этих задач был разработан специальный стенд (рис. 1), позволяющий получать опаловые пленки способом вертикального вытягивания подложки из частиц кремнезема, полиметилметакрилата или полистрола [1–3]. К конструкции стенда предъявлялись следующие требования:

- возможность варьировать скорость вытягивания в интервале от 0,5 до 3 мм/мин;
- возможность регулировать скорость вытягивания;
- компактность конструкции;
- наличие системы виброзащиты, минимизирующей внешние воздействия на систему.

Основные части стенда — это редуктор (рис. 2), система регулировки скорости вытягивания (рис. 3) и система виброзащиты (рис. 4).

Корпус редуктора представляет собой три пластины 3, выполненные из оргстекла и соединенные между собой шпильками 2, расположенными в трубках.

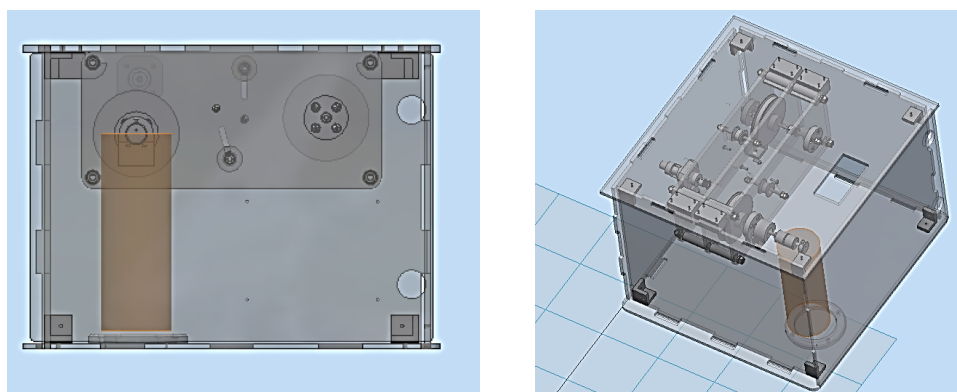


Рис. 1. Общий вид стенда

Движение задается от мотор-редуктора 8, который закреплен в стакане 7. На выходном вале мотор-редуктора через втулку крепится малое колесо. Через ремень вращение передается на большое колесо 1. Натяжение ремня осуществляется с помощью вала подтяжки, на котором в жестком корпусе установлены подшипники 6.

Натяжение вала осуществляется через дополнительные винты 9. Выходное колесо 5 находится на одном валу с большим колесом. Все детали редуктора, за исключением переходной втулки и выходного колеса, изготовлены методом 3D-печати.

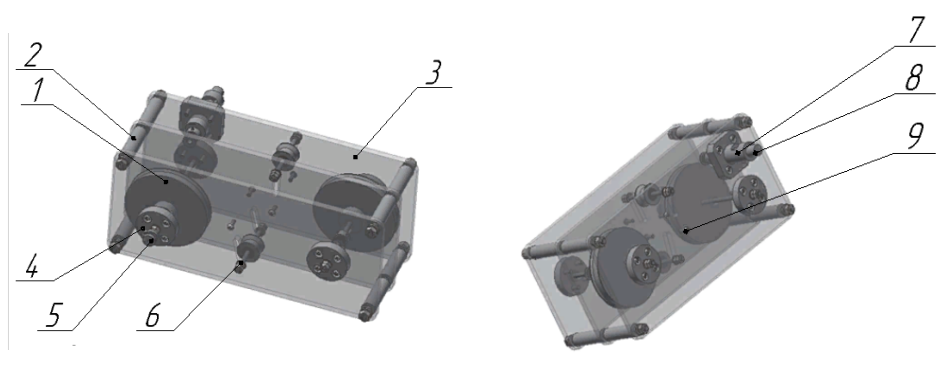


Рис. 2. 3-D модель конструкции редуктора

Система регулировки скорости вытягивания необходима для изменения параметров формирования опаловых пленок. На выходном валу редуктора размещается энкодер, соединяемый с микроконтроллером. Значение скорости на выходном валу считывается и передается на персональный компьютер (см. рис. 3). В случае несоответствия скорости вращения требуемому значению происходит изменение значения питающего напряжения, передаваемого на двигатель редуктора. Регулировка значения питающего напряжения осуществляется с помощью ШИМ-закона от микроконтроллера на двигатель через драйвер.

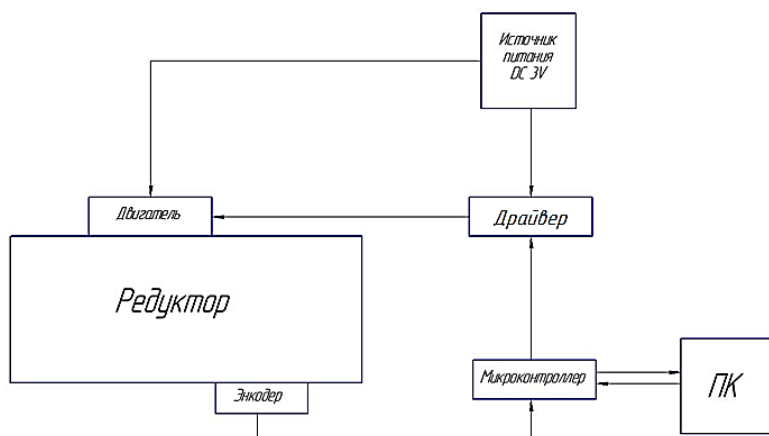


Рис. 3. Схема системы регулировки

Чтобы обеспечить защиту стенда от вибраций, была разработана система виброзащиты (см. рис. 4) состоящая из короба 1, двух слоев пенополиуритана 2, 4 и массивной пластины 3.

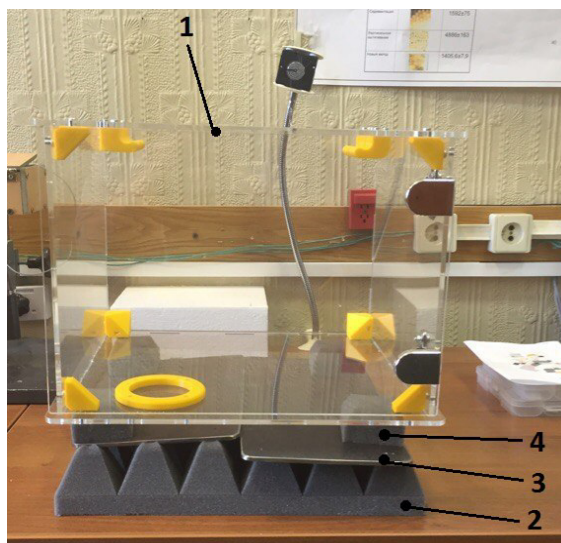


Рис. 4. Общий вид виброизолирующей системы

Разработанный стенд позволяет получать образцы пленок из коллоидного раствора со скоростью от 1,5 до 3 мм/мин. В дальнейшем стенд будет использоваться для решения научно-исследовательских задач и в учебном процессе при выполнении лабораторных работ.

#### Литература

- [1] Баженов А.В., Волков В.Т., Грузинцев А.Н., Емельченко Г.А., Масалов В.М. *Ультрафиолетовый лазер на основе двумерного фотонного кристалла*. Пат. № 2378750 РФ. МПК H01S 3/08. Заявл. 10.07.2008. Оpubл. 10.01.2010. Патент России №2378750. 2009. / Баженов А.В. и др.
- [2] Вальднер В.О., Шерстюк Н.Э., Семин С.В., Мишина Е.Д. *Устройство оптической антенны для оптических интегральных схем (варианты) и оптическая (фотонная) интегральная схема (варианты)*. Пат. № 2379629 РФ. МПК B82B 1/0, МПК G01C 3/30. Заявл. 07.06.2008. Оpubл. 20.01.2010.
- [3] Доброносова А.А., Панфилова Е.В. Исследование образцов опаловых пленок со сформированным на них массивом наночастиц. *Вакуумная техника, материалы и технология. Матер. XI Междунар. науч.-техн. конф.* Москва, 2016, с. 152–157.

## Development of Equipment for the Formation of Colloidal Films

© | Kuleshova V.L.  
Zhukov R.M.

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The work is devoted to the actual topic of the formation of artificial opal films. The most rational way of forming such structures is vertical stretching of the substrate from a colloidal solution of silica particles, polymethylmethacrylate or polystyrene. The method makes it possible to form*



Таким образом, применение гибко-жестких печатных плат с полиимидом в качестве базового материала предоставляет значительные технологические и эксплуатационные преимущества, но вынуждает изменять или создавать новые технологические процессы.

Одним из основных этапов производства двусторонних или многослойных ПП является металлизация отверстий. Цель данной работы — исследовать возможность прямой металлизации отверстий в ГЖПП, расположенных в области соединения гибкого полиимидного участка с жестким участком из стеклотекстолита (рис. 1).

Технология изготовления образца МПП представлена на рис. 2.

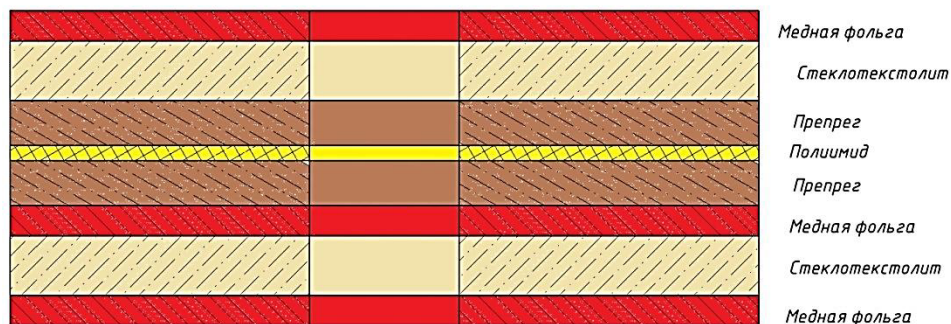


Рис. 1. Структура многослойной печатной платы с полиимидным слоем

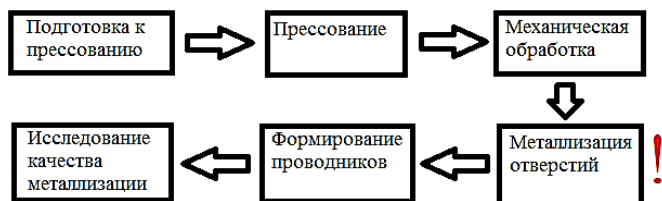


Рис. 2. Процесс изготовления образцов

Операции металлизации опытных образцов следующие [4]:

1. Очистка и кондиционирование (DS270; pH = 9).
2. Активация (DS500; 7 минут; pH = 0).
3. Стабилизация (DS650; 5 минут; pH = 12).
4. Декапирование (DS800; 15 с; pH = 0).
5. Гальваническое меднение (сернокислый электролит; плотность тока 1,5 А/дм<sup>2</sup>, 15 мин; pH = 1).
6. Промывка и сушка.

Значения pH технологических растворов установлены в ходе проведения эксперимента посредством кислотно-щелочных индикаторов из лакмусовой бумаги.

Особое внимание следует уделить этапам, предполагающим обработку в нагретых растворах с щелочной средой, так как данные условия вызывают гидролиз полиимида [1]. Из двух растворов, имеющих щелочную среду, в эксперименте нагревается только раствор очистки и кондиционирования DS270, который поставляется фирмой Bungard (Германия).



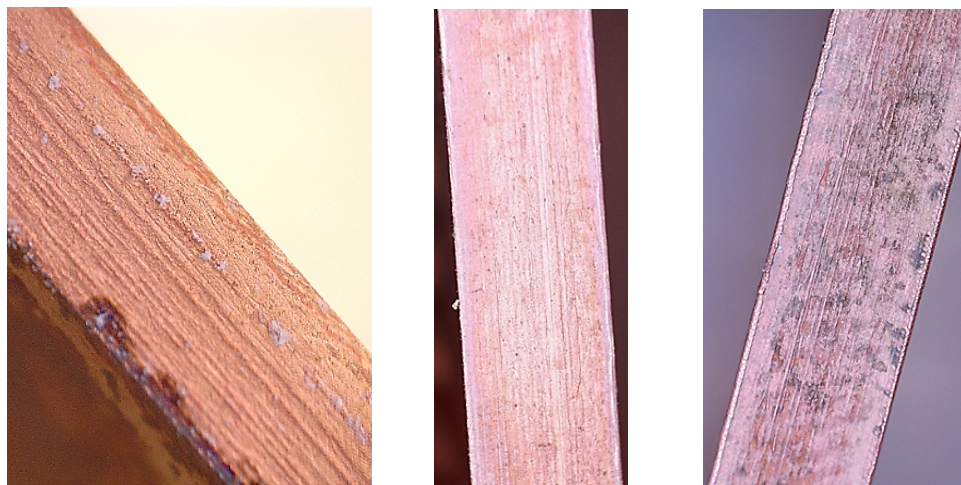
Образец МПП был разделен на три одинаковые части, для каждой из которых были выбраны индивидуальные режимы очистки и кондиционирования, указанные в табл. 2.

Таблица 2

Режимы очистки и кондиционирования образцов

Номер образца	Длительность обработки, мин	Температура обработки, °С
1	12	50
2	2	50
3	3	21

Качество металлизации оценивалось визуально с помощью USB-микроскопа Levenhuk DTX 90 (рис. 3). Результаты, полученные при оценке поверхностей торцов образцов, распространяются и на поверхности отверстий.



Образец № 1

Образец № 2

Образец № 3

Рис. 3. Металлизация торцов различных образцов

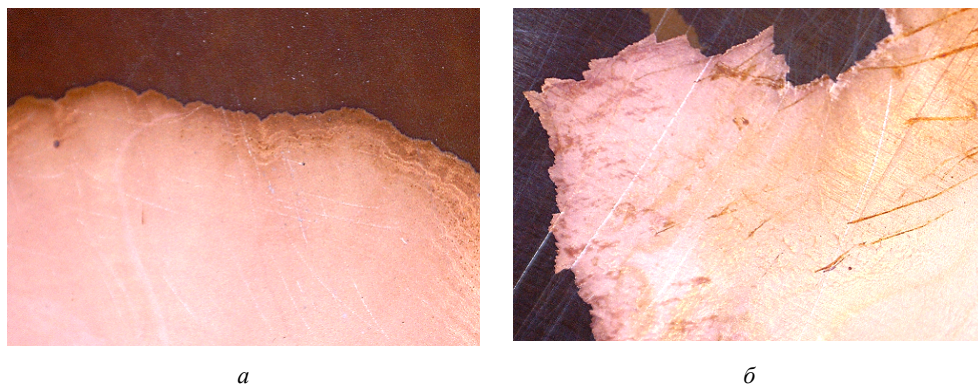
Сплошная металлизация наблюдается только на торце образца № 2 (см. рис. 3). На торце образца № 1 в области расположения полиимидного слоя, определяются локальные выступания эпоксидной смолы над слоем меди по всему периметру образца. Вероятная причина — длительное пребывание в подогретой щелочной среде. На торце образца № 3 по всей площади обнаруживаются значительные участки непокрития стеклотекстолита. Вероятная причина этого — недостаточная очистка вследствие отсутствия нагрева кондиционера до нужной температуры и малое время обработки.

Можно заключить, что при металлизации МПП с полиимидным слоем (слоями) режимы очистки и кондиционирования необходимо выбирать таким образом, чтобы не происходили гидролиз полиимида и возможные реакции с участием акрила (в ряде марок полиимида играет роль адгезионного подслоя), но, в то же время, чтобы



очистка и подготовка поверхности успевали пройти полностью. Также стоит отметить, что при подготовке поверхности заготовки ГЖПП к металлизации целесообразно заменить «мокрый» процесс очистки поверхности на «сухую» обработку в плазме.

При прессовании образца МПП были оставлены свободными небольшие участки трех типов полиимидов, имеющих разную шероховатость. При визуальном анализе была обнаружена зависимость между качеством металлизации и шероховатостью поверхности полиимида (рис. 4).



**Рис. 4.** Форма границ фронта роста меди на полиимиде:

*a* — высокая шероховатость поверхности; *б* — низкая шероховатость поверхности

Участок с наибольшей шероховатостью покрылся наиболее полно, а граница гальванической меди плавная, без острых углов и выступов (см. рис. 4, *a*). Наименее шероховатый полиимид покрылся медью хуже всего, при этом граница покрытия представляет собой совокупность остроугольных выступов (см. рис. 4, *б*). Предположительно, шероховатость поверхности прямо пропорциональна качеству активации, необходимой для формирования токопроводящего слоя, что, в свою очередь, определяет качество и полноту металлизации.

#### Литература

- [1] *Технология пластических масс*. Под ред. В.В. Коршака. 3 изд. Москва, Химия, 1985, 560 с.
- [2] *Технологии в производстве электроники*. Ч. III. Гибкие печатные платы / Под общ. ред. А.М. Медведева, Г.В. Мылова. Москва, Группа ИДТ, 2008, 488 с.
- [3] Медведев А., Можаров В., Мылов Г. Печатные платы электрические свойства базовых материалов. *Печатный монтаж*, 2011, № 6, с. 150–157.
- [4] Медведев А.М. *Печатные платы. Конструкции и материалы*. Москва, Техносфера, 2005, 304 с.

## Direct metallization of rigid flexible printed circuit boards

© Melnik M.A.  
Zikiy E.V.  
Bobrova Y.S.

ma\_melnik97@mail.ru  
z.e.v.1997.06.03@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*There was substantiated the task of changing the existing and creating of the new technological processes for metallization of printed circuit boards with polyimide layers. There was considered the process of their metallization and named the reasons which can lead to defect. There was suggested that the quality of metalized polyimide can depend on the roughness of its surface.*

**Keywords:** polyimide, multilayer printed circuit boards, direct metallization, purification and conditioning, DS270.

УДК 543.271; 533.5.08

## Оценка погрешности поддержания положения платформы активной виброизоляции на основе магнитореологических эластомеров

© Ротарь Анастасия Павловна  
Иванова Дарья Александровна  
Николенко Вероника Александровна  
Смирнова Ксения Сергеевна  
Базиненков Алексей Михайлович

anastasia.rotari15@gmail.com  
dar7906830.ivanova@yandex.ru  
veronika.nikolenko@yandex.ru

МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Функционирование современного нанотехнологического и исследовательского оборудования сопряжено с применением систем виброизоляции. В последнее время активно используются системы на основе композитных материалов, магнитореологических эластомеров, которые позволяют совмещать в устройстве функции активной, полупассивной и пассивной виброизоляции. В работе представлены исследования погрешности поддержания положения платформы виброизоляции на основе магнитореологических эластомеров. Погрешность связана с неизбежной неравномерностью свойств эластомеров актюаторов платформы и приводит к отклонению платформы от горизонтального положения при ее перемещении. Проведена оценка данной погрешности методом контурных оценок и рассчитаны коэффициенты корреляции перемещений актюаторов для разработки корректирующих сигналов управления платформой.*

**Ключевые слова:** виброизоляция, магнитореологический эластомер, погрешность позиционирования, метод контурных оценок, коэффициент корреляции, управляющий сигнал.

Для ультра-прецизионных технологических процессов, таких как нанолитография, прецизионная металлообработка, юстировка оптоволоконных систем и других, необходимо обеспечить виброизоляцию на частотах вибраций в широком диапазоне от 0,5 до 100 Гц при амплитудах вибраций до 200 мкм. Для защиты оборудования от вибраций наиболее эффективным методом считается виброизоляция, которая делится на пассивную, полупассивную и активную.

Магнитореологические (МР) и электрореологические (ЭР) жидкости и эластомеры относятся к типу умных материалов, которые способны менять свои свойства под действием внешних магнитных и электрических полей соответственно. Использование подобных материалов в системах точного позиционирования и виброизоляции позволяет повышать их точность и быстродействие [1, 2].

Назначением исследуемой платформы является уменьшение колебаний, вызванных внешними возмущениями [2]. Она способна работать во всех трех режимах виброизоляции, активном, полупассивном и пассивном.

Пассивная виброизоляция обеспечивается системой с квазиулевой жесткостью (СКНЖ) [3] — это система грузов, рычагов и пружинных элементов, предназначенная для уменьшения перегрузки от массы объекта, передаваемой на платформу и ее актюаторы. Элементы системы поддерживают платформу в четырех точках симметрично относительно центра подвижной платформы.

Активная и полупассивная виброизоляция обеспечивается четырьмя актюаторами (далее МР-демпферы), расположенными симметрично относительно центра платформы и управляемыми катушками индуктивности [2]; МР-эластомер способен изменять свои свойства под действием магнитного поля.

На основании платформы закреплено четыре актюатора с одним эластомером и одной управляющей катушкой индуктивности в каждом элементе соответственно [2].

Каждый из актюаторов может управляться независимо электрическим током, передаваемым на катушку индуктивности. Эластомеры, устанавливаемые на МР демпферы, даже в пределах одной партии могут иметь отличные друг от друга характеристики, поскольку равномерность распределения металлических частиц в матрице трудно поддается контролю. Таким образом, целью исследования является изучение погрешности положения платформы, связанной с различием свойств эластомера, т. е. отклонения подвижной пластины от параллельности горизонтальной плоскости.

В результате исследований максимальное отклонение перемещения относительно базовой кривой перемещений составило 1110 мкм, что является недопустимым для данного механизма, соответственно требуется корректировка значений управляющих сигналов для каждого демпфера.

Оценка погрешности измерений проводилась методом контурных оценок [4]. При обработке результатов измерений определено необходимое количество параллельных наблюдений положения актюатора в каждом эксперименте, которое составило 30 наблюдений при среднем квадратическом отклонении результатов измерений не более 0,1 мкм. Проверка распределения результатов наблюдений по критерию Пирсона доказала его соответствие нормальному закону. Метод контурных оценок показал, что максимальная случайная погрешность измерений не превышает 0,5 мкм, что позволяет говорить о достаточно высокой точности проведенных измерений и достоверности полученных результатов перемещений платформы для активной виброизоляции.

**Выводы.** Максимальное отклонение перемещения МР демпферов платформы активной виброизоляции на основе МР эластомеров от принятого базового значения

составило 1110 мкм. Данное отклонение связано с неравномерностью свойств эластомеров разных демпферов из-за особенностей технологии их изготовления.

Анализ погрешностей измерений методом контурных оценок при равномерном распределении случайной величины показал высокую точность проведенных измерений, что подтверждает высокую достоверность результатов.

### Литература

- [1] Михайлов В.П., Базиненков А.М., Акимов И.Ю. Системы активной виброизоляции реологического типа. *Высокие технологии в промышленности России. Матер. XIII Междунар. науч.-технич. конф.* Москва, 2007, с. 150–158.
- [2] Mikhailov V.P., Bazinenkov A.M. A Vibration-Control Platform on the Basis of Magnetorheological Elastomers. *Instruments and Experimental Techniques*, 2016, vol. 59, no. 1, pp. 131–135.
- [3] Алабужев П.М., Гритчин А.А., Ким Л.И., Мигиренко Г.С., Хон В.Ф., Степанов П.Т. *Виброзащитные системы с квазиулеевой жесткостью*. Ленинград, Машиностроение, 1986, 96 с.
- [4] Левин С.Ф. Об основаниях теории измерительных задач: [Электронный ресурс] URL: [http://pribory-si.ru/publication/index.php?ELEMENT\\_ID=5119](http://pribory-si.ru/publication/index.php?ELEMENT_ID=5119) (дата обращения 18.06.2017).

## Positioning Error Research of the Active Vibration Control Platform Based on Magnetorheological Elastomers

© Rotari A.P.  
Ivanova D.A.  
Nikolenko V.A.  
Smirnova K.S.  
Bazinenkov A.M.

anastasia.rotari15@gmail.com  
dar7906830.ivanova@yandex.ru  
veronika.nikolenko@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*A modern nanotechnology and research equipment operation is associated with using of vibration control systems. Recently, a magnetorheological elastomers systems is actively used. This devices works as active, semi-active and passive vibration isolation system. The paper presents research of the positioning error of the vibration isolation platform based on magnetorheological elastomers. Each platform actuator elastomer has different properties. This lead to platform deviation from the horizontal plane when it is moved. The measurements of platform position error was estimated by the outline estimations method. The correlation coefficients of the different actuators movements is calculated.*

**Keywords:** vibration control, magneticoreological elastomer, positioning error, outline estimations method, correlation coefficient, control signal.

УДК 621.793.02, 621.793.06, 621.793.71

## Применение комбинированной магнетронной распылительной системы с ионным ассистированием для нанесения тонких пленок

© Ласен Халиль  
Малеванная Елизавета Ильинична  
Моисеев Константин Михайлович

lacene.khalil@gmail.com  
el.malevan@gmail.com  
mkm430@yandex.ru

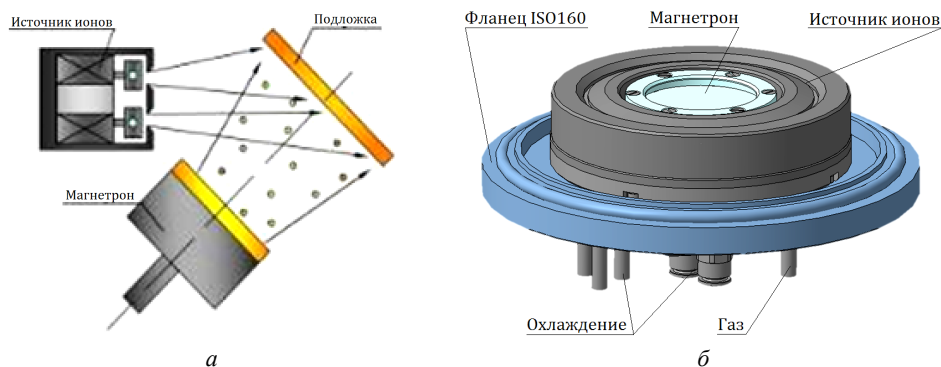
МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрена комбинированная магнетронная распылительная система с ионным ассистированием. Описана конструкция технологического источника и перспективы его применения для формирования тонкопленочных покрытий с высокими выходными характеристиками.*

**Ключевые слова:** комбинированный технологический источник, магнетронное распыление, ионное ассистирование.

**Введение.** Одним из способов изменения свойств покрытия при их формировании методом магнетронного распыления является ионное ассистирование [1]. Данная методика заключается в бомбардировке поверхности подложки и формируемого покрытия параллельно с процессом нанесения пленки. Соотношение мощностей при распылении мишени и ионной обработке поверхности подложки позволяет либо ускорять частицы осаждаемого материала, либо уплотнять поверхностный слой осаждаемого покрытия, либо сразу же внедрять частицы материала в газообразном состоянии для изменения свойств покрытия. Варьирование скоростей осаждения и интенсивности ионной бомбардировки позволяет изменять свойства покрытия в широком диапазоне [2].

На практике способ реализуется путем монтажа (под углом к магнетрону) источника ионов, которым осуществляется ассистирование (рис. 1, а) [3].



**Рис. 1.** Метод магнетронного распыления с ионным ассистированием: а — расположение источника ионов под углом к магнетрону; б — комбинированная магнетронная распылительная система с ионным ассистированием

Одним из недостатков такого расположения технологических источников относительно друг друга является неравномерность интенсивности ионной обработки вследствие движения частиц под углом к обрабатываемой поверхности и, как следствие, разного расстояния от источника до подложки для разных участков поверхности. Этот недостаток может быть устранен путем применения комбинированной магнетронной распылительной системы с ионным ассистированием (КМРСИА).

Цель работы — изучить конструкцию КМРСИА, а также монтаж системы на лабораторной установке и первичный запуск для проверки работоспособности источника.

Комбинированная система, рассматриваемая в данной статье, спроектирована и изготовлена в НИИ «Точного машиностроения». Особенность данной системы заключается в совмещении магнетрона с источником ионов кольцевого типа в одной конструкции (рис. 1, б). При этом магнетрон располагается в центральной части, а кольцевая щель источника — вокруг мишени.

**Монтаж и первый запуск КМРСИА.** Монтаж системы проведен на установке ВУП-11М в лаборатории кафедры «Электронные технологии в машиностроении». Для установки КМРСИА на вакуумной камере изготовлен фланец-переходник с ISO320 на ISO160.

При первом запуске источника выявлена проблема горения плазмы на прижимном кольце мишени. Результаты моделирования существующей лучевой магнитной системы и кольцевой, которая используется в подобных магнетронных распылительных системах, показали, что использование кольцевой системы позволит сузить зону распыления плазмы [4]. Подобная система была установлена в корпус магнетрона и запущена в действие.

Также при первом запуске магнетрона обнаружена нестабильность горения плазмы источника ионов в виде искрения и наличия микродуг, что связано с нахождением мелкой металлической стружки в кольцевой щели источника ионов. Источник был разобран и почищен, и после запуска нестабильность была устранена.

**Выводы и результаты.** Комбинированная магнетронная распылительная система с ионным ассистированием позволяет проводить обработку подложки с одинаковой интенсивностью потока заряженных частиц, в отличие от систем, где источник ионов располагается под углом к магнетрону.

Замена магнитной системы с лучевой на кольцевую позволила уменьшить зону горения плазмы.

**Заключение.** В дальнейшем планируется определить режимы стабильной работы КМРСИА для отработки технологии формирования тонкопленочных покрытий с ионным ассистированием для последующего исследования их свойств.

## Литература

- [1] Colingson J.S. Ion-assisted sputter deposition. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 2004, pp. 103–116.
- [2] Targove J.D. *The ion-assisted deposition of optical thin films: a dissert. for the degree of doctor of philosophy.* The University of Arizona, 1987, 194 p.
- [3] Zhurin V.V. *Industrial Ion Sources: Broadbeam Gridless Ion Source Technology.* Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012, 326 с.
- [4] Макарова М.В., Бабурин А.С. Измерение и моделирование магнитного поля магнитной системы жидкофазного магнетрона НМСА-50. *Матер. конф. «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»*, 2015, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. [Электрон. ресурс] URL: studvesna.ru?go=articles&id=1237 (дата обращения 28.06.2017).

## Using of Combined Magnetron Sputtering System with Ion Assisting for Thin Films Forming

© | Lasen K.  
Malevannaya E.I.  
Moiseev K.M.

lacene.khalil@gmail.com  
el.malevan@gmail.com  
mkm430@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Combined magnetron sputtering system with ion assisting is considered in this article. Construction of technological source and perspectives of its application for forming process of thin film coatings with high output properties are described.*

**Keywords:** *combined technological source, magnetron sputtering, ion assisting.*

УДК 621.793

## Моделирование магнитных систем магнетронов с использованием САПР COMSOL

© | Матанин Алексей Романович  
Храмова Анна Александровна  
Васильев Денис Дмитриевич  
Моисеев Константин Михайлович

alexei\_matanin@mail.ru  
annakhramova3@gmail.com  
d.d.vasiliev@ya.ru  
mkm430@ya.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрена САПР COMSOL, позволяющая моделировать магнитное поле при разработке магнетронных распылительных систем. Описаны основные возможности данной системы проектирования. Показано ее применение при разработке магнитной системы с двумя областями плазмы. Проведен сравнительный анализ результатов экспериментальных и полученных в результате моделирования.*

**Ключевые слова:** *магнетронное распыление, моделирование, магнитная система.*

Для проведения процесса жидкофазного магнетронного распыления необходимо обеспечить мощность разряда, достаточную для начала плавления мишени. На мощность разряда влияют такие параметры, как давление рабочего газа, напряжение и значение магнитной индукции над поверхностью мишени [1, 2]. Первые два параметра определяются техническими возможностями установки, третий же параметр зависит от конструкции магнитной системы. Поэтому одним из ключевых этапов при проектировании магнетронной распылительной системы с жидкой мишенью является разработка магнитной системы. Для уменьшения затрат времени и средств при разработке магнитных систем с требуемой конфигурацией магнитного поля и значением магнитной индукции над поверхностью мишени целесообразно применять компьютерное моделирование. В нашем случае моделирование приме-

нено для создания двух областей плазмы при магнетронном распылении, был использован программный продукт COMSOL Multiphysics 5.2. Данное программное обеспечение позволяет [3]:

- импортировать модели из различных САПР;
- выбирать необходимую модель физического процесса;
- задавать характеристики материалов;
- задавать физические параметры для конкретных объектов;
- проводить анализ полученной модели.

Магнитная система магнетрона НМСА-52М состоит из помещенных в его корпус центрального и кольцевого магнитов (рис. 1).

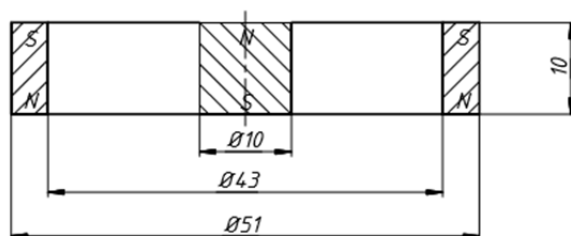


Рис. 1. Магнитная система магнетрона НМСА-52М

Проведено измерение тангенциальной составляющей магнитного поля магнитной системы магнетрона НМСА-52 с помощью миллитесламетра ТП2-2У на расстояниях от 0 до 25 мм с шагом 5 мм от оси магнетрона и на высотах относительно поверхности магнетрона от 0 до 7 мм (рис. 2, а). Данная магнитная система смоделирована и рассчитана методом конечных элементов с помощью САПР COMSOL (рис. 2, б).

Погрешность измерений магнитной индукции миллитесламетром и результатов, полученных при моделировании в САПР COMSOL, не превышает 30 %.

Для дальнейших исследований разработана магнитная система с двумя областями плазмы (рис. 3). Для этого применена САПР COMSOL, в которой осуществляли моделирование магнитной системы с последующей корректировкой ее конфигурации с целью получения требуемого распределения магнитного поля над поверхностью магнетрона.

Для магнитной системы с двумя областями плазмы проведено сравнение реального распределения магнитного поля, полученного с помощью металлических опилок (рис. 4, а), и распределения, полученного в результате моделирования в САПР COMSOL (рис. 4, б).

Разработанная магнитная система обладает двумя областями плазмы, что характеризуется наличием двух областей, где линии магнитного поля параллельны поверхности магнетрона. Из картин распределения поля следует, что полученное в результате моделирования распределение магнитного поля над поверхностью магнетрона близко к реальному распределению магнитного поля.



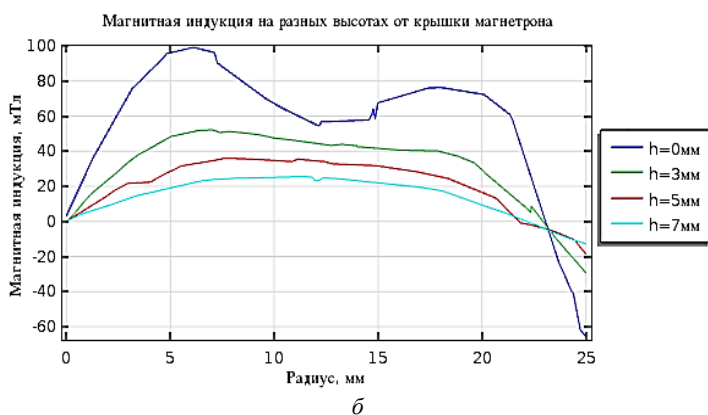
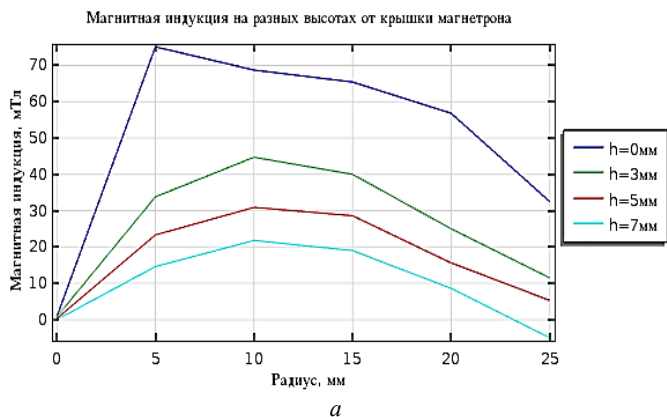


Рис. 2. Графики зависимости тангенциальной составляющей индукции магнитного поля от расстояния до центра магнетрона НМСА-52, измененные милитесламетром (а) и при моделировании в САПР COMSOL (б)

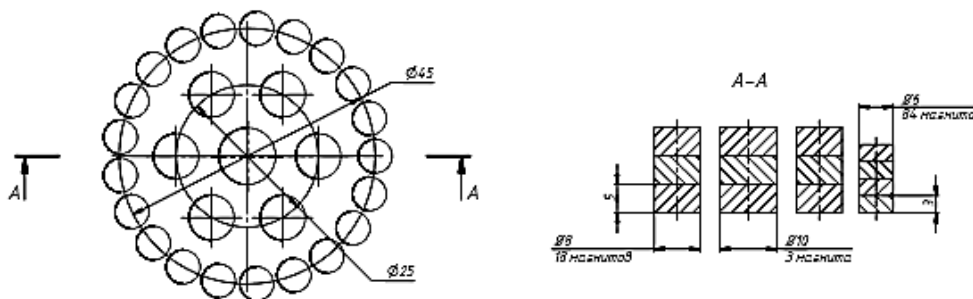
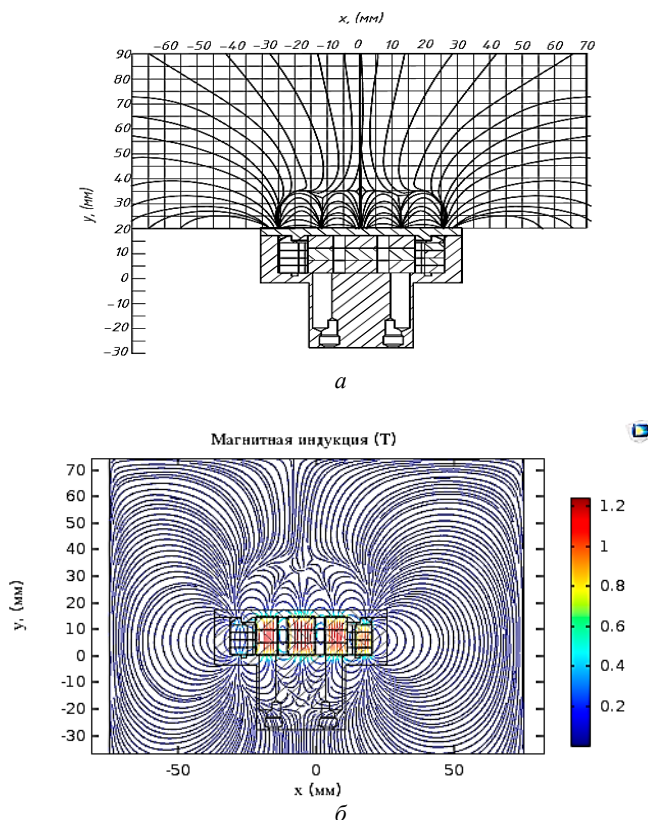


Рис. 3. Магнитная система с двумя областями плазмы



**Рис. 4.** Распределение магнитного поля магнитной системы с двумя областями плазмы: *а* — измерение металлическими опилками; *б* — результаты моделирования в САПР COMSOL

**Заключение.** Для уменьшения затрат времени и средств при разработке магнитных систем магнетронных распылительных систем целесообразно применять компьютерное моделирование. В качестве САПР для этой цели можно использовать программу COMSOL. В нашем случае погрешность значений, полученных при моделировании с помощью данного программного обеспечения, не превысила 30 %, а распределение магнитного поля, полученное в результате моделирования, близко к реальному.

### Литература

- [1] Тумаркин А.В. и др. Магнетронный разряд с расплавленным катодом. *Успехи прикладной физики*, 2013, т. 1, № 3, с. 276–282.
- [2] Духопельников Д.В., Булычев В.С., Воробьев Е.В. Магнетронный разряд с жидкофазным катодом. — «Вакуумная техника, материалы и технология». Матер. XI Междунар. науч.-технич. конф. Москва, Новелла, 2016, с. 108–112.
- [3] Обзор версии COMSOL Multiphysics 5.2 [Электрон. ресурс] URL: <http://www.comsol.ru/release/5.2a> (дата обращения 15.06.2017).

## Modeling of Magnetron's Magnetic Systems by Using CAD COMSOL

© | Matanin A.R.  
Khramova A.A.  
Vasilev D.D.  
Moiseev K.M.

alexei\_matanin@mail.ru  
annakhramova3@gmail.com  
d.d.vasiliev@ya.ru  
mkm430@ya.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In this article CAD COMSOL has been investigated, which allows to conduct magnetic field modeling at design magnetron sputtering system. The basic opportunities of this program have been described. Applying of this CAD in development of magnetic system with two plasma areas has been shown. Comparison analysis of results, received by modeling, with results, received by experiments has been conducted.*

**Keywords:** magnetron sputtering, modeling, magnetic system.

УДК 539.211, 533.599

## Получение тонких пленок AlN различной структуры методами вакуумного осаждения

© | Пронин Михаил Александрович  
Сидорова Светлана Владимировна  
Панфилов Юрий Васильевич

mr.mikle2207@mail.ru  
sidorova\_bmstu@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Проведен анализ методов получения покрытий AlN. Рассмотрено оборудование, позволяющее получить эти покрытия магнетронным методом осаждения пленок. Проведен анализ вариантов конструкций рабочей вакуумной камеры для установки УВН-1М. Представлены результаты «виртуального эксперимента» по формированию пленок AlN различной структуры в зависимости от параметров режима нанесения. Определена зависимость влияния скорости осаждения пленки и температуры подложки на структуру покрытия.*

**Ключевые слова:** нитрид алюминия, установка вакуумного напыления, магнетронное распыление, магнетрон, вакуумная камера, виртуальный эксперимент.

**Введение.** Основным материалом для изготовления различных полупроводниковых устройств в настоящее время является кремний. Однако современные приборы предъявляют качественно новые требования к характеристикам полупроводников, которые будут превосходить свойства кремния: необходимы материалы с большой шириной энергетической зоны и степенью подвижности зарядов выше, чем у кремния. Такими полупроводниковым материалом является нитрид алюминия. Этот состав имеет большую теплопроводность (для гексагональной структуры значение

стремится к теоретическим 320 Вт/(м · К)) и достаточный коэффициент диэлектрической проницаемости ( $\epsilon \approx 10$ ), высокую температурную и химическую стойкость, а также является пьезоэлектриком со скоростью продольной акустической волны  $\sim 11000$  м/с [1].

Нитрид алюминия (AlN) является одним из самых широкозонных полупроводников, что позволяет использовать его в качестве материала светодиодов для фиолетовой и ультрафиолетовой областей спектра, также он относится к уникальным материалам с отрицательным электронным средством, т. е. процесс эмиссии электронов в вакуум с его поверхности не ограничен потенциальным барьером, что позволяет использовать AlN как холодный катод в вакуумных и газоразрядных устройствах.

**Виртуальный эксперимент.** Нитрид алюминия не встречается в природе. Существует множество методов его получения, однако для наибольшей чистоты и равномерности получаемого материала необходимо использовать методы вакуумного осаждения. Для изготовления тонких пленок AlN используют магнетронное распыление, дуговое осаждение, электронно-лучевое испарение соединения или его отдельных компонент в вакууме, термическую нитридизацию. Каждый из указанных методов имеет преимущества и недостатки.

Для различных технологических целей необходимо получать разные структуры пленок. По результатам проведенного виртуального эксперимента была построена диаграмма зависимости структуры тонких пленок AlN от режимов нанесения различными методами (рис. 1).

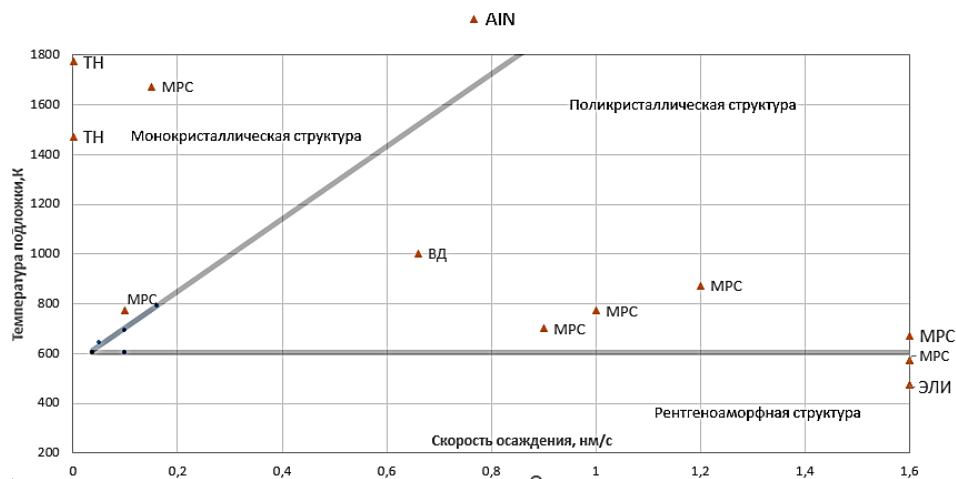


Рис. 1. Зависимость структуры тонких пленок AlN от режимов нанесения для разных методов

В зависимости от вида подложек и их кристаллографической ориентации можно получать как поликристаллические, так и монокристаллические пленки. Необходимо знать зависимость структуры пленки от параметров технологического процесса, которыми можно варьировать непосредственно во время нанесения пленки. К таким параметрам относятся скорость осаждения пленкообразующих атомов или молекул и температура подложки. Для удобства представления влияния характеристик энергопереноса в процессе осаждения тонкой пленки на ее структуру в двухмерной системе координат «скорость нанесения пленки — температура под-

ложки» были нанесены точки, соответствующие структуре пленки нитрида алюминия при определенных характеристиках энергомассопереноса.

Поликристаллические пленки можно получать практически на любых подложках, температура плавления которых не превышает 600...700 К, при любых скоростях осаждения, что позволяет использовать весь спектр методов вакуумного осаждения тонких пленок [2].

**Модернизация лабораторного оборудования.** Наиболее доступным методом получения пленок нитрида алюминия является магнетронное распыление. На кафедре «Электронные технологии в машиностроении» в лаборатории «Элионные технологии» применяется установка УВН-1М, оборудованная модулем магнетронного распыления (рис. 2). Рабочая камера установки сделана из боросиликатного стекла, однако в ходе эксплуатации возникла необходимость модернизации камеры.



Рис. 2. Общий вид установки УВН-1М (а) и модуль магнетронного распыления (б)

Один из предложенных вариантов — создать камеру из типовых вакуумных элементов (рис. 3, а), что должно обеспечить большой внутренний объем и наличие дополнительных фланцев. Однако из-за высокой стоимости и большого веса этот вариант был отвергнут.

Следующим вариантом является применение Т-образной камеры из нержавеющей стали. Преимуществами этого варианта являются технологичность изготовления, высокая прочность, отсутствие необходимости доработки существующих модулей. Смотровое окно позволяет наблюдать за процессом нанесения (рис. 3, б). Этот вариант оказался более предпочтительным, так как стоимость такой камеры низкая, что подходит для лабораторных условий, нет необходимости в доработке технологического модуля [3].

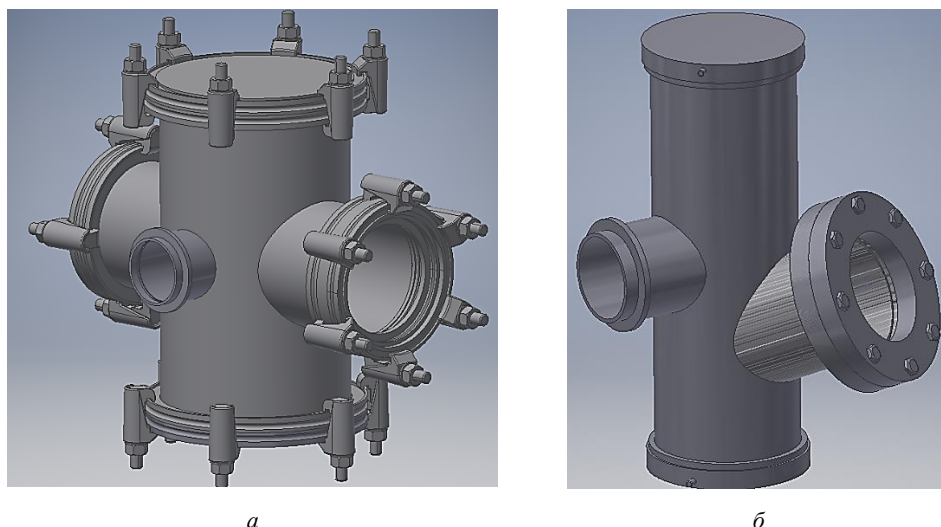


Рис. 3. Камера из типовых вакуумных элементов (а) и Т-образная камера из нержавеющей стали (б)

### Литература

- [1] Аль Карим А.М. *Структурные и оптические свойства солнечных элементов на основе пленок ZnO и AlN*. Дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.01. Сумы, 2012, 154 с.
- [2] Пронин М.А., Панфилов Ю.В. Влияние режимов нанесения на структуру тонкой пленки: метод виртуального эксперимента. *Матер. XIX НТК с уч. зарубеж. спец. «Вакуумная наука и техника»*. Москва, МГИЭМ(ТУ), 2017, с. 157–159.
- [3] Пронин М.А., Сидорова С.В. Анализ вариантов исполнения вакуумных камер для установки УВН-1М. *Матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов «Студенческая весна 2017»*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.

## Preparation of Thin AlN Films of Different Structures by Vacuum Deposition Methods

© Pronin M.A.  
Sidorova S.V.  
Panfilov Y.V.

mr.mikle2207@mail.ru  
sidorova\_bmstu@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The analysis of methods for obtaining coatings AlN. The equipment allowing to obtain AlN coatings by magnetron deposition of films is considered. The analysis of variants of designs of a working vacuum chamber for installation of UVN-1M is carried out. The results of the «virtual experiment» for the formation of AlN films of different structures are presented depending on the parameters of the application regime. The dependence of the film deposition rate and substrate temperature on the structure of the AlN coating was determined.*

**Keywords:** aluminum nitride, vacuum deposition tool, magnetron sputtering, magnetron, vacuum chamber, virtual experiment.

УДК 621.3.049.75:544.032.65

## Перспективы механической и лазерной обработки в технологии изготовления оптоэлектронных модулей

© | Сачкова Наталья Александровна  
| Хриченко Вячеслав Валериевич

sachkova.natalia.a@gmail.com  
khrichenkov.v@list.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*В работе представлены результаты экспериментов по обработке заготовок оптоэлектронных модулей различными типами лазеров и механической обработкой. Приведены основные типы дефектов, наблюдаемые при обработке различными способами. Даны рекомендации по выбору типа обработки для выполнения различных технологических операций. Приведены режимы обработки заготовок оптоэлектронных модулей ультрафиолетовым лазером.*

**Ключевые слова:** оптоэлектронные соединения в печатных платах, планарные полимерные оптические волноводы, лазерная обработка полимеров, механическая обработка полимеров, УФ-лазеры.

Потребность в увеличении пропускной способности соединений и скорости передачи данных привела к распространению оптических волноводов. Так, современные телекоммуникационные системы основываются на использовании оптоволокна в качестве линий соединения. Когда речь идет о печатных платах, для передачи оптических информационных сигналов в качестве линий связей применяют оптические волноводы. Для формирования оптических волноводов в объеме печатной платы необходимо сформировать полости шириной и глубиной 50...100 мкм для их закладки.

Среди актуальных задач также можно выделить резку заготовок и формирование площадок под установку элементов.

Целью работы является оценка степени применимости различных видов обработки (механической, лазерной обработки CO<sub>2</sub>, лазерной обработки ультрафиолетом (УФ)) в технологическом процессе изготовления оптоэлектронных модулей.

В ходе экспериментов было доказано, что механическая обработка — это приемлемый метод формирования оптоэлектронной топологии. Основными дефектами являются сколы и трещины. Тем не менее, снижения количества дефектов и шероховатости боковой поверхности можно достичь, уменьшая размеры инструмента (до 1,0...1,2 мм) и скорость его подачи. В таком случае возможно использовать механическую обработку для резки заготовок с полимерными оптическими слоями, оставляя припуск в 0,3...0,5 мм для последующего шлифования и полирования торца с выводами оптических волноводов.

Обеспечить требуемые размеры бездефектных полостей в полимере оболочки планарных оптических волноводов позволяет технология лазерной обработки, в частности, регулируемое пятно контакта лазерного луча [1]. Таким образом, варьируя режимы лазерной обработки, можно достичь требуемых размеров и желаемой шероховатости поверхности каналов.

Основными требованиями, предъявляемыми к поверхностям оптических топологических элементов, вне зависимости от способа обработки, являются низкая шероховатость (50...100 нм) и высокая чистота (V класс по ГОСТ 1114–84).



Большое значение в процессе лазерной обработки имеет отсутствие непредусмотренных технологий химических реакций, например, горения или выжигания материала, окисления или науглероживания поверхностного слоя, плавление материала вне зоны контакта.

Известно, что при использовании CO<sub>2</sub>-лазера для обработки органических поверхностей возможно нежелательное выгорание обрабатываемой поверхности [2]. Данное заключение подтвердилось в ходе экспериментов (табл. 1). Исключение возможности выгорания было достигнуто заменой применяемого лазера на более коротковолновый твердотельный лазер [3].

Эксперимент проводился на установках TROTEC, Speedy 300 (длина волны 10,6 мкм, мощность до 120 Вт) [4] и Asida, JG17R (длина волны 808 нм, мощность до 10 Вт) [5].

Заготовки, которые подверглись обработке, были выполнены из стеклотекстолита FR4 — наиболее распространенного материала оснований печатных плат, с многослойным покрытием EpoClad-EpoCore-EpoClad (Micro Resist Technology, Германия), формирующим два слоя оболочки и слой ядра планарного полимерного оптического волновода.

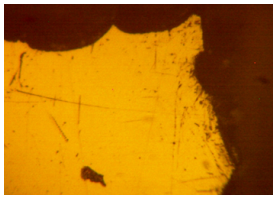
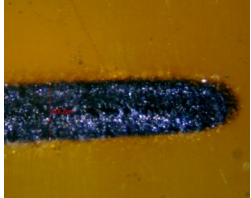
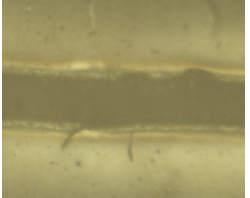
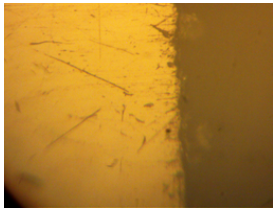
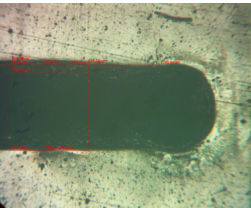
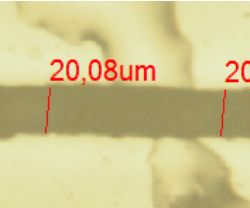
В ходе эксперимента на заготовке с нанесенным оптическим полимерным слоем излучением различной мощности на CO<sub>2</sub>-лазере были сформированы риски длиной 5 мм с шагом 5 мм; повторные действия были проведены на УФ-лазере.

Наиболее бездефектная и качественная поверхность наблюдалась при обработке заготовок УФ-лазером мощностью 5 Вт в три прохода.

Отмечено, что при повышении мощности излучения CO<sub>2</sub>-лазера возрастает площадь плавления полимера вне пятна контакта. При резке заготовки излучением CO<sub>2</sub>-лазера высокой мощности происходит горение в области контакта. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты обработки заготовок с полимерными покрытиями различными методами**

Результат	Механическая обработка	Обработка CO <sub>2</sub> -лазером	Обработка УФ-лазером
	Материал основания — стеклотекстолит FR4 18/18-1.5		
	Материал покрытия		
	EpoClad-EpoCore-EpoClad	SU8	EpoClad-EpoCore-EpoClad
Наихудший			
Наилучший			



На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что использование CO<sub>2</sub>-лазера приемлемо для формирования топологии оптоэлектронных модулей лишь на малых мощностях (табл. 2), их область применения ограничивается резкой заготовок и формированием поверхностей под посадку электронных компонентов. Твердотельные УФ-лазеры (например, на основе фосфида индия и арсенида галлия) могут быть использованы для формирования топологии и площадки под посадку электронных/оптических компонентов, но они непригодны для разделения заготовок ввиду малой мощности.

*Таблица 2*

**Особенности обработки заготовок с полимерными покрытиями различными методами**

Вид обработки	Наблюдаемые дефекты	Способ устранения	Допустимое применение
Механическая обработка	Сколы, трещины	Уменьшение диаметра фрезы, уменьшение подачи, увеличение скорости резания	Резка
Обработка CO <sub>2</sub> -лазером	Нагар, рекристаллизационные трещины, широкая зона оплавления	Уменьшение мощности, смена типа излучения	Резка, формирование площадки под посадку
Обработка УФ-лазером	Рекристаллизационные трещины	Обработка в несколько проходов малой мощностью	Формирование площадки под посадку, формирование топологии

**Литература**

- [1] Парфенов В.А. *Лазерная микрообработка материалов*: Учеб. пособие. Санкт-Петербург, Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011, 59 с.
- [2] Петров М. Лазерная обработка материалов в электронике. *Компоненты и технологии*, 2002, № 25, с. 164–169.
- [3] Вейко В.П., Петров А.А. *Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии»*. Санкт-Петербург, СПбГУ ИТМО, 2009, 143 с.
- [4] Характеристики устройства [Электрон. ресурс] URL: [https://www.troteclaser.com/fileadmin/content/images/Contact\\_Support/Manuals/Speedy-300-Manual-EN.pdf](https://www.troteclaser.com/fileadmin/content/images/Contact_Support/Manuals/Speedy-300-Manual-EN.pdf) (дата обращения 12.06.2017).
- [5] Каталог продукции [Электрон. ресурс] URL: [http://ru.made-in-china.com/co\\_gdzhengye/product\\_Ultraviolet-UV-Laser-Cutting-Machine-for-FPC-Jg15\\_eiyeosgg.html](http://ru.made-in-china.com/co_gdzhengye/product_Ultraviolet-UV-Laser-Cutting-Machine-for-FPC-Jg15_eiyeosgg.html) (дата обращения 12.06.2017).

**Perspectives of Mechanical and Laser Processes in Producing Optoelectronic Modules**

©	Sachkova N.A. Khrichenko V.V.	sachkova.natalia.a@gmail.com khrichenkov.v@list.ru
---	----------------------------------	---

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The data on mechanical and laser manufacturing of optoelectronic modules is introduced in the work. The main types of defects are described. The recommendations on preventing*

*defects in producing optical waveguides are given. Wow much process parameters of UV-laser manufacturing of planar polymer optical waveguides are given.*

**Keywords:** *optical interconnections in PCBs, planar polymer optical waveguides, laser processing of polymers, mechanical processing of polymers, UV-lasers.*

УДК 621.3.049.75:621.315.611

## **Медь с полимерным покрытием для плат с высокой плотностью межсоединений**

© | Смирнова Ольга Николаевна  
Боброва Юлия Сергеевна

1olga.smirnova.nik@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрен материал МПС (медь с полимерным покрытием; медная фольга, покрытая смолой), применяемый для плат с высокой плотностью межсоединений. Подробно описан его состав и свойства. Рассмотрены различные применения данного материала, такие как формирование микропереходов и внутренний монтаж компонентов. Приведено обоснование таких применений в зависимости от свойств материала МПС.*

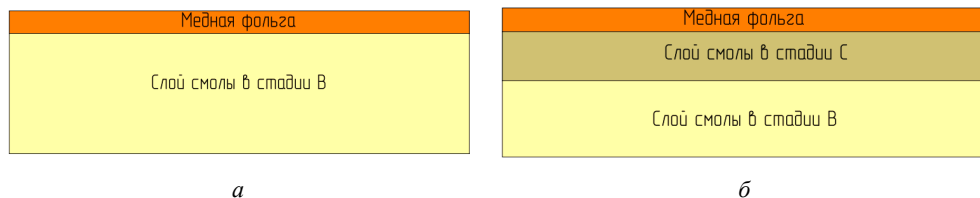
**Ключевые слова:** *медь с полимерным покрытием (МПС), платы с высокой плотностью межсоединений, внутренний монтаж компонентов, формирование микропереходов.*

В настоящее время, поскольку практически достигнуты известные пределы минимизации компонентов, возникла необходимость изменять принципы разработки и технологии производства печатных плат. Однако по мере того, как развиваются технологии изготовления печатных плат с высокой плотностью межсоединений, с характерными размерами 50...150 мкм, происходит разработка материалов, совместимых с этими специальными технологическими процессами. К таким специальным процессам относятся лазерная абляция, плазменное травление, формирование рисунка прямым лазерным экспонированием и др.

В общем случае в процессе лазерного формирования отверстий полимерная система будет подвергаться абляции быстрее, чем стеклоткань, так же как и плазма не эффективна при травлении стекловолокна, входящего в состав базовых материалов. Следовательно, для таких применений нужны материалы, не содержащие неорганического армирования. Одним из таких материалов, применяемых в платах с высокой плотностью межсоединений, является медная фольга, покрытая смолой или МПС (от англ. RCC — Resin Coated Copper).

Такая МПС — уникальный диэлектрический материал, представляющий собой медную фольгу, покрытую смолой без стеклянной тканой основы. Этот материал делится на два типа: с одним слоем эпоксидной смолы в стадии В и с двумя слоями смолы в стадиях В и С (рис. 1) [1].

Смола находится в стадии В, когда является частично отвержденной. Этот слой обеспечивает текучесть и заполнение рельефа схемы и толщину диэлектрика. Стадия С подразумевает полностью отвержденную смолу, которая ограничивает расстояние между внутренним слоем платы и внешней фольгой, т. е. обеспечивает контролируемое толщину диэлектрика. Часто в качестве этого слоя применяется полиимид, толщиной до 40 мкм.



**Рис. 1.** Типы меди с полимерным покрытием:  
*a* — одним слоем смолы в стадии В; *б* — слоями смолы в стадиях В и С

Диэлектрическая постоянная является одним из ключевых свойств конструкционных материалов платы, которые оказывают значительное влияние на характеристики платы. Обычно диэлектрическая постоянная базовых материалов, составляет от 4,3 до 4,5. Однако медь, покрытая смолой, не армирована, поэтому значение диэлектрической постоянной соответствует значению диэлектрической постоянной смолы  $\approx 3,4$  (на 1 МГц). Поскольку МПС имеет более низкую диэлектрическую постоянную, то она обеспечивает лучшую изоляцию и меньший уровень вносимых потерь.

Так же стоит отметить, что МПС обладает меньшими толщинами (25...80 мкм), благодаря которым повышает плотность межсоединений. Из-за своих малых толщин данный материал может быть также использован для плат с внутренним монтажом компонентов. С помощью МПС в процессе прессования можно запечатать не только утоненные кристаллы (25...75 мкм), но и в комбинации с двумя слоями препрега довольно толстые кристаллы (до 200 мкм) [2]. Причем во время внутреннего монтажа данный материал обеспечит параллельность компонентов и желаемую толщину эпоксидной смолы (20...30 мкм).

На основе данных [3, 4] ниже в таблице приведено сравнение основных параметров базового материала (на примере стеклотекстолита FR-4) и МПС.

#### Основные параметры стеклотекстолита FR-4 и МПС

Критерий	Материал	
	FR-4	МПС
Температура стеклования, °С	> 135	> 130
Диэлектрическая постоянная	< 5,4	< 4,0
Толщина медной фольги, мкм	12–105	9–18
Общая толщина, мм	0,05–3,20	0,025–0,080
Стоимость	1,0	1,3–1,5*

\* Расчет происходит в сравнении со стоимостью стеклотекстолита FR-4, принятой за 1,0.

Повышенная плотность не только уменьшает количество слоев и толщину платы, но и обеспечивает более высокое быстродействие, поскольку резко уменьшается время, затрачиваемое на переход электрического сигнала от элемента к элементу платы [5].

Подводя итог, стоит сказать, что по мере развития технологий плат с высокой плотностью межсоединений, появляется все больше новых тонких и легких материалов, позволяющих осуществлять монтаж пассивных и активных электронных компонентов в объем платы, тем самым удовлетворяя основным требованиям микроминиатюризации.

### Литература

- [1] *Печатные платы: справочник* / Под ред. К.Ф. Кумбза. Книга 1. Москва, Техносфера, 2011, 1016 с.
- [2] Manassis I. D., Yen S., Ostmann A., Aschenbrenner R., Reichl H. Technical Understanding of Resin-Coated-Copper (RCC) Lamination Processes for Realization of Reliable Chip Embedding Technologies [Электрон. ресурс]: *IEEE Xplore Digital Library*. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4249896/> (дата обращения 22.06.2017).
- [3] *Конструкции и материалы. PCBtechnology* [Электрон. ресурс] <http://www.pcbtech.ru/konstruktsii-i-materialy-pechatnykh-plat> (дата обращения 22.06.2017).
- [4] *RCC. Isola Laminate Systems* [Электрон. ресурс] <http://www.cadxservices.com/guides/pdfs/isolahdi.pdf> (дата обращения 22.06.2017).
- [5] Paulus J., Petti M. *Coated copper foils for high density interconnects. Isola Laminate Systems* [Электрон. ресурс] <http://www.isola-group.com/wp-content/uploads/COATED-COPPER-FOILS-FOR-HIGH-DENSITY-ICs.pdf> (дата обращения 22.06.2017).

## Resin coated copper for high density interconnects

© Smirnova O.N.  
Bobrova Y.S.

1olga.smirnova.nik@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In the article RCC (Resin coated copper) used for boards with a high density of interconnections is considered. Its composition and properties are described in detail. Various applications of this material are considered, such as formation of micro-transitions and chip embedding. Also the dependence of material's application on its properties is considered in the article.*

**Keywords:** *Resin Coated Copper (RCC), PCB with high density interconnection (HDI), chip embedding, formation of micro-transitions.*

УДК 621.3.049.75:621.357.77

## Методы изготовления печатных плат с теплоотводящими основаниями

© | Тюлькова Анастасия Александровна<sup>1</sup> belka\_winter@mail.ru  
| Боброва Юлия Сергеевна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Российские космические системы», Москва, 111250, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлен обзор методов отведения тепла от печатных плат. Рассмотрены типовые технологии создания плат на металлических основаниях с керамикоподобными покрытиями. Описаны электролиты и оборудование, используемые для создания керамических покрытий методом микродугового оксидирования.*

**Ключевые слова:** печатная плата, микродуговое оксидирование, анодирование, теплоотвод.

С ростом степени интеграции элементной базы и плотности размещения компонентов на печатных платах (ПП) все большее значение приобретает учет тепловых процессов [1]. Проблему теплоотвода решают методами применения теплоотводящих внешних пластин (обычно медных или алюминиевых), теплоотводящих внутренних плоскостей, специального крепления теплоотвода, способов соединения с корпусом, жидкостных хладагентов и формирования теплоотвода, тепловых трубок [2].

Одним из основных методов является применение плат с теплопроводящей основой. Наиболее высокую теплопроводность имеют металлы и подложки на основе керамических материалов, но в силу таких причин как стоимость, механическая прочность, невозможность получения плат большого размера, сложность обработки и др., они используются только для специальных задач. Поэтому вот уже много лет во всем мире расширяется применение печатных плат с металлическим основанием [1].

Такие платы используют в светодиодных устройствах, в различных преобразователях тока, приводах электродвигателей, блоках питания, в сварочной технике, силовой электронике, распределительных устройствах [4], сверхвысокочастотных устройствах гигагерцового диапазона [3].

В качестве металлической основы применяют различные сплавы алюминия, а также медь, железо и нержавеющую сталь [1].

Преимущества и недостатки применения плат на металлических теплоотводящих основаниях сведены в табл. 1 [4].

Среди металлов наибольшее применение нашли основания из алюминия, которые по стоимости близки к стеклотекстолиту и обладают высокой механической прочностью и радиационной стойкостью. По тепловому сопротивлению алюминиевые основания с оксидом в 50 мкм в 1,25 раза уступают оксиду бериллия, в 2 раза — меди, но в 5 раз превосходят поликор и в 50 раз — ситалл СТ-50-1 [2].

Типовые технологии изготовления плат на алюминиевых основаниях, покрытых оксидом, представлены в табл. 2.

В настоящее время наиболее распространенным методом создания керамикоподобных покрытий на алюминии является технология анодирования, однако передо-

вые исследователи и производители переходят на схожую с ней технологию создания покрытий методом микродугового оксидирования (МДО), использующую более экологически безопасные электролиты, не изменяющую размеры заготовки, позволяющую создавать покрытия большей толщины, с меньшей пористостью (2...3 %) и лучшим сцеплением с основой.

Таблица 1

**Преимущества и недостатки применения плат на металлических теплоотводящих основаниях**

Преимущества	Недостатки
Сплошное соединение печатной платы и металлического субстрата	Ограниченная степень интеграции
Хороший теплоотвод	На печатных платах с металлической подложкой возможен только односторонний монтаж поверхностных компонентов
Возможны контуры печатной платы и подложки, отличающиеся друг от друга	Высокая стоимость
Высокая механическая стабильность	Большой вес
Нет необходимости в дополнительном отводе тепла	Необходимы специальные знания для процесса изготовления (температурные режимы / предварительный нагрев)

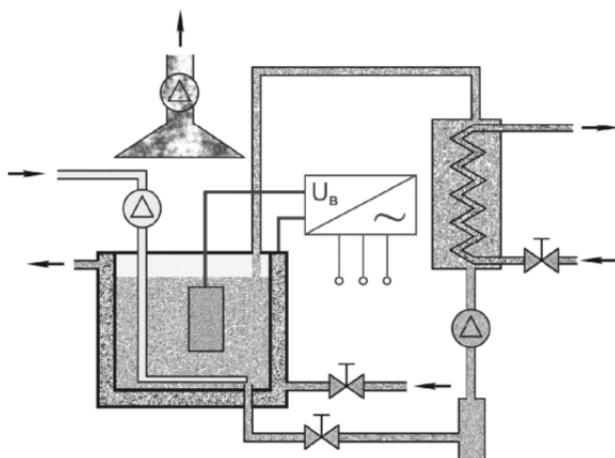
Таблица 1

**Технологии изготовления плат на алюминиевых основаниях**

Позиции	Печатные платы на изолированных металлических подложках [4, 5]	Печатные платы на алюминиевом основании [5]
Схематичное изображение сечения платы		
Типовые параметры	Толщины: фольги — от 35 до 350 мкм, диэлектрика — от 50 до 150 мкм, металлического основания — от 0,5 до 3,2 мм	Типовая толщина от 125 до 250 мкм; минимальная ширина проводника (зазора) — 25 мкм
Способ изготовления	На предварительно анодированную металлическую основу напрессовывается ПП, в качестве материала диэлектрических слоев в которой используются специализированные материалы с высокой теплопроводностью. Для улучшения теплоотвода могут формироваться специальные теплопроводящие металлизированные отверстия, позволяющие увеличивать площадь сечения теплоотвода [1]	Вырубка металлического основания, его анодирование с целью создания слоя оксида и последующее формирование рисунка на этом слое с дальнейшим созданием покрытия под пайку в областях контактных площадок [6]. Технология с использованием подложек оксида алюминия позволяет задавать толщину проводников путем формирования маскирующих рисунков этих проводников на обеих сторонах подложки и выводить контактные площадки на обе стороны платы

Электролит в МДО-процессе — один из двух источников вещества, образующего покрытие, другой — материал анода. Наиболее широко применяемыми являются силикатно-щелочные электролиты, благодаря своей дешевизне и экологичности, так как в них процесс ведется с существенно меньшей концентрацией химических компонентов. Основными компонентами таких электролитов являются гидроксид натрия (электропроводящая составляющая), метасиликат натрия (увеличивает линейные размеры и коррозионную устойчивость формируемых покрытий) и тетраборат натрия (повышает износ- и коррозионную стойкость, подавляет пористость покрытий) [7].

Функциональная схема установки МДО представлена на рисунке [8]. В общем случае установки МДО состоят из электролитной ванны, технологического источника тока (ТИТ), систем прокачки, охлаждения и перемешивания электролита, вытяжной вентиляции. В баке системы прокачки электролита находится теплообменник для его охлаждения. Перемешивание электролита реализуется либо продувом воздуха через электролит путем барботажа, либо механическим перемешиванием с помощью мешалки — двигателя с укрепленной на валу крыльчаткой.



Функциональная схема установки МДО [8]

Таким образом, несмотря на потребность в дополнительном оборудовании, микродуговое оксидирование является перспективным методом создания керамикоподобных покрытий металлических оснований теплонагруженных плат.

### Литература

- [1] Максимов А. *Печатные платы с металлическим основанием: свойства и технологии* [Электрон. ресурс] URL: [http://www.circuitry.ru/files/article\\_pdf/2/article\\_2240\\_121.pdf](http://www.circuitry.ru/files/article_pdf/2/article_2240_121.pdf) (дата обращения 29.06.2017).
- [2] *IPC 2221-A Generic standard on printed board design* [Электрон. ресурс] URL: <http://pcbdesigner.ru/ipc-na-russkom-yazyke> (дата обращения 29.06.2017).
- [3] Сокол В. Электрохимическая алюмооксидная технология производства микроэлектронных многокристалльных модулей. *Печатный монтаж*, 2010, № 4, с. 18–20.
- [4] Закс М., Новиков А. *Теплоотводящие печатные платы для монтажа мощных светодиодов*. [Электрон. ресурс] URL: [http://www.led-e.ru/assets/files/pdf/2012\\_1\\_32.pdf](http://www.led-e.ru/assets/files/pdf/2012_1_32.pdf) (дата обращения 29.06.2017).

- [5] Литвинович Г.В., Шиманович Д.Л. Технологические особенности формирования плат со встроенной системой межсоединений в подложках анодного оксида алюминия. *Доклады БГУИР*, 2013, № 3, с. 39–44.
- [6] Борыняк Л., Непочатов Ю. Разработка технологии изготовления металлических подложек для мощных микросхем и силовых сборок. *Силовая электроника*, 2008. № 3, с. 142–146.
- [7] Паненко И.Н. *Получение многофункциональных композиционных покрытий методом микродугового оксидирования*. Дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2017, 275 с.
- [8] Орлова Д. В., Трушкина Т. В., Гирн А.В. Разработка технологии упрочнения титановых сплавов микродуговой обработкой. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*, 2011, № 7, т. 1, с. 43–44.

## Methods of Manufacturing Printed Circuit Boards with Heat-Removing Bases

© | Tulkova A.A.<sup>1</sup>  
| Bobrova Y.S.<sup>2</sup>

belka\_winter@mail.ru

<sup>1</sup> Russian Space Systems, Moscow, 111250, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This report contains an overview of the printed circuit boards heat transfer methods. The report presents typical technologies for creating boards on metal substrates with ceramic-like coatings. Electrolytes and equipment used to create ceramic coatings by microarc oxidation are described.*

**Keywords:** circuit board, microarc oxidation, anodizing, heat removal.



УДК 681.783.25

### Система измерения расстояний для средних дистанций

© | Валиев Алмаз Рафисович

Зарипова Римма Солтановна

zarim@rambler.ru

Казанский государственный энергетический университет, Казань, 420066, Россия

*Наиболее перспективным направлением для создания высокоточного лазерного дальномера является использование рециркуляторного метода измерения. Преимущество этого метода — относительная простота реализации и высокая точность измерений.*

**Ключевые слова:** лазерный дальномер, рециркуляторный метод измерений расстояний.

Лазерная дальнометрия стала одной из первых областей применения лазеров в науке и технике. В настоящее время в промышленности достаточно остро стоит проблема создания эффективного прибора для измерений малых расстояний (от долей до десятков метров) с точностью порядка долей миллиметра. Эффективный прибор должен удовлетворять ряду противоречивых требований: точности измерений, надежности, относительно невысокой стоимости, компактности, удобству в эксплуатации. Подобные приборы требуются, например, на авиационных предприятиях при контроле и позиционировании сборочных элементов конструкций самолета, в судостроении, а также на других производствах, связанных со сборкой крупногабаритных конструкций. Для измерения расстояний в подобных условиях наиболее подходят лазерные дальномеры, работающие в видимом диапазоне излучения [1]. Чтобы измерить малые расстояния с точностью до десятых долей миллиметра, используют различные методы. Лазерные дальномеры-интерферометры, хотя и обладают наивысшей точностью измерений, проигрывают остальным методам в стоимости. Фазовый метод позволяет обеспечить приемлемую точность измерений расстояния. Однако для достижения этого необходимо применять специальные схемотехнические приемы, которые существенно усложняют аппаратуру и, как следствие, повышают ее стоимость. Наиболее перспективным для создания высокоточного лазерного дальномера малых расстояний представляется использование рециркуляторного метода измерений, преимуществом которого являются относительная простота реализации и высокая достижимая точность измерений [2].

Дальномер-рециркулятор — генератор, в котором обратная связь осуществляется по оптическому излучению через измеряемую трассу. Таким образом, частота

генерации становится функцией от длины трассы, равной измеряемому расстоянию. Принцип работы прибора показан на рисунке. Излучение от лазера, пройдя измеряемое расстояние до отражателя и обратно, поступает на фотодетектор. С выхода последнего снимается электрический сигнал, который, пройдя через усилитель, подается на пороговое устройство, выключающее в приемном тракте влияние фонового шума и аппаратных шумов на работу системы. Сигнал, превышающий пороговый уровень, через модулятор выключает лазер, прекращая тем самым посылку излучения на отражатель. Прекращение излучения влечет за собой ликвидацию запирающего сигнала, вследствие чего из передающей системы снова выходит излучение, и весь процесс периодически повторяется. В результате в дальномере-рециркуляторе возникают колебания, частоту которых можно измерить с помощью частотомера. Частота генерации является функцией измеряемого расстояния и суммарного времени задержки импульсного сигнала в аппаратуре. Измерив эту частоту, можно найти искомое расстояние до объекта.

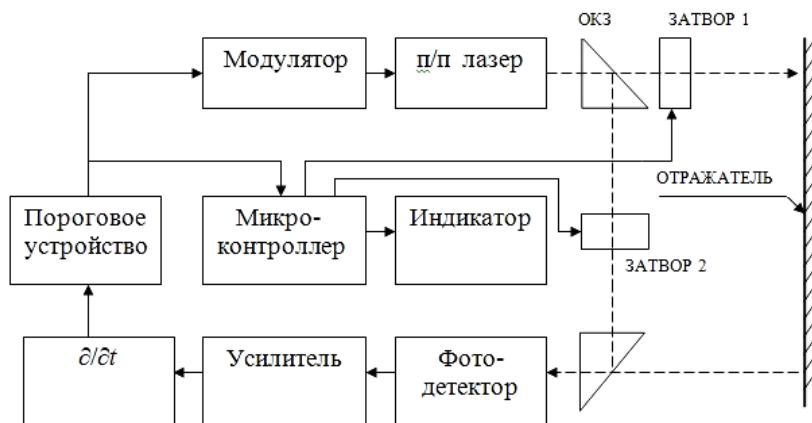


Схема дальномере-рециркулятора (ОКЗ — оптический короткозамыкатель)

Среди всех факторов, влияющих на точность измерений расстояния лазерным дальномере-рециркулятором, можно выделить следующие: флуктуации амплитуды импульса, временная нестабильность аппаратурной задержки, погрешность измерений частоты. Рассмотрим кратко источники этих погрешностей. Флуктуации амплитуды принимаемых импульсов влияют на момент срабатывания порогового устройства из-за неидеальности формы принимаемого импульса. В результате некоторой пологости фронта импульс с большей амплитудой пересекает фиксированный порог раньше, чем импульс с меньшей амплитудой. Максимальная случайная погрешность момента пересечения порога  $\Delta t$  равняется длительности фронта импульса. Погрешность, вызванную флуктуацией амплитуды сигнала, можно уменьшить, увеличив крутизну фронтов импульса, и, теоретически, полностью исключить при использовании режима работы компаратора с нулевым порогом, так как фронт импульсов одинаковой формы достигает половины высоты импульса в один и тот же момент времени независимо от амплитуды импульса. Непостоянство времени аппаратурной задержки  $\Delta t$  приводит к погрешности измерений расстояния и влияние этой нестабильности можно существенно ослабить ее периодическим контролем с помощью

оптического короткозамыкателя (ОКЗ). В этом случае излучение источника через ОКЗ подается непосредственно на фотоприемник и измеряется частота повторения импульсов  $F_{\text{ОКЗ}}$ , которая связана с аппаратурной задержкой. Далее ОКЗ отключается и измеряется частота повторения импульсов  $F_L$ , соответствующая измеряемому расстоянию и аппаратурной задержке. Так как для измерений  $F_L$  требуется небольшой промежуток времени (1...2 с), то среднее время аппаратурной задержки  $\Sigma\tau$  за этот период можно считать постоянным. Тогда расстояние до объекта можно выразить формулой

$$L = \frac{c}{4} \left( \frac{1}{F_L} - \frac{1}{F_{\text{ОКЗ}}} \right).$$

Из этого выражения (1) следует, что погрешность измерений расстояния определяется погрешностью измерений частоты. Проведя соответствующие расчеты [3] и их анализ делаем вывод, что точность измерений расстояния лазерным дальномером-рециркулятором может быть увеличена за счет снижения нестабильности опорного генератора измерителя частоты. Требуемое время измерений может быть существенно снижено за счет уменьшения до оптимального значения времени аппаратурной задержки.

### Литература

- [1] Фрайден Дж. *Современные датчики. Справочник* / Пер. с англ. Ю.А.Заболотной; под ред. Е.Л. Свинцова. Москва, Техносфера, 2006, 592 с.
- [2] Джексон Р. *Новейшие датчики*. Москва, Техносфера, 2006, 384 с.
- [3] Галеев С.Р., Зарипова Р.С. Использование возможностей пакета Mathcad при решении математических задач. *Научно-практический журнал «Аллея Науки»*, 2017, т. 1, № 8 (1), с. 666–668.

## System of Measurement of Distances for Average Distances

© Valiev A.R.  
Zaripova R.S.

zarim@rambler.ru

Kazan State Energy University (KGEU), Kazan, 420066, Russia

*For creation of a high-precision laser range finder use of a recycling method of measurement is represented to the most perspective. Advantage of this method are relative simplicity of realization and high precision of measurements.*

**Keywords:** *laser range finder, recycling method of measurement of distances.*

УДК 621.78

## Разработка оптимальных режимов упрочнения контактных поверхностей колесных пар вагонов и локомотивов с использованием волоконных лазеров

©	Шмелев Сергей Андреевич <sup>1 2</sup>	Shmelev_sergei@mail.ru
	Богданов Александр Владимирович <sup>1</sup>	mtbmbstu@mail.ru
	Татаркин Денис Юрьевич <sup>2</sup>	dTatarkin@ntoire-polus.ru
	Хриптович Евгений Владимирович <sup>2</sup>	eHriptovich@ntoire-polus.ru

<sup>1</sup> МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> ООО «Научно-техническое объединение “ИРЭ-Полюс”», Фрязино, 141190, Россия

*Приведены результаты исследования технологических особенностей процесса лазерного упрочнения колесной стали марки 2 с использованием различных оптических схем. Проведено сравнение технологии лазерного и плазменного упрочнения колесной стали марки 2. Для задачи поверхностного упрочнения колесных пар рекомендуется использование волоконного лазера.*

**Ключевые слова:** волоконный лазер, поверхностное упрочнение, колесная сталь, износостойкость, контактно-усталостная прочность.

**Введение.** Проблема износа контактных поверхностей железнодорожных колес возникла сразу после создания первых железных дорог и существует до сих пор. Данная проблема напрямую связана с конструктивными особенностями существующей классической конструкции ходовых частей подвижного состава и железнодорожного полотна. При движении колесных пар по рельсам гребни железнодорожных колес проскальзывают по боковым граням головок рельсов. Вследствие данного контактного взаимодействия возникает взаимный износ трущихся поверхностей. Из-за жесткой посадки на вагонную или локомотивную ось колес в кривых малых радиусов они проходят разные расстояния, что является причиной проскальзывания одного из колес по боковой грани головки рельса.

Проблема бокового износа колес и рельсов является одной из первостепенных и самых значимых для железнодорожной отрасли [1]. Более 20 лет данная проблема активно решается и не решена до сих пор [2]. Множество факторов в той или иной степени влияют на боковой износ железнодорожных колес. Называется до 50 различных причин, суммарно приведших к повышению бокового износа гребней железнодорожных колес [3]. Особую остроту данная проблема приобрела во второй половине XX века в период уменьшения ширины колеи, замены подшипников качения на подшипники скольжения в буксовых узлах, использования гребнесмазывания, повышения нагрузки на ось, увеличения объемов перевозок и т. д. Сегодня на сети железных дорог России применяется множество различных способов решения данной проблемы. Рассмотрим более подробно некоторые пути снижения интенсивного износа рабочих поверхностей колес подвижного состава.

Плазменная технология упрочнения гребней колесных пар является одной из наиболее распространенных в России. На предприятиях ОАО «РЖД» внедрено около

90 установок плазменного упрочнения. В работоспособном состоянии из них поддерживается около 70 [4]. Принцип технологии плазменного упрочнения состоит в применении многокомпонентного высокотемпературного потока продуктов сгорания метана. При использовании технологии плазменного упрочнения в области воздействия источника плазмы на обрабатываемую поверхность образуются зоны с высокими растягивающими остаточными напряжениями [5]. Очевидно, что остаточные напряжения оказывают существенное влияние на надежность железнодорожных деталей и узлов в процессе эксплуатации. При наличии в приповерхностных слоях деталей высоких остаточных напряжений, во время движения подвижного состава вероятно их суммирование с внешними знакопеременными, либо с напряжениями, вносимыми в изделие при их производстве, что, в свою очередь, может приводить к возникновению дефектов контактно-усталостного происхождения, таких как трещины, выщербины, сколы и др. [3, 6].

В последние 10 лет на рынке появились мощные волоконные лазеры мульткиловаттного диапазона, которые произвели настоящую революцию в области обработки материалов. Уже сегодня многие промышленные лидеры производственного сектора сделали выбор в пользу волоконных лазеров [7, 8]. По мнению авторов, именно упрочнение с использованием волоконных лазеров должно в будущем быть использовано для решения задачи повышения износостойкости и контактно-усталостной прочности железнодорожных колесных пар. Лазерная поверхностная обработка имеет следующие преимущества по сравнению с традиционными способами упрочнения материалов: низкий уровень напряжений и деформаций, вносимых в изделие; высокую скорость обработки; возможность обработки на большую глубину; низкие затраты на обслуживание оборудования; возможность локальной обработки поверхности; возможность осуществлять термообработку без нанесения поглощающих покрытий; компактные размеры лазерного оборудования, отсутствие необходимости в применении газовых смесей, передача излучения осуществляется по транспортному волокну без юстировки.

Принцип термообработки с использованием волоконных лазеров похож на традиционные процессы термообработки. Как показано на рис. 1, нагрев до температуры выше критической происходит энергией расфокусированного лазерного луча, перемещаемого по поверхности заготовки. На этой стадии происходит фазовое превращение из феррита в аустенит. Далее идет быстрый теплоотвод за счет основного материала изделия, что приводит к преобразованию аустенита в мартенсит. Кристалл мартенсита образуется в пределах зерна аустенита и не переходит границу между его зернами. Получаемая структура обладает высокой твердостью и повышенной износостойкостью. Высокая твердость углеродистых сталей со структурой мартенсит достигается вследствие искажений кристаллической решетки пересыщенного твердого раствора из-за внедрения атомов углерода [9]. Результат лазерной термообработки — повышение износостойкости и контактно-усталостной прочности обработанной детали в несколько раз [10].

**Экспериментальная часть.** Работа проводилась в центре лазерных технологий ООО НТО «ИРЭ-Полус» в г. Фрязино. Для выполнения поставленной задачи было использовано оборудование, представленное в табл. 1, а также частично описанное в [11].

Оптико-эмиссионный спектральный анализ колесной стали марки 2 проводился в испытательной лаборатории ООО НТО «ИРЭ-Полус» в г. Фрязино согласно ГОСТ 18895-97 с помощью спектрометра Magellan Q-8, зав. № Q100415M0090. Результаты исследований представлены в табл. 2.

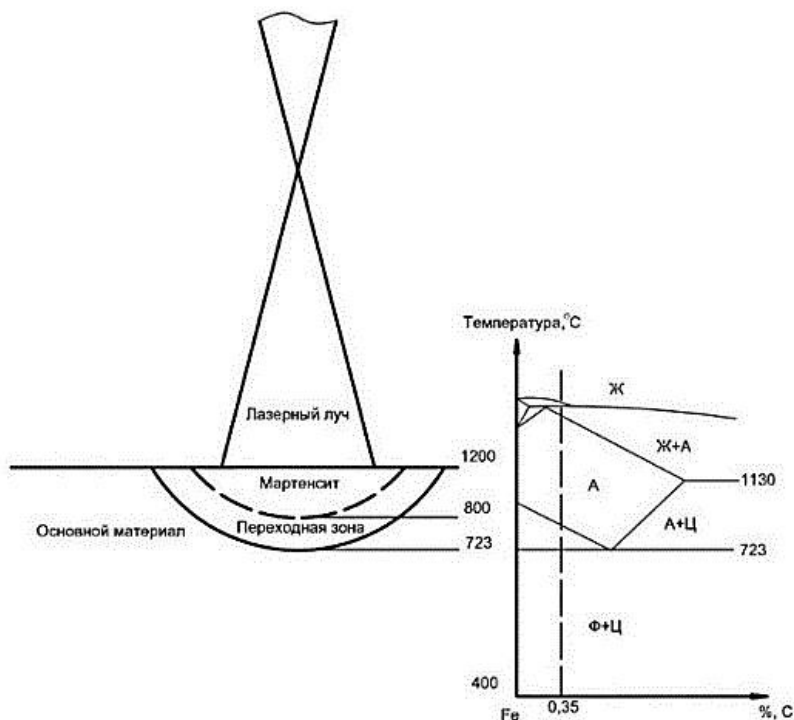


Рис. 1. Механизм лазерной термообработки

Таблица 1

**Оборудование, использованное для упрочнения колесной стали марки 2**

№ позиции	Наименование
1	Лазер ЛС-10 (HLC-8, 100 мкм)
2	Робот KR 60 HA
3	Оптическая головка IPG FLW D50, коллиматор 160 мм, фокус 500 мм
4	Лазер ЛС-6 (HLC-8, 200 мкм)
5	Оптическая голова 2D High-power Scanner IPG. Коллиматор 160 мм, фокус 400 мм

Таблица 2

**Химический состав в % колесной стали марки 2**

Значение (массовая доля) по элементам, %									
C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	P	S	Mo	Cu
0,654	0,317	0,797	0,033	0,022	0,020	0,011	0,015	0,004	0,126
Co	Nb	Ti	V	W	Sn	Mg	B	N	Fe
0,026	<0,002	0,001	0,004	0,012	0,004	<0,001	0,001	<0,003	97,950

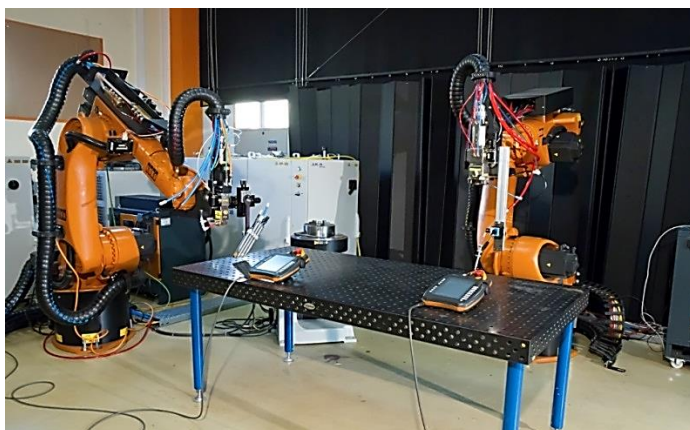


Рис. 2. Внешний вид стенда для обработки лазерных технологий

Проведенные эксперименты позволили определить оптимальные технологические параметры для лазерной термообработки колесной стали. Мощность лазерного излучения при подборе оптимального режима варьировалась от 2 до 10 кВт, скорость термообработки от 10 до 800 мм/с, диаметр пятна от 5,8 до 27 мм, ширина дорожек составляла 27 мм (при использовании оптической головки 2D High-power Scanner IPG — рис. 3), а плотность мощности, следовательно, находилась в интервале 12...168 МВт/м<sup>2</sup>.



Рис. 3. Внешний вид дорожек после упрочнения волоконным лазером с использованием оптической головки 2D High-power Scanner IPG

**Результаты экспериментов.** Замечено, что с уменьшением скорости обработки увеличивается глубина упрочнения без оплавления поверхности. Поверхностная микротвердость лежит в диапазоне от 750 до 850 HV, что выше твердости основного металла в 2,9–3,3 раза. Глубина упрочненного слоя на оптимальном режиме без оплавления поверхности составила от 0,9 до 1,2 мм. При этом плотности мощности на данных режимах составили  $2,1 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup>. Согласно [10] критическая плотность мощности при использовании CO<sub>2</sub> лазера, выше которой происходит оплавление по-

верхности для различных сталей лежит в диапазоне  $2...6 \cdot 10^4$  Вт/см<sup>2</sup>. Глубина упрочненного слоя при этом не превышает 0,1...0,15 мм. При использовании волоконного лазера для термообработки колесной стали удалось добиться глубины упрочненного слоя более 1 мм при плотности мощности на порядок меньшей, чем при использовании CO<sub>2</sub>-лазера (рис. 4).



Рис. 4. Микротвердость оптимального образца, полученного при скорости обработки 25 мм/с и мощности лазерного излучения 5 кВт

**Сравнительный анализ лазерного и плазменного упрочнения.** Опираясь на научную статью [12], авторами был выполнен сравнительный анализ термообработки колесной стали с использованием лазерной и плазменной установки (табл. 3, 4).

Таблица 3

**Сравнительный анализ лазерного упрочнения с использованием оптической головки IPG FLW D50 и плазменного упрочнения**

Лазерное упрочнение	Плазменное упрочнение
Скорость обработки — 25 мм/с	Скорость обработки — 7 мм/с
Глубина упрочнения — 1,2 мм	Глубина упрочнения — 0,9 мм
Микротвердость — 750–850 HV	Микротвердость — 1600–1000 HV
Ширина полосы упрочнения за один проход — 10 мм	Ширина полосы упрочнения за один проход — 25 мм
Защитный газ — не используется	Защитный газ — азот. Расход — 5 л/мин
Рабочая мощность источника — 5 кВт	Рабочая мощность источника — 35 кВт
Площадь установки — 4 м <sup>2</sup>	Площадь установки — 40 м <sup>2</sup>

Из табл. 3 следует, что скорости лазерной термообработки увеличиваются в более чем в 3,5 раза, а требования по значениям микротвердости соответствуют техническим условиям [13].

Для увеличения ширины упрочненного слоя были проведены дополнительные эксперименты с использованием оптической головки 2D High-power Scanner IPG позволяющей сканировать лазерный луч с частотой до 300 Гц (см. табл. 4).



**Сравнительный анализ лазерного упрочнения с использованием оптической головки 2D High-power Scanner IPG и плазменного упрочнения**

Лазерное упрочнение	Плазменное упрочнение
Скорость обработки — 7,8 мм/сек	Скорость обработки — 7 мм/сек
Глубина упрочнения — 0,9 мм	Глубина упрочнения — 0,9 мм
Микротвердость — 750–850 HV	Микротвердость — 1600–1000 HV
Ширина полосы упрочнения за один проход — 27 мм	Ширина полосы упрочнения за один проход — 25 мм
Защитный газ — не используется	Защитный газ — азот. Расход — 5 л/мин
Рабочая мощность источника — 4 кВт	Рабочая мощность источника — 35 кВт
Площадь установки — 4 м <sup>2</sup>	Площадь установки — 40 м <sup>2</sup>

**Заключение.** Исследования показали возможность использования волоконных лазеров для упрочнения колесной стали марки 2. Проведен эксперимент по лазерному упрочнению колесной стали 2. Подобраны технологические параметры обработки без оплавления поверхности. Поверхностная микротвердость на оптимальных режимах лежит в диапазоне от 750 до 850 HV, что выше твердости основного металла в 2,9–3,3 раза. Глубина упрочненного слоя без оплавления поверхности составила 1,1 и 1,2 мм. Выполнен сравнительный анализ лазерного и плазменного упрочнения, который показал, что скорость лазерной термообработки по сравнению с плазменной увеличивается более чем в 3,5 раза.

Для получения ширины упрочнения 25...30 мм, согласно [13], за один проход были проведены дополнительные эксперименты с использованием оптической головки 2D High-power Scanner IPG? позволяющей сканировать лазерный луч с частотой до 300 Гц. Поскольку на этапе изготовления локомотивных и вагонных колес в изделия вносятся различные остаточные напряжения, для определения вида обрабатываемых колесных пар необходимо исследовать остаточные напряжения после лазерной термообработки.

#### Литература

- [1] Марков Д.П. Механика и трибология бокового износа колес и рельсов. *Вестник РГУПС*, 2003, № 3, с. 16–23.
- [2] Балановский А.Е., Глазков В.С. Мороз Б.А. Плазменное упрочнение гребней колесных пар подвижного состава. *Сб. тр. СГУПС «Новые технологии на ВСЖД»*, Новосибирск, СГУПС, 1999, с. 57–65.
- [3] Марков Д. П. Закалка гребней колес подвижного состава на высокую твердость для снижения бокового износа. *Вестник ВНИИЖТ*, 1997, №. 1, с. 36–42.
- [4] Петров С.Ю., Костюкевич А.И., Рябов А.А. Упрочнение гребней и снижение износа колесных пар. *Мир транспорта*, 2013, № 02.
- [5] Киселев С.Н., Саврухин А.В., Кузьмина Г.Д. Влияние плазменной обработки на напряженно-деформированное и структурное состояние гребней бандажей колес локомотивов. *Сварочное производство*, 2001, № 6, с. 9–17.
- [6] Буйновос А.П. *Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения*. Екатеринбург, Изд-во УрГУПС, 2009.

- [7] Gapontsev V., Shcherbakov E., Abramov A. 100 kW CW fiber laser for industrial applications. *Laser Optics*, Intern. Conf. Saint Petersburg, Russia, 2014.
- [8] Богданов А.В., Грезев Н.В., Шмелев С.А. Применение волоконных лазеров для повышения износостойкости и контактно-усталостной прочности железнодорожных колес. *Научно-технические технологии в машиностроении*, 2015, № 6, с. 30–34.
- [9] Тарасов В.В., Малышко С.Б. *Лабораторный практикум по материаловедению*: Учеб. пособие. Владивосток, МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2003, 117 с.
- [10] Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. *Технологические процессы лазерной обработки*: Учеб. пособие для вузов. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 665 с.
- [11] А.В. Богданов, Ю.В. Голубенко. *Волоконные технологические лазеры и их применение*. Санкт-Петербург, Лань, 2016, 208 с.
- [12] Богомолов А.В., Канаев А.Т. Плазменная технология упрочнения гребней локомотивных колесных пар. *Инновации в материаловедении и металлургии: матер. I Междунар. интерактив. науч.-практ. конф.* Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2012, ч. 1, с. 38–43.
- [13] ТУ 0943-218-01124323-2006 «Бандажные колеса с термическим упрочнением гребня».

## Development of Optimal Modes of Hardening Contact Surfaces of Wheel Pairs of Wagons and Locomotives with the Use of Fiber Lasers

© | Shmelev S.A. <sup>ALS 2</sup>  
Bogdanov A.V. <sup>ALS</sup>  
Tatarkin D.U. <sup>ALS</sup>  
Hriptovich E.V. <sup>ALS</sup>

Shmelev\_sergei@mail.ru  
mtbmstu@mail.ru  
dTatarkin@ntoire-polus.ru  
eHriptovich@ntoire-polus.ru

<sup>1</sup> «IRE Polus» LLC Technical Society, Fryazino, 141190, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The operating efficiency of railways in Russia is becoming more and more important nowadays at the time of stable industrial growth. The main expenses of Russian Railways are related to the heavy wear of wheels contact surfaces when interacting with the rails. Russian railways use many ways to deal with this problem, such as the reduction of the coefficient of friction — lubrication, the use of optimal ratio of wheels and rails hardness, the use of plasma hardening and others. The solution offered by the authors of the article suggest using fiber lasers. Fiber lasers have several undeniable advantages compared to traditional methods of processing materials: a possibility to adjust the hardened layer, local surface processing and others. At present, the demand for laser technologies in material processing is constantly growing, due to the fact that fiber lasers give better results compared to traditional methods.*

**Keywords:** fiber laser, laser hardening, wheel steel, wear resistance, contact fatigue strength.

УДК 621.787

### Инновационные методы охватывающей обработки

©	Баринов Александр Сергеевич <sup>1</sup>	to@respiro-oz.ru
	Смолкина Татьяна Владимировна <sup>1</sup>	ts76@list.ru
	Кострюков Александр Андреевич <sup>2</sup>	kaaoz@bk.ru
	Чихачева Надежда Юрьевна <sup>3</sup>	nadezhdachi@yandex.ru
	Щедрин Алексей Владиславович <sup>4</sup>	mt13@bmstu.ru

<sup>1</sup> АО «НПП “Респиратор”», Орехово-Зуево, 142602, Россия

<sup>2</sup> ОАО «Демиховский машиностроительный завод», д. Демихово, 142632, Россия

<sup>3</sup> ОИТ МОО «Академия проблем качества», Москва, 119991, Россия

<sup>4</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены результаты системного структурно-параметрического синтеза инновационных методов комбинированной охватывающей обработки инструментами с регулярной микрогеометрией воздействующих поверхностей в условиях различных технологий применения современных металлолакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие «эффект безызносности при трении Гаркунова — Крагельского».*

**Ключевые слова:** охватывающая обработка, регулярный микрорельеф, металлолакирующая смазка, эффект безызносности при трении.

Как свидетельствует современная научная и промышленная статистика [1], ежегодные мировые потери от трения и износа соизмеримы с внутренним валовым продуктом ряда промышленно развитых стран.

Особенно проблемы управления износом и реорганизации (уменьшения) контактного трения актуальны в обрабатывающих отраслях промышленности — металлургии и машиностроении, где широко используют различные методы охватывающей обработки (волочение, редуцирование, калибрование, скальпирование).

С использованием алгоритмических процедур «искусственного технологического интеллекта» и импортозамещающего фундаментального направления «трибология на основе самоорганизации» [1–4] синтезированы инновационные методы комбинированной охватывающей обработки [5–19], которые защищены дипломами СССР на научные открытия (№ 41 и № 378), а так же патентами РФ на изобретения (№№ 2277579, 2475348, 2560475, 2560477, 2593062 и др.).

Например, при волочении сплошных цилиндрических заготовок из углеродистых и нержавеющей сталей, а также цветных сплавов через фильеры с регулярным микрорельефом воздействующих поверхностей и со сферическими деформирующими элементами в условиях подачи металлоплакирующих смазок свободным потоком сила волочения стабильно снижается на 25...59 % [5–10]. На воздействующих поверхностях инструмента образуется сервовитная пленка меди, обладающая феноменальными физическими свойствами: полное исключение прямого контакта шероховатых поверхностей инструмента и заготовки; интенсивное пластифицирование деформируемого слоя («эффект Ребиндера»), что при равной силе позволяет до двух раз увеличить степень деформации обрабатываемой заготовки; снижение коэффициента граничного трения до значения при жидкостном трении; существенное увеличение энергосилового эффекта при увеличении степени деформации заготовки (глубины внедрения инструмента). Еще более значительный результат получается при охватывающей обработке в условиях самовозбуждаемого противодавления современных металлоплакирующих смазок по канавкам регулярного микрорельефа воздействующей поверхности инструмента [11–13], а также при использовании заготовок с аналогичной регулярной микрогеометрией поверхности [14–16]. При этом только за счет предварительной регуляризации микрогеометрии поверхности обрабатываемой заготовки энергосиловой эффект составляет около 72 % [16]. Такое явление связано с дополнительным увеличением «маслоемкости» контактной зоны, а также с формированием упорядоченных физических полей и развитых дислокационных структур деформируемого слоя, ускоряющих химические реакции с поверхностно-активными компонентами металлоплакирующей смазки. Прерывистость деформируемого слоя исключает образование в очаге деформации положительной волны внеконтактной деформации [9, 20], значительно ухудшающей технологию изготовления изделия и его эксплуатацию. Дальнейшее системное совершенствование методов охватывающей обработки может идти по пути комбинации [3–5, 9] холодного пластического деформирования, резания и нанесения антифрикционного покрытия (финишная антифрикционная безабразивная обработка) [17–20].

### Литература

- [1] Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Бабель В.Г. *Трибология на основе самоорганизации*. Германия, Изд-во “Lambert”, 2015, 245 с.
- [2] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Чихачева Н.Ю. *Технологическая трибология на основе самоорганизации*. Германия, Изд-во “Lambert”, 2016, 85 с.
- [3] Щедрин А.В., Ульянов В.В., Бекаев А.А., Скоромнов В.М., Ванюшкина М.С., Абрамова Т.Г., Хомякова Н.В., Чихачева Н.Ю. Трибология как фундаментальная основа системного проектирования конкурентоспособных технологических объектов. *Ремонт, восстановление, модернизация*, 2009, № 4, с. 15–20.
- [4] Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю. Искусственный технологический интеллект как идеологическая основа всеобщей системы методов обработки материалов// *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 6, с. 20–26.
- [5] Ульянов В.В., Щедрин А.В., Скоромнов В.М., Бекаев А.А., Хрисанов О., Куликов Р. Совершенствование комбинированных методов редуцирования и прошивания. *Металлург*, 2005, № 10, с. 66–69.
- [6] Щедрин А.В., Гаврилов С.А., Ерохин В.В., Бирюков А.И., Юшин Д.И. Повышение качества и производительности методов комбинированной обработки инструментом с регулярной микрогеометрией поверхности на основе применения металлоплакирующих смазок. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2011, № 8, с. 21–52.

- [7] Гаврилов С.А. Совершенствование процесса поверхностного пластического деформирования на основе применения металлоплакирующих смазывающих материалов. *Трение и смазка в машинах и механизмах*, 2013, № 4, с. 33–39.
- [8] Гаврилов С.А., Зинин М.А. Применение эффекта безызносности при синтезе металлоплакирующих смазок для экстремальных условий трения. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2013, № 2, с. 21–25.
- [9] Щедрин А.В., Гаврилов А.С., Косарев И.В., Смолкина Т.В., Зинин М.А., Сергеев Е.С. Формирование очагов деформации при охватывающем поверхностном пластическом деформировании. *Трение и смазка в машинах и механизмах*, 2014, № 10, с. 3–7
- [10] Кузнецов В.А., Щедрин А.В., Гаврилов С.А., Воронков В.И., Мельников Э.Л. Теоретические и экспериментальные исследования охватывающего поверхностного пластического деформирования в условиях применения металлоплакирующих смазочных материалов. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2014, № 2, с. 11–17.
- [11] Щедрин А.В., Козлов А.Ю. Совершенствование технологии применения металлоплакирующих смазочных материалов в методах охватывающего поверхностного пластического деформирования инструментом с регулярной микрогеометрией. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2014, № 3, с. 8–12.
- [12] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Воронков В.И. Теоретико-экспериментальное исследование охватывающего поверхностного пластического деформирования в условиях противодействия металлоплакирующих смазочных материалов. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 10, с. 11–15.
- [13] Щедрин А.В., Гаврилов С.А. Перспективные методы комбинированного волочения сплошных и полых профилей. *Ремонт, восстановление, модернизация*, 2013, № 6, с. 51–53.
- [14] Щедрин А.В., Кострюков А.А. Перспективные инструменты для реализации методов комбинированной охватывающей обработки. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 7, с. 45, 46.
- [15] Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю., Климошкин К.О. Повышение эффективности комбинированной охватывающей обработки. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2016, № 5, с. 12–16.
- [16] Гаркунов Д.Н., Бабель В.Г., Мельников Э.Л., Щедрин А.В., Аванесян В.П. Новое научное открытие в трибологии на основе самоорганизации. *Научные труды Академии проблем качества. Спецвыпуск*, 2016, № 4, с. 348–356.
- [17] Куренков А.С., Синев И.М., Гаврилов С.А., Щедрин А.В. Проектирование инструмента со сферическими деформирующими элементами для охватывающей обработки длинномерных заготовок. *Вестник машиностроения*, 2015, № 8, с. 59–61.
- [18] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Сергеев Е.С. Исследование технологических возможностей комбинированного инструмента для охватывающей обработки с параллельным сочетанием резания и деформирования. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2014, № 5, с. 40–44.
- [19] Кострюков А.А., Смолкина Т.В., Чихачева Н.Ю., Баринев А.С., Щедрин А.В. Инновационные инструменты для охватывающей обработки. *Сб. тез. докл. Девятой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроение России»*, Москва, 2016, с. 342–345.
- [20] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Кострюков А.А. Совершенствование охватывающего поверхностного пластического деформирования за счет регуляризации микрогеометрии поверхности обрабатываемой заготовки. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2017, № 4, с. 162–168.

## Innovative Methods of Covering Processing

© Barinov A.S. <sup>1</sup>	to@respiro-oz.ru
Smolkina T.V. <sup>1</sup>	ts76@list.ru
Kostruykov A.A. <sup>2</sup>	kaaoz@bk.ru
Chikhachev N.Y. <sup>3</sup>	nadezhdachi@yandex.ru
Shchedrin A.V. <sup>4</sup>	mt13@bmstu.ru

<sup>1</sup> Scientific Production Enterprise «Respirator», Orechovo-Zuevo, 142602, Russia

<sup>2</sup> Joint Stock Company Demikhovo machine-building, Demikhovo village, 142632, Russia

<sup>3</sup> Interregional public organization «Academy of Quality Problems», Moscow, 119991, Russia

<sup>4</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The results of the systemic structural-parametric synthesis of innovative methods of combined covering machining with tools with regular microgeometry of the affected surfaces under the conditions of various technologies for the application of modern metal-lap greases, realizing the fundamental scientific discovery «Garkunov-Kragelsky frictionlessness effect» are presented.*

**Keywords:** covering treatment, regular microrelief, metal-clad grease, frictionlessness effect.

УДК 621.785.545

## Обоснование выбора технологии закалки зубчатых колес

© Власов Максим Валерьевич	momd@yandex.ru
Федоров Сергей Константинович	mr.vlasovm@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены основные виды разрушений зубчатых колес в процессе эксплуатации, выявлена актуальность повышения их износостойкости. Показаны методы закалки зубчатых колес и приведены обоснования выбора технологии. Изложены результаты исследований закаленных поверхностей зубчатых колес методом электрохимической обработки.*

**Ключевые слова:** зубья, износ, эксплуатация, закалка, термообработка, эвольвент, микротвердость, износостойкость, микроструктура.

В конструкциях машин и механизмов большое распространение получили эвольвентные зубчатые профили. Анализ износа таких деталей показал, что значительное большинство выходит из строя из-за низких эксплуатационных свойств поверхностного слоя зубьев. Именно поверхностный слой во многом определяет износостойкость, сопротивление материала усталостному разрушению, контактную выносливость, коррозионную стойкость и другие эксплуатационные свойства.

Основными видами разрушений зубчатых колес являются излом зубьев, усталостное выкрашивание, изнашивание и заедание зубьев.

Изнашивание зубьев — основной вид разрушения зубьев открытых передач, а также закрытых, но недостаточно защищенных от загрязнения абразивными частицами (рис. 1). По мере изнашивания первоначальный эвольвентный профиль зубьев искажается, увеличиваются зазоры в зацеплении, возникают динамические нагрузки и повышенный шум. Основные меры предупреждения износа — повышение твердости зубьев, защита от загрязнения и др. [1].



Рис. 1. Фрагмент изношенного зубчатого колеса

На предприятиях детали (после механической обработки по нарезанию зубчатых профилей) подвергают термическим способам закалки. Прежде всего, это объемная термическая обработка, закалка токами высокой частоты, химико-термическая обработка. Многие процессы являются вредными и экологически небезопасными. При термической обработке присутствуют такие дефекты как неравномерная твердость по сечению, возможно появление термических микротрещин и развитие микротрещин от механической обработки, окисление и обезуглероживание поверхностного слоя, сложность последующей финишной обработки шлифованием и хонингованием [2].

Для деталей с зубчатым профилем применение объемной термической обработки обеспечивает только общую прочность детали, в то время как по условиям эксплуатации требуется дополнительная закалка зубьев. Закалка токами высокой частоты (ТВЧ), повышая твердость зубьев, приводит к их короблению. При малых модулях зубчатого соединения опасно прокаливание зуба насквозь, что делает зуб хрупким. В процессе химико-термической (ХТО) обработки имеют ограничения по размеру и массе зубчатых колес. Процессы ХТО дорогие, их применяют в условиях крупносерийного и массового производств.

Основная цель работы — целенаправленно формировать показатели качества эвольвентных зубчатых профилей деталей из стали и чугуна с учетом условий эксплуатации и схемы нагружения зубчатых соединений.

Для осуществления задуманного предложено использовать эффект электроконтактной закалки и одновременного поверхностного пластического деформирования контактной зоны эвольвентного зубчатого профиля методом электромеханической обработки (ЭМО) [3, 4].

Электромеханическая поверхностная закалка является способом контактной обработки поверхностей высококонцентрированным источником электрической энергии, объединяющим силовое и термическое воздействие инструмента на поверхность

заготовки. Высокая скорость нагрева позволяет получать твердость выше, чем при объемной и ТВЧ закалках, а также исключить дефекты, характерные традиционным методам термической обработки.

Конкурентной особенностью технологии является возможность гибкого управления параметрами скоростного электронагрева и одновременного термопластического деформирования материала поверхностного слоя с целью формирования уникальных быстрозакаленных структур, изменения микрогеометрии и текстуры волокон металла поверхности, уменьшения размера зерна, уплотнения пористых слоев, повышения адгезии и когезии.

На основе спектрального анализа проведены исследования свойств поверхностного слоя твердых металлов после электромеханической обработки. Были выполнены три группы измерений микротвердости: от упрочненного слоя к сердцевине; непосредственно в самой сердцевине; вдоль упрочненного слоя.

Упрочненный слой имеет непостоянную по значению микротвердость. При контакте ролика с образцом появляется зона термического влияния. В результате обработки эти зоны накладываются друг на друга, образуя более или менее упрочненную структуру поверхности. На полученных изображениях микроструктуры видна игольчатая дендритная структура мартенсита, которая постепенно превращается в феррито-перлитную структуру (рис. 2).

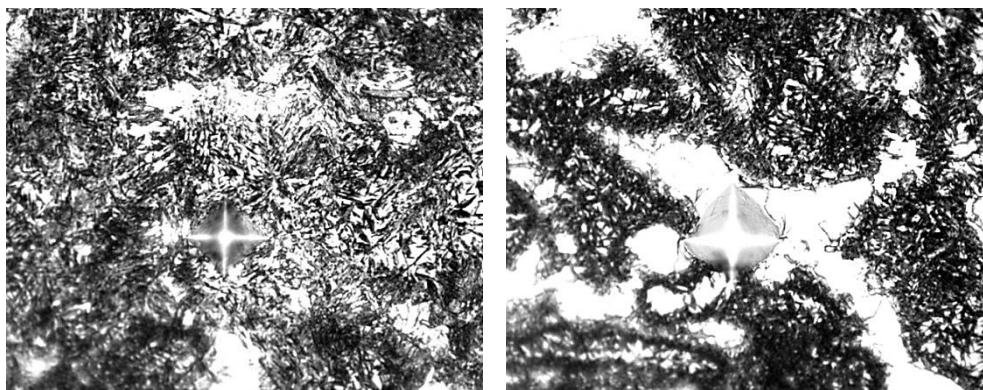


Рис. 2. Микроструктура упрочненного слоя стали 45 (400:1)

Сравнительные испытания износостойкости обработанной поверхности образцов проводили на машине трения 2070 СМТ-1 по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 23.224–86, по схеме «ролик-колодка».

Исследования износостойкости показали, что ролики, обработанные ЭМО, имеют относительную износостойкость выше чем незакаленные образцы. К тому же суммарный износ необработанных образцов в 3,4 раза выше износа сопряжения, ролик которого обработан ЭМО.

### Литература

- [1] *Машиностроение. Энциклопедия. Детали машин. Конструкционная прочность, трение, износ, смазка. Т. IV* / Под ред. Д.Н. Решетова. Москва, Машиностроение, 1995.
- [2] Елагина О.Ю. *Технологические методы повышения износостойкости деталей машин*. Москва, Университетская книга, 2009, 488 с.



- [3] Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. Москва, Машиностроение, 1989, 197 с.
- [4] Федоров С. К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка. *РИТМ*, 2012, № 2 (70), с. 14–16.

## Justification of the Choice of the Technology of Hardening of Gear

© | Vlasov M.V.  
Fedorov S.K.

momd@yandex.ru  
mr.vlasovm@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The main types of fractures of gears are considered. Relevance of increase in wear resistance of gear is revealed. The methods of hardening of gear are considered and the reasons for the choice of technology are given. The results of studies of hardened surfaces of gear by the method of electromechanical processing are presented.*

**Keywords:** gear, wear, hardening, microhardness, wear resistance, microstructure.

УДК 621.785.545

## Результаты износных испытаний на износ чугунных образцов

© | Горковцов Арсений Андреевич  
Ломпас Андрей Михайлович  
Федорова Лилия Владимировна

gorkovtsov.ars@gmail.com  
andreilompas@mail.ru  
momd@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

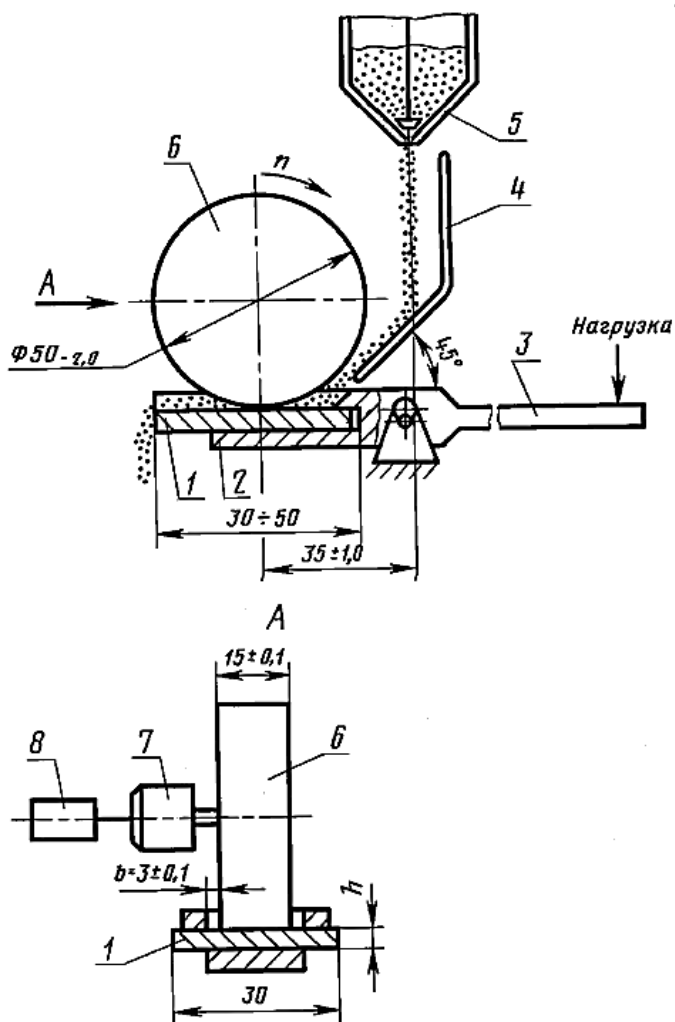
*Рассмотрены методы повышения износостойкости гильз цилиндров двигателей. Изложены результаты испытаний на износ чугунных образцов в исходном состоянии и после электромеханической обработки.*

**Ключевые слова:** гильзы цилиндров, износ, закалка, термообработка, электромеханическая обработка.

Гильза цилиндров является одной из наиболее ответственных деталей двигателя. Основным дефектом, ограничивающим ресурс работы гильз цилиндров двигателя, является износ отверстия. Гильзы должны обеспечивать необходимую долговечность двигателя, особенно при работе в тяжелых условиях, когда процесс абразивного износа усиливается и увеличивается тепловое воздействие на поверхности трения.

Существуют различные способы повышения износостойкости гильз цилиндров двигателей: использование нирезистовых вставок, легирование, химико-термическая обработка, поверхностно пластическое деформирование, лазерная закалка, закалка токами высокой частоты, электромеханическая обработка (ЭМО) [1–3].

Испытание проводили в соответствии с ГОСТ 23.208–79 [4]. Общий вид испытательного стенда показан на рисунке. В исследованиях сравнивали образцы гильзы цилиндра в исходном состоянии материала и после ЭМО.



Принципиальная схема испытательного стенда:

- 1 — образец; 2 — держатель; 3 — рычаг; 4 — направляющий лоток; 5 — дозатор подачи абразивных частиц; 6 — резиновый ролик; 7 — привод; 8 — устройство контроля суммарного количества оборотов ролика

Испытываемый образец 1 крепили в держателе 2. К рычагу 3 прикладывали нагрузку и, тем самым, обеспечивали постоянный контакт между резиновым роликом 6 и образцом. Резиновый ролик, под действием привода 7, совершал вращение вокруг своей оси. Количество оборотов ролика 6 фиксировали счетчиком числа оборотов 8. В зону трения образца и ролика из дозатора 5 по направляющему лотку 4

подавали абразив фракцией 16 мкм. По результатам испытаний через равные промежутки времени делают заключение об износостойкости материалов.

Массу образцов измеряли на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Продолжительность и периодичность замера износа образцов каждые 5, 10, 15, 20, 25 мин.

По результатам взвешивания образцов после испытаний, изменение массы занесли в таблицу.

**Результаты износных испытаний образцов на износ**

Время испытаний, мин	Износ образцов, г	
	Исходный образец	Образец после ЭМО
5	0,065	0,031
10	0,106	0,033
15	0,123	0,068
20	0,176	0,135
25	0,226	0,174

Испытания показали, что чугунные образцы, обработанные ЭМО, имеют износостойкость выше по сравнению с незакаленными образцами. Через 5 мин испытаний износостойкость образцов после ЭМО в два раза выше, а после 10 мин — в 3 раза выше, что объясняется более высокой твердостью поверхностного слоя чугунных образцов закаленных ЭМО по сравнению с твердостью исходных образцов.

### Литература

- [1] Аскинази Б.М. *Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой*. Москва, Машиностроение, 1989, 197 с.
- [2] Федоров С.К., Федорова Л.В., Ломпас А.М. ЭМО для повышения надежности машин-*РИТМ*, 2017, № 4 (117), с. 96–98.
- [3] Федоров С.К., Федорова Л.В. Электромеханическая обработка. *РИТМ*, 2012, № 2 (70), с. 14–16.
- [4] ГОСТ 23.208–79. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о жестко закрепленные абразивные частицы.

## Results of Wear Tests of Cast iron Samples

©	Gorkovtsov A.A.	gorkovtsov.ars@gmail.com
	Lompas A.M.	andreilompas@mail.ru
	Fedorova L.V.	momd@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Methods of increasing wear resistance of cylinder liners of engines are considered. The results of wear tests of cast iron samples in the initial state and after electromechanical treatment (EMT) are presented.*

**Keywords:** *cylinder liners, wear, hardening, heat treatment, electromechanical treatment.*

УДК 621.787

## Теоретическое и экспериментальное исследование метода комбинированного дорнования отверстий инструментом с регулярной микрогеометрией в условиях применения металлоплакирующих смазок

©	Зинин Михаил Александрович <sup>1</sup> Косарев Илья Вячеславович <sup>1</sup> Сергеев Евгений Сергеевич <sup>1</sup> Поляков Артем Олегович <sup>2</sup> Щедрин Алексей Вячеславович <sup>3</sup>	Zinin1982@gmail.com t-5511@yandex.ru to@respiro-oz.ru artemdrezna@mail.ru
---	--	--

<sup>1</sup> ОАО «НПП “Респиратор”», Орехово-Зуево, 142600, Россия

<sup>2</sup> АО «НПП “Проект-техника”», Москва, 142635, Россия

<sup>3</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*С учетом параметров очага деформации и явления избирательного переноса при трении уточнена и адаптирована формула А.Л. Воронцова для прогнозирования силы комбинированного дорнования отверстий инструментом с регулярной микрогеометрией воздействующих поверхностей в условиях применения инновационных металлоплакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие — эффект безызносности при трении Гаркунова — Крагельского.*

**Ключевые слова:** регулярный микрорельеф, металлоплакирующие смазки, эффект безызносности при трении.

Комбинированное дорнование инструментом с регулярной микрогеометрией воздействующих поверхностей [1] — высокоэффективный технологический метод формообразующей и отделочно-упрочняющей обработки отверстий различной формы поперечного сечения и длины [2–4]. В настоящее время данные методы системно [5, 6] совершенствуются за счет совместного применения регулярной микрогеометрии инструмента и инновационных металлоплакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие — эффект безызносности (избирательного переноса) при трении Гаркунова — Крагельского [7–12].

При выборе оптимального технологического оборудования для реализации соответствующих технологических операций необходимо достаточно точно прогнозировать силу обработки — динамические характеристики данных методов обработки [5, 6, 13].

В работе [14] предложена наиболее точная теоретическая модель суммарной силы дорнования цилиндрических отверстий. С учетом параметров очага деформации [15] и эффекта избирательного переноса в виде образования сервовитной пленки [15] модель [14] можно описать выражением

$$F_d^T = 1,155 \left[ \ln \left( \frac{D_{з.н}}{D_{л} + 2h_{с.п}} \right) + \frac{\left( \frac{D_{з.н}}{D_{л} + 2h_{с.п}} \right)}{2 \left( 1 - \frac{(D_{з.в} - 2h_{с.п} \pm 2\Delta R_3)}{(D_{л} + 2h_{с.п})} \right)} \right] \text{ctg } \alpha + \frac{\cos 2\alpha}{4}$$

$$+ f \operatorname{ctg} \alpha - 0,75 \left( \frac{D_{з.в} - 2h_{с.п} \pm 2\Delta R_3}{D_{л} + 2h_{с.п}} \right)^2 \times$$

$$\times \frac{\pi \left( (D_{л} + 2h_{с.п})^2 - (D_{з.в} - 2h_{с.п} \pm 2\Delta R_3)^2 \right)}{4} \frac{1}{\sigma_s} + \pi (D_{л} + 2h_{с.п}) L_{л} f \sigma_y. \quad (1)$$

Теоретическая удельная сила дорнования, Н/мм, будет иметь вид

$$q_d^T = \frac{F_d^T}{\pi (D_{л} + 2h_{с.п})}, \quad (2)$$

где  $D_{з.н}$  — наружный диаметр заготовки детали, мм;  $D_{л}$  — диаметр деформирующего элемента по калибрующей ленточке, мм;  $h_{с.п}$  — толщина сервитивной пленки (мм — в выражении (1), мкм — в (3));  $D_{з.в}$  — внутренний диаметр отверстия заготовки детали перед дорнованием, мм;  $\pm \Delta R_3$  — параметр очага деформации в виде знака и высоты волны внеконтактной деформации, возникающей на рабочем конусе деформирующего элемента, мм;  $\alpha$  — угол рабочего конуса деформирующего элемента, град;  $\sigma_s$  — среднее по очагу деформации напряжение текучести обрабатываемого материала, МПа;  $L_{л}$  — ширина калибрующей ленточки деформирующего элемента, мм;  $f$  — коэффициент трения скольжения;  $\sigma_y$  — предел упругости обработанного материала заготовки детали, МПа.

Коэффициент трения скольжения [5] определяли по упрощенной формуле И.В. Крагельского:

$$f = f_a + f_d = \left( \frac{\tau_0}{HB_3} + \beta \right) + \left( 0,4 \sqrt{\frac{\varepsilon_3 (H_{з \max} + h_{с.п})}{R_{и}}} \right), \quad (3)$$

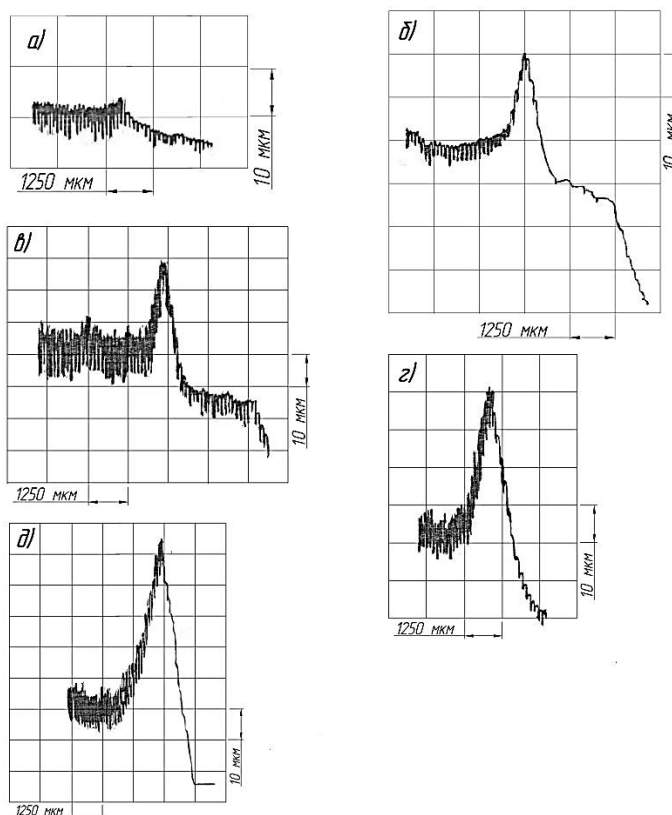
где  $f_a, f_d$  — адгезионная и деформационная составляющая коэффициента трения скольжения;  $\tau_0$  — прочность адгезионной связи при отсутствии нормального контактного давления, МПа;  $\beta$  — пьезокоэффициент влияния нормального контактного давления на прочность адгезионной связи;  $\varepsilon_3$  — относительная деформация максимального микровыступа шероховатой поверхности отверстия заготовки детали;  $H_{з \max}$  — высота максимального микровыступа шероховатой поверхности отверстия заготовки детали, мкм;  $R_{и}$  — приведенный радиус при вершине микровыступа шероховатой поверхности деформирующего элемента, мкм;  $HB_3$  — исходная твердость материала заготовки детали, МПа.

В качестве объекта проверки достоверности теоретической модели (2) примем метод комбинированного дорнования отверстий деформирующим элементом с регулярной микрогеометрией воздействующих поверхностей в условиях применения инновационных металлоплакирующих смазок [7, 8]. В качестве экспериментальных образцов-заготовок используем цилиндрические втулки из лагуни марки ЛС 59-1 наружным диаметром 39 мм и высотой 40 мм. Предварительная обработка отверстий образцов-заготовок — растачивание. В качестве обрабатывающего инструмента выбираем сборную прошивку-дорт со сменными деформирующими элементами из быстрорежущей стали Р6М5 [11]. Воздействующая поверхность деформирующего элемента упрочняется однозаходным винтовым регулярным микрорельефом [5, 7, 8]

с радиусом канавок 1,5 мм, шагом 0,5 мм и их глубиной на участке калибрующей ленточки 8 мкм. В качестве технологической смазки применяем минеральное масло марки И-40 с добавкой по объему 20 % металлоплакирующей медесодержащей присадки «Валена» [17], реализующей эффект безызносности (эффект избирательного переноса) при трении Гаркунова — Крагельского [16]. Скорость прошивания 0,05 м/мин. Для учета в теоретической модели (2) упрочнения обрабатываемого материала проводили испытания по ГОСТ 25.503–97 [18]. В результате кривая упрочнения (МПа) латуни марки ЛС 59-1 имеет вид

$$\sigma_s = -1395e_i^2 + 1645,2e_i + 245,97, ;$$

где  $e_i$  — величина накопленной деформации обрабатываемого материала [14].

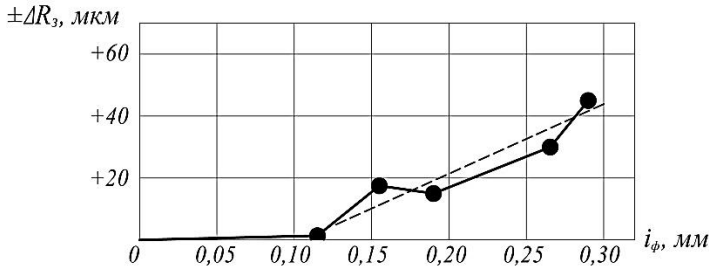


**Рис. 1.** Продольные профилограммы очагов деформации при прошивании отверстий в образцах-заготовках из латуни марки ЛС 59-1 (смазка: И-40 + 20 % «Валены»):  
 а–д соответствуют  $i_\phi = 0,114; 0,1558; 0,265; 0,2925$  мм

На рис. 1 представлены продольные профилограммы очагов деформации, по которым построена зависимость знака и высоты волны внеконтактной деформации, возникающей на рабочем конусе деформирующего элемента (рис. 2). Здесь  $i_\phi$  — фак-

тическая абсолютная деформация отверстия образцов-заготовок на диаметр, мм. Аналитически зависимость (см. рис. 2) может быть представлена как (обозначено пунктиром)

$$\pm\Delta R_3 = -23,08 + 220,08 i_\phi.$$



**Рис. 2.** Зависимость параметра очага деформации (знак и высота волны внеконтактной деформации), возникающего на рабочем конусе деформирующего элемента

Исходные данные для расчета теоретического значения удельной силы комбинированного дорнования представлены в табл. 1. В табл. 2 даны значения теоретической (расчетной) удельной силы комбинированного дорнования, которые после аппроксимации можно представить в виде (Н/мм):

$$q_d^T = 82,85 + 728,37 i_\phi. \quad (4)$$

По данным работ [7, 8] экспериментальная удельная сила комбинированного дорнования определяется из выражения

$$q_d^3 = 66,05 + 802,1 i_\phi. \quad (5)$$

Из сопоставления выражений (4), (5) следует, что в диапазоне  $i_a = 0,1 \dots 0,4$  мм относительная погрешность составляет от +6,44 до -3,2 % соответственно, что приемлемо для инженерной практики. Графическая интерпретация сопоставления экспериментальных и теоретических (расчетных) значений удельной силы комбинированного дорнования показана на рис. 3.

Таблица 1

**Исходные данные для расчета теоретического значения удельной силы комбинированного дорнования**

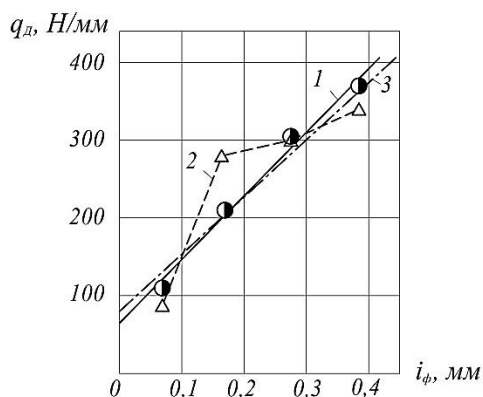
$i_\phi, \text{мм}$	0,067	0,17	0,277	0,387
$\varepsilon_3$	0,847	0,822	0,902	0,916
$H_3 \text{ макс}, \text{МКМ}$	2,712	2,43	2,772	2,826
$h_{c.п.}, \text{МКМ}$	1,5	1,5	1,5	1,5
$\tau_0, \text{МПа}$	9,435	9,435	9,435	9,435
$\beta$	0	0	0	0

$R_{и}$ , МКМ	938	938	938	938
$L_{дв}$ , мм	7	7	7	7
$\alpha$ , град	5	5	5	5
$D_{дв}$ , мм	20,2	20,2	20,2	20,2
$D_{з.в.}$ , мм	20,133	20,03	19,923	19,813
$\pm\Delta R_{з.}$ , МКМ	0	+16	+37	+67
$f_a$	0,006	0,006	0,006	0,006
$f_d$	0,0246	0,0234	0,0256	0,0259
$F$	0,0306	0,0294	0,0316	0,0319
$e_i$	0,00418	0,012	0,0179	0,0303
$\overline{\sigma}_s$ , МПа	249,409	255,74	260,46	270,2
$\sigma_y$ , МПа	3,45	3,45	3,45	3,45

Таблица 2

**Значения теоретической (расчетной) удельной силы комбинированного дорнования**

$i_{ф}$ , мм	0,067	0,17	0,277	0,387
$q_d^T$ , Н/мм	81,8	274,72	295,49	335,53



**Рис. 3.** Графическое сопоставление экспериментальных и теоретических значений удельного усилия прошивания в зависимости от фактической абсолютной деформации отверстий образцов-заготовок из латуни марки ЛС 59-1 (смазка: И-40 +20 % «Валены»):

1 — экспериментальная аппроксимированная зависимость (5) [7, 8]; 2 — неаппроксимированная теоретическая зависимость (таблица 2); 3 — аппроксимированная теоретическая зависимость (4)



Полученные результаты дают возможность существенно повысить эффективность алгоритмических процедур «систем искусственного технологического интеллекта», применяемых при целенаправленном синтезе инновационных методов комбинированного дорнования прецизионных отверстий [5, 6, 13].

### Литература

- [1] Щедрин А.В., Ульянов В.В., Бекаев А.А. Повышение эффективности комбинированной обработки отверстий на основе регуляризации микрогеометрии поверхности рабочих элементов инструмента. *Ремонт, восстановление, модернизация*, 2009, № 6, с. 14–19.
- [2] Щедрин А.В., Таненгольц А.Б. Совершенствование характеристик инструмента для деформирующе-выглаживающего прошивания отверстий. *Машиностроитель*, 2002, № 11, с. 20–23.
- [3] Щедрин А.В., Агапов В.А., Морозова Н.В. Прошивание прецизионных отверстий в неравножестких заготовках // СТИН. 1996. №10. С. 23-30.
- [4] Щедрин А.В. Ресурсосберегающие технологии обработки гильзы пневмоцилиндра. *СТИН*. 1999. №4. С. 42–4.
- [5] Щедрин А.В., Ульянов В.В., Чихачева Н.Ю. Трибология как фундаментальная основа системного проектирования конкурентоспособных технологических объектов. *Ремонт, восстановление, модернизация*, 2009, № 4, с. 15–20.
- [6] Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю. Искусственный технологический интеллект как идеологическая основа всеобщей системы методов обработки материалов. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 6, с. 20–26.
- [7] Зинин М.А., Сергеев Е.С., Гаврилов С.А., Щедрин А.В. Совершенствование технологии комбинированной обработки нешлифуемых цветных металлов на основе реализации «эффекта безызносности». *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2011, № 1 (11), с. 139–144.
- [8] Зинин М.А., Гаврилов С.А., Щедрин А.В., Гаркунов Д.Н. Влияние металлоплакирующей присадки «Валена» на показатели комбинированной обработки. *Вестник машиностроения*, 2011, № 9, с. 77–80.
- [9] Щедрин А.В., Гаврилов С.А., Зинин М.А. Оптимизация рецептуры металлоплакирующих смазок для комбинированного дорнования отверстий в заготовках из нешлифуемых цветных сплавов. *Вестник машиностроения*, 2012, № 9, с. 76–79.
- [10] Сергеев Е.С., Зинин М.А., Гаврилов С.А., Щедрин А.В., Воронков В.И., Поляков А.О. Влияние угла наклона воздействующих поверхностей деформирующего элемента на характеристики методов комбинированного прошивания (протягивания) отверстий. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 3, с. 20–24.
- [11] Щедрин А.В., Поляков А.О. Влияние металлоплакирующих смазочных материалов на процесс комбинированного прошивания отверстий. *Вестник машиностроения*, 2015, № 4, с. 71–75.
- [12] Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю., Поляков А.О., Косарев И.В., Медвинская Н.С. Технологические возможности метода комбинированного прошивания отверстий с противодавлением металлоплакирующих смазок. *Сборка в машиностроении и приборостроении*, 2016, № 9, с. 30–35.
- [13] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Чихачева Н.Ю. *Технологическая трибология на основе самоорганизации*. Германия, LAMBERT, 2016, 85 с.
- [14] Воронцов А.Л. *Технологические задачи теории пластичности*. Т. 3. Москва, Машиностроение-1, 2006, 473 с.
- [15] Щедрин А.В., Гаврилов С.А., Косарев И.В., Смолкина Т.В., Зинин М.А., Сергеев В.С. Формирование очагов деформации при охватывающем поверхностном пластическом деформировании. *Трение и смазка в машинах и механизмах*, 2014, № 10, с. 3–7.
- [16] Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Бабель В.Г. *Трибология на основе самоорганизации*. Германия: LAMBERT, 2015, 245 с.

- [17] Бабель В.Г., Гаркунов Д.Н., Мамыкин С.М., Корник П.И. Металлосодержащая маслорастворимая композиция для смазочных материалов. Пат. № 2277579 РФ. Заявл. 26.05.2005. Опубл. 10.06.2006.
- [18] ГОСТ 25.503–97. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие.

## Theoretical and Experimental Study of the Methods of Combined Sewing (Pulling) of Holes with Regular Microgeometry under the Conditions of Application of Metal-lap Greases

©	Zinin M.A. <sup>1</sup>	Zinin1982@gmail.com
	Kosarev I.V. <sup>1</sup>	t-5511@yandex.ru
	Sergeev E.S. <sup>1</sup>	to@respiro-oz.ru
	Poliakov A.O. <sup>2</sup>	artemdrezna@mail.ru
	Shchedrin A.V. <sup>3</sup>	

<sup>1</sup> JSC RPE "Respirator", Orekhovo-Zuevo, 142600, Russia

<sup>2</sup> JSC RPE "Proekt-tekhnika", Moscow, 125362, Russia

<sup>3</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Given the parameters of the deformation zone and the phenomenon of selective transfer at friction refined and adapted formula A.L. Vorontsov to predict the strength of the combined holes burnishing tool with regular microgeometry impacting surfaces in the application of innovative lubricants metalplacking implementing fundamental scientific discovery, «the effect of the friction wearlessness Garkunova-Kragelskii».*

**Keywords:** regular microrelief, metalplacking lubricant, the effect of the friction wearlessness.

УДК 621.787

## Совершенствование алгоритмов системно-параметрического синтеза методов охватывающей обработки

©	Козлов Алексей Юрьевич <sup>1,2</sup>	t-5511@yandex.ru
	Щедрин Алексей Вячеславович <sup>2</sup>	

<sup>1</sup> ООО «Машиностроительный завод "ТОНАР"», д. Губино, Московская обл., 142635, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*С учетом параметров очага деформации и явления «избирательного переноса при трении» уточнена и адаптирована формула А.Л. Воронцова для охватывающей обработки — редуцирования сплошной цилиндрической заготовки инструментом с регулярной микрогеометрией поверхности в условиях самовозбуждаемого противодавления инновационных металлолакирующих смазок, реализующих фундаменталь-*

ное научное открытие — «эффект безызносности при трении Гаркунова — Крагельского» и защиту от «водородного изнашивания» (дипломы на научное открытие № 41 и № 3778 Гос. реестра СССР).

**Ключевые слова:** охватывающая обработка, металлоплакирующая смазка, регулярный микрорельеф, эффект безызносности при трении.

С использованием алгоритмических процедур импортозамещающего направления «трибология на основе самоорганизации» [1–3] и «искусственного технологического интеллекта» [4] системно синтезированы высокоэффективные методы охватывающей обработки сплошных и полых профилей инструментом с регулярной микрогеометрией воздействующих поверхностей в условиях различных технологий применения инновационных металлоплакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие «эффект безызносности при трении Гаркунова — Крагельского». [5–8]. При этом наибольшую результативность имеют методы охватывающей обработки с самовозбуждаемым противодавлением и истечением металлоплакирующей смазки по канавкам регулярного микрорельефа воздействующей поверхности инструмента [8, 9], на которые получены патенты РФ на изобретение №№ 2063861, 2560475 и 2593062.

Для выбора необходимого технологического оборудования с оптимальными энергосиловыми характеристиками с учетом параметров очага деформации и явления «избирательного переноса при трении» [1] уточнена и адаптирована формула А.Л. Воронцова [10] для удельной силы при охватывающей обработке редуцированием [8, 9], имеющая вид

$$q_d^m = 0,25(D_n - 2h_{c.n})\sigma_T \left[ \left( 2 + f \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha} \right) \ln \left( \frac{R_3 \pm \Delta R_3 + h_{c.n}}{0,5D_n - h_{c.n}} \right) + \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} + 2f\Delta L_n \right] + q_n, \quad (1)$$

где  $q_d^T$  — теоретическое значение удельной силы редуцирования, Н/мм;  $D_n$  — диаметр рабочего канала фильеры по калибрующей ленточке, мм;  $h_{c.n}$  — толщина сервовитной пленки (мм в выражении (1), мкм далее в выражении (2));  $\sigma_T$  — среднее по очагу пластической деформации напряжение текучести обрабатываемого материала, МПа;  $f$  — коэффициент трения-скольжения;  $\alpha$  — угол рабочего конуса фильеры, град;  $R_3$  — радиус заготовки, мм;  $\pm \Delta R_3$  — знак и величина волны внеконтактной деформации, возникающей на рабочем конусе фильеры, мм;  $L_n$  — ширина калибрующей ленточки фильеры, мм;  $q_n$  — удельная сила от самовозбуждаемого противодавления металлоплакирующей смазки.

Коэффициент трения скольжения  $f$  определяется по упрощенной формуле на основе адгезионно-деформационной теории трения И.В. Крагельского [3]:

$$f = f_a + f_d = \left( \frac{\tau_0}{HB_3} + \beta \right) + \left( 0,28 \sqrt{\frac{\varepsilon_3 (H_{3 \max} + h_{c.n})}{R_n}} \right), \quad (2)$$

где  $f_a$ ,  $f_d$  — адгезионный и деформационный компоненты коэффициента трения скольжения соответственно;  $\tau_0$  — прочность адгезионной связи при отсутствии нормального контактного давления, МПа;  $HB_3$  — поверхностная твердость обрабатыва-

емой заготовки, МПа;  $\beta$  — пьезокоэффициент влияния нормального контактного давления на прочность адгезионной связи;  $\varepsilon_3$  — относительная деформация максимального микровыступа шероховатой поверхности обрабатываемой заготовки, мкм;  $H_{3\max}$  — высота максимального выступа шероховатой поверхности обрабатываемой заготовки, мкм;  $R_n$  — продольный радиус при вершине единичного микровыступа регулярного микрорельефа шероховатой поверхности рабочего канала редуцирующей фильеры с учетом толщины сервовитной пленки, мкм.

Как показала экспериментальная проверка [9, 11], выражение (1) имеет высокую точность параметрического анализа и синтеза, по аналогии с другими уточненными таким образом математическими моделями [12, 13].

Следующим направлением совершенствования алгоритмов системного структурно-параметрического синтеза инновационных методов охватывающей обработки будет адаптация полученных математических моделей к редуцированию и волочению заготовок с предварительно выполненной регулярной микрогеометрией поверхности и антифрикционным покрытием [14–16]. Данные методы позволяют стабильно уменьшать силу обработки на 58...72 %.

Дополнительно необходимо совершенствовать и развивать математические модели [17] характеристик методов комбинированной, деформирующе-режущей охватывающей обработки [18, 19].

### Литература

- [1] Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Бабель В.Г. *Трибология на основе самоорганизации*. Германия, Изд-во “LAMBERT”, 2015, 245 с.
- [2] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Чихачева Н.Ю. *Технологическая трибология на основе самоорганизации*. Германия, Изд-во “LAMBERT”, 2016, 92 с.
- [3] Щедрин А.В., Ульянов В.В., Бекаев А.А., Скоромнов А.В., Ванюшкина М.С., Абрамова Т.Г., Хомякова Н.В., Чихачева Н.Ю. *Трибология как фундаментальная основа системного проектирования конкурентоспособных технологических объектов. Ремонт, восстановление, модернизация*, 2009, № 4, с. 15–20.
- [4] Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю. *Искусственный технологический интеллект как идеологическая основа всеобщей системы методов обработки материалов. Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 6, с. 20–26.
- [5] Щедрин А.В., Гаврилов С.А., Ерохин В.В., Бирюков А.И., Юшин Д.Н. *Повышение качества и производительности методов комбинированной обработки инструментом с регулярной микрогеометрией поверхности на основе применения металлоплакирующих смазок. Упрочняющие технологии и покрытия*, 2011, № 8, с. 21–25.
- [6] Гаврилов С.А. *Совершенствование процесса поверхностного пластического деформирования на основе применения металлоплакирующих смазочных материалов. Трение и смазка в машинах и механизмах*, 2013, № 4, с. 33–39.
- [7] Щедрин А.В., Гаврилов А.С., Косарев И.В., Смолкина Т.В., Зинин М.А., Сергеев Е.С. *Формирование очагов деформации при охватывающем поверхностном пластическом деформировании. Трение и смазка в машинах и механизмах*, 2014, № 10, с. 3–7.
- [8] Гаврилов С.А., Щедрин А.В. *Совершенствование технологий применения металлоплакирующего кондиционера в методах комбинированной обработки. Вестник машиностроения*, 2012, № 6, с. 75–78.
- [9] Щедрин А.В., Козлов А.Ю. *Совершенствование технологии применения металлоплакирующих смазочных материалов в методах охватывающего поверхностного пластического деформирования инструментом с регулярной микрогеометрией. Упрочняющие технологии и покрытия*, 2014, № 3, с. 8–12.

- [10] Воронцов А.Л. *Технологические задачи теории пластичности*. Т. 2. Москва, Машиностроение, 2006, 397 с.
- [11] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Воронцов В.И. Теоретико-экспериментальное исследование охватывающего поверхностного пластического деформирования в условиях противодействия металлоплакирующих смазочных материалов. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 10, с. 11–15.
- [12] Кузнецов В.А., Щедрин А.В., Гаврилов С.А., Воронков В.И., Мельников Э.Л. Теоретические и экспериментальные исследования охватывающего поверхностного пластического деформирования в условиях применения металлоплакирующих смазочных материалов. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2014, № 2, с. 11–17.
- [13] Щедрин А.В., Алешин В.Ф., Кострюков А.А. Совершенствование формулы для прогнозирования силы волочения сплошных цилиндрических заготовок инструментом с регулярным микрорельефом. *Инновационная наука*, 2017, № 2-1, с. 103–106.
- [14] Гаркунов Д.Н., Бабель В.Г., Мельников Э.Л., Щедрин А.В., Аванесян В.П. Новое научное открытие в трибологии на основе самоорганизации. *Научные труды Академии проблем качества. Спецвыпуск*, 2016, с. 348–356.
- [15] Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю., Климочкин К.О. Повышение эффективности комбинированной охватывающей обработки. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2016, № 5, с. 12–16.
- [16] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Кострюков А.А. Совершенствование охватывающего поверхностного пластического деформирования за счет регуляризации микрогеометрии поверхности обрабатываемой заготовки. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2017, т. 13, № 4, с. 162–169.
- [17] Shchedrin A.V. Interaction of spherical deforming element and cylindrical blank in hybrid drawing. *Russian Engineering Research*, 2010, vol. 10, no. 12, pp. 1238–1240.
- [18] Shchedrin A.V., Kurenkov A.S. Design of tool with spherical deforming elements for machining long blanks. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, no. 11, pp. 835–837.
- [19] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Сергеев Е.С. Исследование технологических возможностей комбинированного инструмента для охватывающей обработки с параллельным сочетанием резания и деформирования. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2014, № 5, с. 40–44.

## Improve the Algorithms of the System-Parametric Synthesis Methods Involving Treatment

© | Kozlov A.Y.<sup>1,2</sup>  
| Schedrin A.V.<sup>2</sup>

t-5511@yandex.ru

<sup>1</sup>ООО "МЗ ТОНАР", d. Gubino, Moscow region, 142635, Russia

<sup>2</sup>ВМСТУ, Moscow, 105005, Russia

*Given the parameters of the deformation and the phenomenon of «selective transfer in friction» refined and adapted the formula A. L. Vorontsov for covering a treatment - reduction of a solid cylindrical workpiece tool with regular microgeometry of the surface in terms of alternator electronic type backpressure innovative metalloplastic lubricants that implement fundamental scientific discovery «the effect of bezyshodnosti the friction Garkunov-Kragelskii» and protection from «hydrogen wear» (diploma for scientific discovery No. 41, 3778 State. registry of the USSR).*

**Keywords:** covering treatment, metalloplastmassy lubrication, regular micror relief, the effect of bezyshodnosti by friction.

УДК 621.787

## Уточнение формулы для прогнозирования силы волочения сплошных цилиндрических заготовок инструментом с регулярным микрорельефом

© Кострюков Александр Андреевич<sup>1,2</sup>      kaaoz@bk.ru  
Щедрин Алексей Вячеславович<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «Демиховский машиностроительный завод», д. Демихово, 142632, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*С учетом параметров очага деформации и явления избирательного переноса уточнена теоретическая формула А.Л. Воронцова для прогнозирования силы волочения сплошных цилиндрических заготовок инструментом с регулярным микрорельефом в условиях применения инновационных металлолакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие — «эффект безызносности при трении Гаркунова — Крагельского».*

**Ключевые слова:** сила волочения, регулярный микрорельеф, металлолакирующая смазка, эффект безызносности при трении.

Как показывает современная научная и промышленная статистика [1–4] уточнение теоретических моделей определения сил волочения сплошных цилиндрических заготовок по-прежнему является актуальным. В работе [5] предложена наиболее точная формула для определения сил волочения, полученная на основе соотношений теории пластического течения. Однако эта формула не учитывает параметры очага деформации [6, 7], возникающего на рабочем конусе инструмента (фильеры) и явления избирательного переноса [8–10] в условиях применения инновационных металлолакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие «эффект безызносности при трении Гаркунова — Крагельского» [11–14]. Также формула [5] не учитывает характер и параметры микрогеометрии рабочего канала волочильного инструмента, которая может быть иррегулярной, регулярной или комбинированной [15]. С учетом изложенного выше, по аналогии с [7], формула из [5] в виде удельной силы волочения будет иметь вид (Н/мм):

$$q_d^T = 0,25(D_n - 2h_{c.n})\sigma_s \times \left[ \left( 2 + f \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} \right) \ln \left( \frac{D_3 \pm 2R_3 + 2h_{c.n}}{D_n - 2h_{c.n}} \right) + \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} + 2f \frac{L_n}{D_n - 2h_{c.n}} \right], \quad (1)$$

где  $\sigma_s$  — средний по очагу деформации предел текучести обрабатываемого материала, МПа;  $D_n$  — диаметр рабочего канала инструмента (деформирующей фильеры) по калибрующей ленточке, мм;  $f$  — коэффициент трения скольжения;  $\alpha$  — угол рабочего конуса деформирующей фильеры, град;  $D_3$  — диаметр обрабатываемой сплошной цилиндрической заготовки, мм;  $\pm \Delta R_3$  — параметр очага деформации в виде знака и высоты волны внеконтактной деформации, возникающей на рабочем конусе фильеры, мм;  $L_n$  — ширина калибрующей ленточки фильеры, мм;  $h_{c.n}$  — толщина медной сервовитной пленки, мм.

В качестве объекта экспериментальной проверки выражения (1) используем метод охватывающего поверхностного пластического деформирования (волочения) сплошных цилиндрических образцов из стали марки 45 (9ХС) деформирующей фильеры с регулярной микрогеометрией поверхности рабочего канала в условиях применения металлоплакирующей смазки [6, 9].

При этом экспериментальная зависимость удельной силы волочения в диапазоне абсолютной деформации на диаметр  $i = 0,091 \dots 0,489$  мм [6,7,9] имеет вид (Н/мм):

$$q_d^0 = 49,363 + 364,31i. \quad (2)$$

Все исходные данные для сравнения представлены в работе [7], в которой выполнено аналогично (1) уточнение формулы силы волочения [1].

В табл. 1 представлены теоретические (расчетные) значения удельной силы волочения по выражению (1) без учета параметров очага деформации и без корректировки абсолютной деформации  $i$  на величину  $\pm 2\Delta R_3$ .

После аппроксимации данных табл. 1 получим следующую теоретическую зависимость (Н/мм):

$$q_d^T = 57,347 + 303,23i. \quad (3)$$

В табл. 2 приведены теоретические (расчетные) значения удельной силы волочения по выражению (1) с учетом параметров очага деформации [6, 7, 9] и без корректировки абсолютной деформации  $i$  на величину  $\pm 2\Delta R_3$ .

Таблица 1

**Теоретические (расчетные) значения удельной силы волочения по выражению (1) без корректировки абсолютной деформации и без учета параметров очага деформации**

$i$ , мм	0,091	0,206	0,295	0,389	0,489
$q_d^T$ , Н/мм	82,08	118,34	144,34	175,53	213,71

Таблица 2

**Теоретические (расчетные) значения удельной силы волочения по выражению (1) с учетом параметров очага деформации и без корректировки абсолютной деформации**

$i$ , мм	0,091	0,206	0,295	0,389	0,489
$q_d^T$ , Н/мм	93,65	123,9	148,93	164,7	198,82

После аппроксимации данных табл. 1 получим теоретическую зависимость (Н/мм):

$$q_d^T = 76,279 + 236,34i. \quad (4)$$

Расчетные значения удельной силы волочения с учетом параметров очага деформации и с учетом корректировки абсолютной деформации заготовок  $i$  на величину  $\pm 2\Delta R_3$ , представлены в табл. 3, после аппроксимации значений которой имеем (Н/мм):

$$q_d^T = 54,29 + 312,357(i \pm 2\Delta R_3). \quad (5)$$

**Теоретические (расчетные) значения удельной силы волочения по выражению (1) с учетом параметров очага деформации и корректировки абсолютной деформации**

$\pm \Delta R_3$ , мм	+0,014	+0,009	+0,007	−0,016	−0,02
$(i \pm 2\Delta R_3)$ , мм	0,119	0,224	0,309	0,357	0,449
$q_d^*$ , Н/мм	93,65	123,9	148,93	164,7	198,82

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее близкой к экспериментальной зависимости (2) является теоретическая зависимость (5). Полученные результаты расширяют физическую обозримость и повышают комплексность алгоритмических процедур «искусственного технологического интеллекта» [16, 17], применяемого для системного синтеза инновационных методов обработки в условиях реализации фундаментального научного открытия — «эффект безызносности при трении Гаркунова — Крагельского».

### Литература

- [1] Кучеряев Б.В., Николаев Р.А., Жукова Е.А. Расчет энергосиловых параметров процесса волочения прутков. *Производство проката*, 2006, № 6, с. 30–33.
- [2] Щедрин А.В., Ульянов В.В., Бекаев А.А. Прогнозирование характеристик силовой динамики методов комбинированного волочения сплошных круглых профилей. *Машиностроитель*, 2010, № 8, с. 26–33.
- [3] Гурьянов Г.Н. Резервы экономии электроэнергии при холодном волочении стальной проволоки. *Сталь*, 2009, № 12, с. 53–54.
- [4] Абрамов А.Н., Семенов В.И., Шустер Л.Ш. Математическое моделирование процесса волочения. *Кузнечно-штамповочное производство, обработка металлов давлением*, 2003, № 9, с. 33–36.
- [5] Осадчий В.Я., Воронцов А.Л. Формула для расчета напряжения волочения круглых сплошных профилей. *Производство проката*, 2001, № 6, с. 3–8.
- [6] Щедрин А.В., Гаврилов А.С., Косарев И.В., Смолкина Т.В., Зинин М.А., Сергеев Е.С. Формирование очагов деформации при охватывающем поверхностном пластическом деформировании. *Трение и смазка в машинах и механизмах*, 2014, № 10, с. 3–7.
- [7] Щедрин А.В. Теоретические и экспериментальные исследования охватывающего поверхностного пластического деформирования в условиях применения металлоплакирующих смазочных материалов. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2014, № 2, с. 11–17.
- [8] Щедрин А.В., Гаврилов С.А., Ерохин В.В., Бирюков А.И., Юшин Д.И. Повышение качества и производительности методов комбинированной обработки инструментом с регулярной микрогеометрией поверхности на основе применения металлоплакирующих смазок. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2011, № 8, с. 21–25.
- [9] Гаврилов С.А. Совершенствование процесса поверхностного пластического деформирования на основе применения металлоплакирующих смазочных материалов. *Трение и смазка в машинах и механизмах*, 2013, № 4, с. 33–39.
- [10] Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Чихачева Н.Ю. *Технологическая трибология на основе самоорганизации*. Германия, Изд-во “LAMBERT”, 2016, 92 с.
- [11] Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Бабель В.Г. *Трибология на основе самоорганизации*. Германия, Изд-во “LAMBERT”, 2015, 245 с.
- [12] Гаврилов С.А., Зинин М.А. Применение эффекта безызносности при синтезе металлоплакирующих смазок для экстремальных условий трения. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2013, № 2, с. 29–33.



- [13] Гаркунов Д.Н., Бабель В.Г., Мельников Э.Л., Щедрин А.В., Помазкие Г.А., Кавешник А.В., Пилин Д.А., Маркосян Т.С., Аванесян В.П. Металлосодержащая маслорастворимая противоизносная композиция «Валена SV». *Научные труды Академии проблем качества*, 2016, с. 341–347.
- [14] Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Щедрин А.В. Новое научное открытие в трибологии на основе самоорганизации. *Научные труды Академии проблем качества*, 2016, с. 348–356.
- [15] Щедрин А.В., Ульянов В.В., Бекаев А.А., Скоромнов А.В., Ванюшкина М.С., Абрамова Т.Г., Хомякова Н.В., Чизачева Н.Ю. Трибология как фундаментальная основа системного проектирования конкурентоспособных технологических объектов. *Ремонт, восстановление, модернизация*, 2009, № 4, с. 15–20.
- [16] Щедрин А.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю. Искусственный технологический интеллект как идеологическая основа всеобщей системы методов обработки материалов. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 6, с. 20–26.
- [17] Щедрин А.В., Алешин В.Ф., Кострюков А.А. Технологическая реализация фундаментального научного открытия «эффект безыносности при трении Гаркунова — Крагельского». *Международный научный журнал «Инновационная наука»*, 2016, № 12-2, с. 133–135.

## Innovative Methods of Covering Processing

© | Kostryukov A.A.<sup>1,2</sup>  
Schedrin A.V.<sup>2</sup>

kaaoz@bk.ru

<sup>1</sup> Joint Stock Company Demikhovo machine-building, Demikhovo village, 142632, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*With considering the parameters of the deformation focus and the phenomenon of selective transfer, the theoretical formula of AL Vorontsov is refined to predict the drawing force of continuous cylindrical workpieces with a tool with a regular microrelief under the conditions of application of innovative metal-lap greases that realize the fundamental scientific discovery Gracunov — Kragelsky frictionless effect.*

**Keywords:** regular microrelief, metal-clad grease, frictionless effect.

УДК 678

## Применение полимерных материалов для повышения долговечности неподвижного соединения вал — подшипник качения

© | Соловьева Анастасия Андреевна  
Кононенко Александр Сергеевич

anastas.solov@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены основные причины износа посадочных мест под подшипники качения. Выявлена актуальность повышения долговечности подшипниковых узлов. Представ-*

*лены способы повышения долговечности посадочных мест под подшипники качения. Описаны преимущества применения полимерных материалов.*

**Ключевые слова:** долговечность, износ, полимерные материалы, посадочные места под подшипники.

Недостаточная долговечность соединений вал — подшипник качения вызывает отказы машин и механизмов в целом при наработках, составляющих от 30 до 60 % от общей наработки до предельного состояния. При этом затраты на восстановление и техническое обслуживание подшипниковых узлов в 2–3 раза превышают затраты на их изготовление. В связи с этим возникает необходимость в разработке и совершенствовании нового технологического метода с применением полимерных материалов для повышения долговечности подшипниковых узлов и снижения себестоимости восстановления посадочных мест под подшипники качения.

Особенностью работы подшипниковых узлов является воздействие рабочих давлений и температур, смазочного материала, вибраций, агрессивной окружающей среды, что приводит к изнашиванию и, следовательно, к снижению работоспособности и уменьшению долговечности подшипникового узла в целом. Долговечность во многом определяется неравномерностью распределения нагрузки между телами качения, качеством контактирующих поверхностей деталей и физико-механическими свойствами поверхностного слоя, которые формируются при производстве и изменяются в процессе эксплуатации [1, 2].

При эксплуатации подшипниковых узлов на поверхности посадочного места возникают такие дефекты, как задиры, трещины, сколы. Однако основными причинами износа посадочных мест под подшипники качения являются фреттинг-коррозия и проворачивание колец подшипников. Несмотря на то, что относительное перемещение деталей неподвижных соединений в процессе эксплуатации не предусматривается, оно может возникать в незначительных пределах под воздействием вибраций, периодического изгиба или скручивания сопрягаемых деталей. В результате малой амплитуды относительного перемещения возникают уникальные, по сравнению с другими видами изнашивания, условия трения. Продукты износа обычно не могут выйти из зоны трения, вследствие чего возникает высокое давление и увеличивается абразивное воздействие продуктов износа на основной металл [3, 4].

При изнашивании посадочных мест подшипников в корпусных деталях и на валах увеличиваются зазоры между кольцами подшипников и поверхностями сопрягаемой детали. Увеличение зазора приводит к деформации наружного кольца в виде эллипса с большой осью, перпендикулярной направлению нагрузки на подшипник. При посадке подшипника 307 с зазором 0,1 мм его долговечность снижается в 1,5 раза, а с зазором 0,2 мм — в 2 раза по сравнению с долговечностью при посадке с нулевым зазором [3].

Есть множество путей повышения долговечности подшипников, которые обеспечивают снижение неравномерности распределения нагрузки между телами качения (см. рисунок).

Подробно остановимся на способе с использованием полимерных покрытий в качестве упругих элементов. Применение полимерных композиций, в отличие от сварки, наплавки и др., исключает тепловое воздействие на восстанавливаемую деталь, отличается низкой трудоемкостью, не требует специального оборудования и высокой квалификации персонала, обеспечивает необходимую защиту от фреттинг-коррозии.



### Классификация способов повышения долговечности подшипникового узла

При нанесении полимеров на изношенные посадочные места увеличивается упругая деформация наружного кольца в зоне центрального тела качения, что позволяет выбирать зазоры между беговыми дорожками и боковыми телами качения при меньших нагрузках. При этом снижается неравномерность распределения нагрузки между телами качения [5].

Анализ работ [3, 5] показал, что долговечность подшипникового узла с полимерным покрытием повышается по следующим причинам:

- увеличивается площадь контакта в неподвижном соединении;
- исключается возможность возникновения фреттинг-коррозии;
- увеличивается коэффициент распределения нагрузки;
- снижаются напряжения в зоне контакта нагруженных тел с дорожкой качения наружного кольца.

Применение полимерных покрытий в качестве упругих элементов не требует больших материальных затрат, что весьма актуально в настоящее время. Способ выгодно отличается простотой и эффективностью и может быть рекомендован как основной способ повышения долговечности соединений вал-подшипник качения.

### Литература

- [1] Ибилдаев Б.А. Долговечность подшипников качения сельскохозяйственной техники с посадками, восстановленными герметиком 6Ф. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1986, 159 с.
- [2] Дегтярь В.В. Долговечность подшипников тяжело нагруженных узлов машин. *ОНВ*, 2013, № 2 (120), с. 103–106.
- [3] Курчаткин В.В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами. Дис. ... док. техн. наук. Москва, 1989, 407 с.
- [4] Иваночкин П.Г., Колесников И.В., Челохьян А.В. Изнашивание неподвижных соединений (фреттинг-коррозия): Учеб. пособие. Ростов н/Д, Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2001, 28 с.
- [5] Ли Р.И. Применение полимерных материалов в подшипниковых узлах при изготовлении и ремонте машин. Мичуринск, Изд-во МичГАУ, 2010, 169 с.

## The Application of Polymeric Materials to Improve the Durability of Fixed Shaft-Rolling Bearing Connection

© Solovyeva A.A.  
Kononenko A.S.

anastas.solov@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The main reasons for the wear of seats for rolling bearings are discussed. Relevance of increasing the longevity of the bearing units is revealed. The ways of increasing the durability of the seats for rolling bearings are presented. Advantages of using polymeric materials are described*

**Keywords:** *durability, wear, polymeric materials, seats for bearing.*

УДК 621.438

### Теплообмен и сопротивление высококомпактных пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена

© | Егоров Кирилл Сергеевич  
Степанова Лариса Валерьевна

blackbird05@mail.ru  
oystercatcher@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Высококомпактные поверхности теплообмена пластинчато-ребристого типа широко используются при создании различного энергетического оборудования, в том числе и в замкнутых газотурбинных установках, в которых удастся существенно снизить массо-габаритные характеристики теплообменных аппаратов. Работа направлена на обобщение данных о теплообмене и сопротивлении поверхностей пластинчато-ребристого типа, в том числе и при использовании различных рабочих сред.*

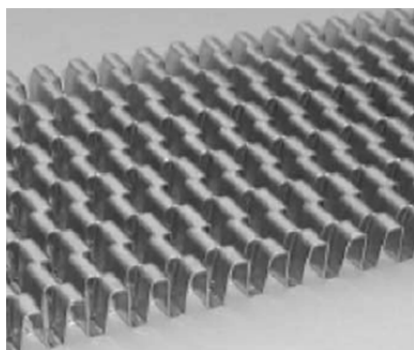
**Ключевые слова:** замкнутая газотурбинная установка, число Прандтля, смесь инертных газов, теплообмен, высококомпактная пластинчато-ребристая поверхность теплообмена.

**Введение.** В настоящее время высококомпактные пластинчато-ребристые поверхности теплообмена планируется применять в замкнутых газотурбинных установках (ЗГТУ) космического назначения, работающих по циклу Брайтона. В качестве рабочего тела предлагается использовать смесь гелия и ксенона (Xe) [1, 2] со значением числа Прандтля приблизительно 0,2.

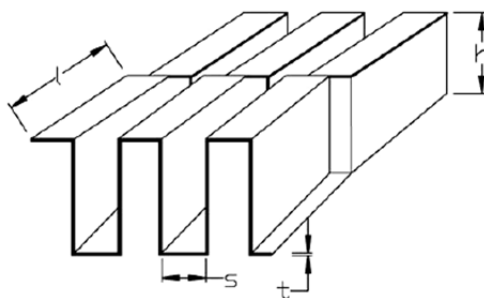
**Теплообмен и сопротивление поверхностей теплообмена.** Внешний вид и основные геометрические параметры поверхности с шахматным расположением гладких ребер показаны на рис. 1, 2.

Исследование влияния числа Прандтля для пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена проводились Сен Ху и Херрольдом [2, 3], Тинаут и другими учеными [4]. В качестве рабочего тела они использовали воду. Сен Ху и Херрольд [2, 3] сравнивали экспериментальные данные, полученные для воды с данными для воздуха ( $Pr = 0,7$ ) (Джоши и Уэбб [5] и Уэйтинг [6]). В результате отмечено, что при одинаковых числах Рейнольдса для жидкостей коэффициент Кольборна ( $j = St \cdot Pr^{2/3}$ , где  $St$  — критерий Стентона,  $Pr$  — критерий Прандтля), спрогнозированный с использованием воздушной модели, был примерно в два раза больше коэффициента Колборна, полученного из экспериментов. Таким образом, зависимости, используемые для

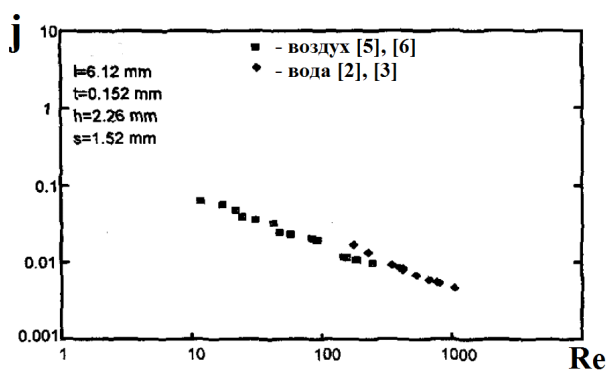
воздуха, недостаточно точно определяют коэффициент теплопередачи для жидкостей, имеющий существенно другое число Прандтля, потому результаты для воздуха не могут быть точно применены к средам, имеющим другое число Прандтля (рис. 3).



**Рис. 1.** Внешний вид высококомпактных пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена с шахматным расположением гладких ребер



**Рис. 2.** Основные геометрические характеристики высококомпактных пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена с шахматным расположением гладких ребер



**Рис. 3.** Сравнение экспериментальных данных для воздуха и воды

**Заключение.** Проведенный обзор показал, что несмотря на наличие большого количества теоретических и экспериментальных работ по теплообмену и сопротивлению высококомпактных пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена, надежные экспериментальные данные о влиянии числа Прандтля газовой смеси на теплообмен отсутствуют. Также отсутствуют экспериментальные данные для газов с числом Прандтля меньше 0,2, и, соответственно, недостаточно обоснована применимость полученных экспериментальных формул [5, 6], так как они были получены для воздуха ( $Pr = 0,7$ ). Следовательно, требуются дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ  
(госзадание № 13.5521.2017/БЧ).*

## Литература

- [1] Tournier J. P., Mohamed S. E. Noble gas binary mixtures for gas-cooled reactor power plants. *Nuclear Engineering and Design*, 2008, vol. 238, pp. 1353–1372.
- [2] Hu S., Herrold K. Prandtl number effect on offset fin heat exchanger performance-predictive model for heat transfer and pressure drop. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1995, vol. 38, pp. 1043–1051.
- [3] Hu S., Herrold K. Prandtl number effect on offset fin heat exchanger performance experimental results. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1995, vol. 38, pp. 1053–1061.
- [4] Tinaut F. V., Melgar A., Rahman Ali A. A. Correlations for heat transfer and flow friction characteristics of compact plate-type heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1992, vol. 35, pp. 1659–1665.
- [5] Joshi H. M., Webb R. L. Heat transfer and friction in the offset-strip fin heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1987, vol. 30, pp. 69–84.
- [6] Wieting A. R. Empirical correlations for heat transfer and flow friction characteristics of rectangular offset-fin plate-fin heat exchangers. *ASME Journal of Heat Transfer*, 1975, vol. 97, pp. 480–490.

## Heat Exchange and Resistance Highly Compact Plate-Fin Exchanger Surfaces

© | Egorov K.S.  
Stepanova L.V.

blackbird05@mail.ru  
oystercatcher@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Highly compact plate-fin exchanger surfaces are widely used for construction of different energy equipment including close gas turbine installations. In that case mass-dimension features of heat exchangers can be significantly decreases. This study the data on heat exchange and plat-fin surface resistance are generalized, including the application of different work media.*

**Keywords:** *A close gas turbine, Prandtl number, a noble gases mixture, highly compact plate-fin exchanger surface.*

УДК 629.78:621.384.3

## Моделирование тепловых потоков от группы инфракрасных нагревателей при тепловакуумных испытаниях космического аппарата

© Судомоин Павел Дмитриевич  
Шабанов Владимир Алексеевич  
Каськов Сергей Иосифович

sudomoin.pavel@yandex.ru  
vladimi-shabano@yandex.ru  
kaskovski@mail.ru

<sup>1</sup> Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева, Москва, 121087, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Разработана программа, моделирующая тепловые потоки, падающие на произвольную трехмерную геометрическую модель от группы инфракрасных нагревателей при тепловакуумных испытаниях. Положение инфракрасных нагревателей в пространстве, их мощность, а также геометрия облучаемого изделия полностью определяются пользователем. Представлено описание конструкции выбранных нагревателей, показана методика моделирования, приведены экспериментальные индикатрисы интенсивности излучения.*

**Ключевые слова:** инфракрасный излучатель, космический аппарат, тепловакуумные испытания.

При проектировании космических аппаратов (КА) различного класса одним из основных этапов наземной экспериментальной отработки являются тепловакуумные испытания (ТВИ). Важнейшей задачей при ТВИ КА является правильное воспроизведение внешних тепловых потоков на изделие. В качестве имитаторов внешних тепловых нагрузок, как правило, применяют имитаторы солнечного излучения (ИСИ) и/или имитаторы инфракрасного излучения (ИКИ) [1].

Имитатор солнечного излучения создает плоскопараллельный поток излучения и поэтому его тепловое воздействие на геометрию КА относительно несложно рассчитать. Куда большие трудности возникают при моделировании теплового воздействия от группы ИКИ.

В данной статье рассмотрен вариант сборки группы ИКИ из типовых линейных излучателей длиной 1 м, далее именуемых «единичными ИКИ». На рис. 1 представлено поперечное сечение такого единичного ИКИ.

Для определения результирующего потока от группы имитаторов сначала вычислим потоки от каждого единичного ИКИ по отдельности и затем найдем их сумму.

При расчете используем следующую зависимость между значением теплового потока, испускаемого единичным ИКИ и тепловым потоком, падающим на произвольную геометрическую площадку КА:

$$q_{\eta} = R_{\phi} R_{\psi} \frac{1,31 Q_{\text{ИКИ}}}{L^2} R_{\alpha},$$

где  $q_{\eta}$  — плотность теплового потока, падающего на площадку, Вт/м<sup>2</sup>;  $R_{\phi}$ ,  $R_{\psi}$  — поперечная и продольная индикатрисы излучения единичного ИКИ;  $Q_{\text{ИКИ}}$  — испущен-



ный инфракрасный тепловой поток единичного ИКИ (зависит от его текущей электрической мощности и КПД излучателя), Вт;  $R_\alpha$  — коэффициент, учитывающий угол  $\alpha$  между радиус-вектором, соединяющим геометрические центры (ГЦ) ИКИ и площадку, и вектором нормали площадки;  $L$  — расстояние от ГЦ ИКИ до ГЦ облучаемой площадки, м.

Зависимости поперечной и продольной индикатрисы интенсивности излучения от соответствующих углов определены опытным путем [2] и показаны на рис. 2.

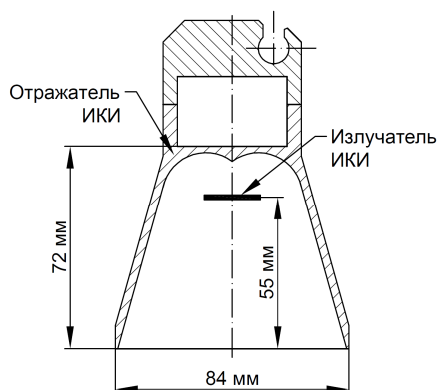


Рис. 1. Поперечное сечение единичного ИКИ

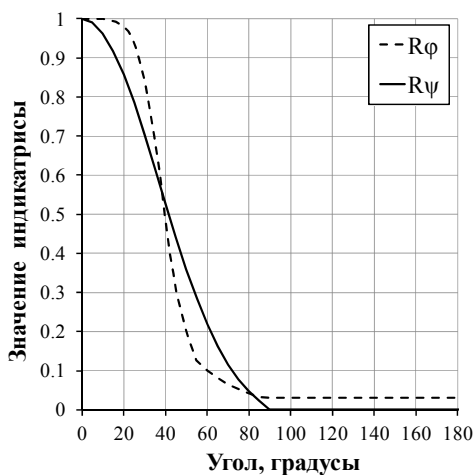


Рис. 2. Поперечная и продольная индикатрисы

Коэффициент  $R_\alpha$  задается следующим выражением:

$$R_\alpha = \begin{cases} \cos \alpha & \text{при } \alpha < 90^\circ; \\ 0 & \text{при } \alpha \geq 90^\circ, \end{cases}$$

где  $\phi$  — поперечный угол;  $\psi$  — продольный угол.

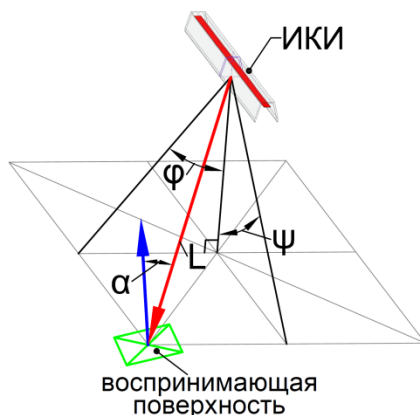


Рис. 3. Параметры для расчета потока от одиночного ИКИ

Углы  $\varphi$ ,  $\psi$ ,  $\alpha$  показаны на рис. 3, там же указано расстояние  $L$ .

Для расчета была разработана программа в среде Matlab, которая реализовывала описанный алгоритм.

Исходными данными для программы являются:

- набор координат вершин выпуклых многоугольников, аппроксимирующих поверхность изделия (может быть заимствован с геометрической части тепловой математической модели аппарата) [3];
- пары вершин, определяющие начало и конец каждого единичного ИКИ;
- набор координат, задающих вектор направления излучения каждого единичного ИКИ.

При расчете программа запрашивает у пользователя значения тепловых потоков, испускаемых каждым единичным ИКИ и, по окончании расчета, выводит текстовый файл со значениями рассчитанных плотностей падающих потоков для всех поверхностей исходной геометрической модели.

Полученное в результате работы программы распределение потоков может быть использовано для определения наилучшего расположения ИКИ в вакуумной камере при ТВИ, проведения тарировок имитатора перед началом испытаний, а также для корректного задания потоков при верификации тепловой модели КА по результатам ТВИ [4]. В качестве пре- и постпроцессора (визуализатора) использовано программное обеспечение Salute Thermal Shell [5].

### Литература

- [1] Козлов Л.В., Нусинов М.Д. *Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей его среды*. Под ред. академика Г.И. Петрова. Москва, Машиностроение, 1971, 382 с.
- [2] Винокуров Ю.Н., Ефремов М.С., Исаев В.В. Использование инфракрасных нагревателей для имитации солнечных тепловых потоков при тепловакуумных испытаниях КА. *Научно-технические разработки КБ «Салют» 2009–2011 гг.* Вып. 3. Москва, Машиностроение, 2012, с. 192–195.
- [3] Судомоин П.Д., Егоров К.С., Каськов С.И. Моделирование теплового режима космического аппарата. Молодежный научно-технический вестник, 2015, № 07. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/791863.html>.

- [4] Майорова В.И., Муллин Н.А. Некоторые аспекты термовакuumной отработки малоразмерных космических аппаратов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*, 2017, № 2 (113), с. 28-43. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-2-28-43.
- [5] Щукин С.А., Судомоин П.Д. Программное обеспечение для теплового моделирования и анализа «Salute Thermal Shell». *XLI Академические чтения по космонавтике*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.

## Modeling of the Heat Flux from a Group of Infrared Heaters in the Thermal-Vacuum Testing of a Spacecraft

© | Sudomoin P.D.  
Shabanov V.A.  
Kaskov S.I.

sudomoin.pavel@yandex.ru  
vladimi-shabano@yandex.ru  
kaskovsi@mail.ru

<sup>1</sup> Khrunichev State research and Production Space Center, Moscow, 121087, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*A program has been developed that simulates heat fluxes incident on an arbitrary three-dimensional geometric model from a group of infrared heaters during heat-vacuum tests. The position of infrared heaters in space, their power, as well as the geometry of the irradiated article are completely determined by the user. The description of the construction of the selected infrared heaters is presented, the modeling technique is shown, the experimental indicatrices of the radiation intensity are shown.*

**Keywords:** *infrared heater, spacecraft, thermal-vacuum testing.*

УДК 001.891.57

### Математическое моделирование термодинамических процессов газовой турбины малой мощности

© Борисов Юрий Александрович <sup>1,2</sup>	borisovyu@gmail.com
Вендланд Леонид Евгеньевич <sup>1</sup>	vendlandl@gmail.com
Косой Анатолий Александрович <sup>1</sup>	kosoyanatoliy@gmail.com
Прибылов Вадим Геннадьевич <sup>1</sup>	vadim.pribylov@gmail.com
Синкевич Михаил Всеволодович <sup>1</sup>	

<sup>1</sup> Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева, Москва, 121087, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Описано создание общего принципа построения математических моделей термодинамических процессов микротурбины. Полученные математические модели могут быть использованы в тренажере для улучшения качества работы персонала.*

**Ключевые слова:** моделирование, модель, газотурбинная установка, испытания, расход, аппроксимация, термодинамика, LabVIEW.

Для создания математических моделей (ММ) термодинамических процессов в газовой турбине проводятся серия экспериментов [1] и определяются характеристики микротурбины (МТ) (на примере установки мощностью 30 кВт). Определяемыми характеристиками являются температура, давление (в контрольных точках газовой турбины), расход топлива, расход газа, КПД.

Для этих целей разработаны экспериментальный стенд и методика проведения эксперимента. Стенд представляет собой МТ с необходимой препарировкой. В качестве нагрузки используют электрические теплогенераторы. Испытания проводили путем постепенного нагружения. В течение испытаний получены множество точек, которые записывали в отдельный файл-таблицу, программа для снятия характеристик разработана на LabVIEW.

На каждом участке стационарного режима вычисляем среднюю точку (рис. 1). Для начала выделяем установившиеся режимы по мощности, на каждом из них ищем среднее значение и СКО для установления границ рабочей области. Затем на массив данных расхода топлива накладываем границы рабочей области (рис. 2).

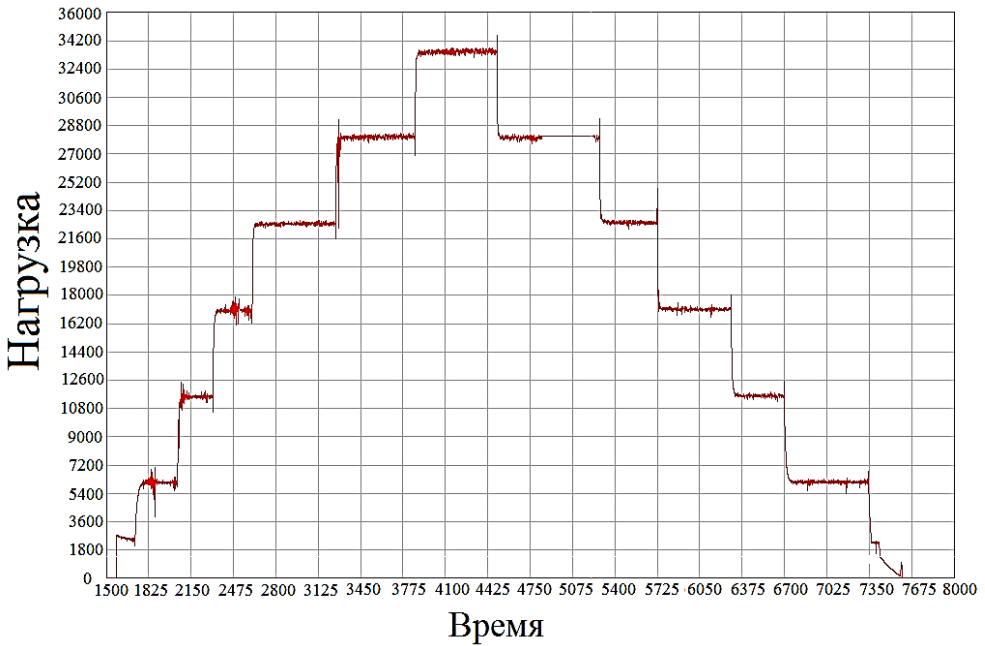


Рис. 1. Стационарные режимы

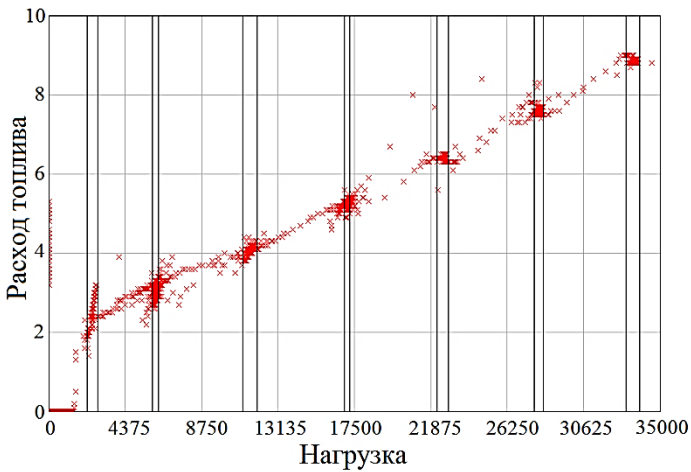


Рис. 2. Границы рабочей области

Среднюю точку ищем по принципу центра масс [2]. Так как мы принимаем в расчет, что каждая точка обладает единичной массой, то формула для поиска выглядит следующим образом:

$$x = \frac{\sum_i x_i}{i}. \quad (1)$$

Параметром  $x$  может являться как  $G$  — расход топлива, так и  $N$  — мощность.

Значения расхода топлива сведены в табл. 1, где сравниваются ключевые точки с линейной и квадратичной аппроксимациями.

Таблица 1

**Значения кластеров данных**

$G(N)$ (ср)	2,4340	2,8994	4,0706	5,2459	6,4016	7,6044	8,8165
$G(N)$ (л)	2,2503	3,0026	4,1359	5,302	6,4481	7,6026	8,7303
$G(N)$ (кв)	2,3461	3,0219	4,0787	5,2141	6,3778	7,5978	8,8356
$N$	2483,94	6076,91	11489,3	17058	22532,1	28046,4	33432

Аппроксимацию результатов проводим с помощью метода наименьших квадратов [3] в двух видах — линейную и квадратичную. Затем контрольные точки сравниваем между собой (рис. 3), рассчитываем дисперсию (табл. 2), если она является удовлетворительной, то принимаем более упрощенную формулу.

Таблица 2

**Значения дисперсий данных**

$D_{л}$	0,03375	0,01065	0,00426	0,00315	0,00216	0,0000032	0,00743
$D_{кв}$	0,00773	0,01501	0,00007	0,00101	0,00057	0,0000436	0,000364

В случае, рассмотренном в работе, на конечной точке линейная дисперсия ( $D_{л}$ ) больше квадратичной ( $D_{кв}$ ) в 38 раз, следовательно, целесообразно принимаем квадратичную аппроксимацию.

$$G_t(N) = 7,878 \cdot 10^{-10} N^2 + 1,814 \cdot 10^{-4} N + 1,891. \quad (2)$$

Формула (2) наиболее точно совпадает с экспериментальными точками, так же она является упрощенной, при этом не несет большой погрешности, исходя из этого, ее можно включить в тренажер [4].

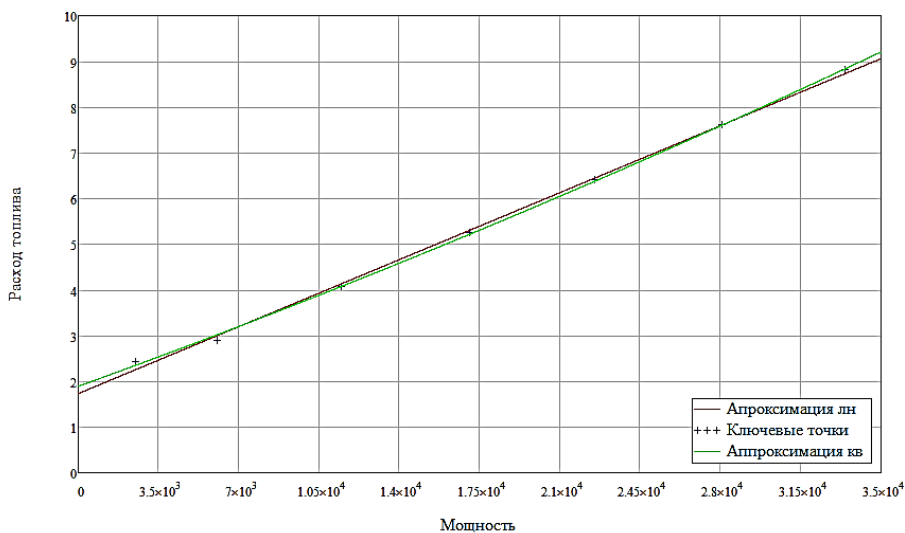


Рис. 3. Сравнение линейной и квадратичной аппроксимаций

**Вывод.** В данной работе на примере одного из термодинамических процессов показана методика получения рабочей формулы, которую можно включить в комплексный тренажер, для отработки навыков персонала. В дальнейшем будет необходимо выполнить подобные расчеты для других термодинамических процессов, построить человеко-машинный интерфейс и запустить тренажер в работу.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по Соглашению о субсидии № 14.607.21.0157  
уникальный идентификатор проекта RFMEFI60716X0157)*

### Литература

- [1] Скубачевский Л.С. *Испытания воздушно-реактивных двигателей*. Москва, Машиностроение, 1972.
- [2] Линник Ю.В. *Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений*. Москва, Физматгиз, 1962.
- [3] Тарг С.М. *Краткий курс теоретической механики*: Учеб. для втузов. Москва, Высшая школа, 1986, 416 с.
- [4] Рабенко В.С., Поспелов А.А., Щебнев А.С., Виноградов А.Л. Компьютерные тренажеры для подготовки персонала энергопредприятий. *Тр. ИГЭУ*, 1997, вып. 1, с. 100–105.

## Mathematical Modeling of Thermodynamic Processes of a Gas Turbine of Low Power

©	Borisov Y.A. <sup>1,2</sup>	borisovyu@gmail.com
	Vendland L.A. <sup>1</sup>	vendlandl@gmail.com
	Kosoy A.A. <sup>1</sup>	kosoyanatoliy@gmail.com
	Pribylov V.G. <sup>1</sup>	vadim.pribylov@gmail.com
	Sinkevich M.V. <sup>1</sup>	

<sup>1</sup> Joint Institute for High Temperatures of Russian Academy of Sciences, Moscow, 125412, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In this work, we describe the creation of a general principle for constructing mathematical models for the thermodynamic processes of a microturbine. The resulting mathematical models can be used in the simulator to improve the quality of the work of personnel.*

**Keywords:** modeling, model, gas turbine, testing, consumption, approximation, thermodynamics, LabVIEW.

УДК 536.74

## Влияние локального отрывного течения за преградой в сверхзвуковом потоке на эффективность устройства безмашинного энергоразделения

© | Виноградов Юрий Алексеевич<sup>1</sup> | vinograd@imec.msu.ru  
 Попович Сергей Станиславович<sup>1</sup> | pss1@mail.ru  
 Леонтьев Александр Иванович<sup>1,2</sup> | leontiev\_27@mail.ru  
 Стронгин Марк Моисеевич<sup>1</sup> | strongin@imec.msu.ru

<sup>1</sup> НИИ механики МГУ, Москва, 119192, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Представлены результаты исследования влияния течения сверхзвукового потока за преградой в виде ребра на параметры, определяющие эффективность устройства безмашинного энергоразделения — коэффициенты восстановления температуры и теплоотдачи. Исследование проводилось на сверхзвуковой аэродинамической установке для числа Маха набегающего потока 2,25 и турбулентного режима течения —  $Re_x \geq 2 \cdot 10^7$ . Высоту ребра изменяли, она составляла как больше, так и меньше толщины пограничного слоя на срезе сопла — около 6 мм. Исследования выполнены на базе Совместной Межвузовской лаборатории «Термогазодинамика» НИИ механики МГУ и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Ключевые слова:** сверхзвуковой поток, отрывное течение, адиабатная температура стенки, коэффициент восстановления температуры, интенсификация теплоотдачи.

Эффект безмашинного энергоразделения газовых потоков заключается в перераспределении полной температуры в потоке газа без совершения внешней работы [1]. Принцип действия исследуемого устройства энергоразделения основан на взаимодействии через теплопроводную стенку дозвукового и сверхзвукового потоков одинаковой температуры торможения, которая в пограничном слое сверхзвукового потока претерпевает перераспределение и в результате в пристенной области она оказывается ниже, чем температура на стенке в дозвуковом потоке (рис. 1).

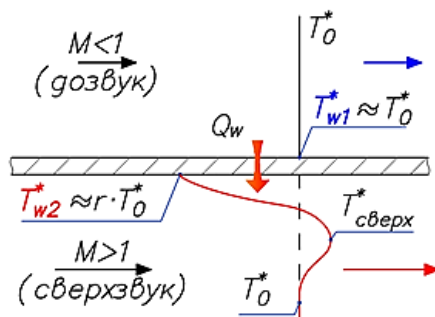


Рис. 1. Профили температуры торможения в пристенном слое дозвукового и сверхзвукового потоков в устройстве безмашинного энергоразделения



Эффективность устройства безмашинного энергоразделения определяется тепловым потоком через разделяющую потоки стенку [2–4], зависящим от теплоотдачи со стороны сверхзвукового  $\alpha_1$  и дозвукового  $\alpha_2$  потоков, площади теплопередающей поверхности  $F$ , начальной температуры торможения потока  $T_0^*$  и адиабатной температуры стенки  $T_w^*$  со стороны сверхзвукового потока:

$$Q_w = KF(T_w^* - T_0^*) = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2} FT_0^*(1-r). \quad (1)$$

Как следует из (1), эффективность энергоразделения существенным образом зависит от коэффициентов восстановления температуры  $r$  и теплоотдачи  $\alpha$ . Причем режим максимальной эффективности энергоразделения соответствует минимальному значению  $r$  и максимальному  $\alpha$ . Любое внесение конструктивных изменений в сверхзвуковой канал с целью интенсификации теплоотдачи сопровождается образованием ударных волн и локальных отрывных зон.

Экспериментальные исследования проводили на сверхзвуковом аэродинамическом стенде (рис. 2) при числе Маха набегающего потока 2,25 и турбулентном режиме течения —  $Re_x \geq 2 \cdot 10^7$ . Методика проведения исследования заключается в регистрации изменения параметров на стенке модели от момента запуска аэродинамической трубы в течение 90 с частотой 1 Гц [5, 6].

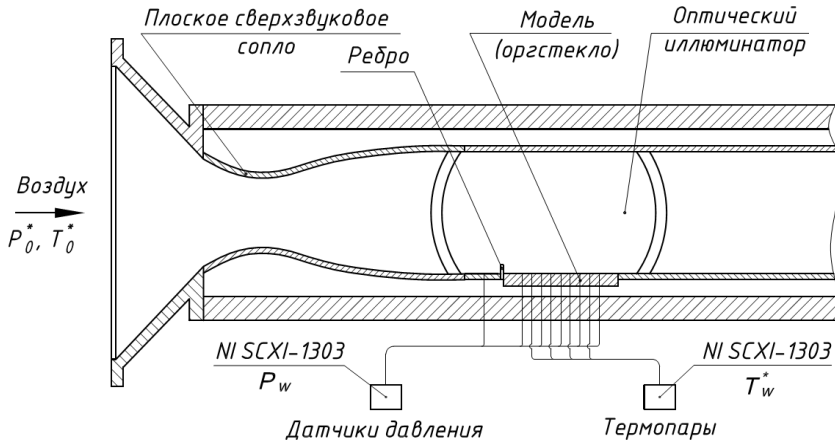
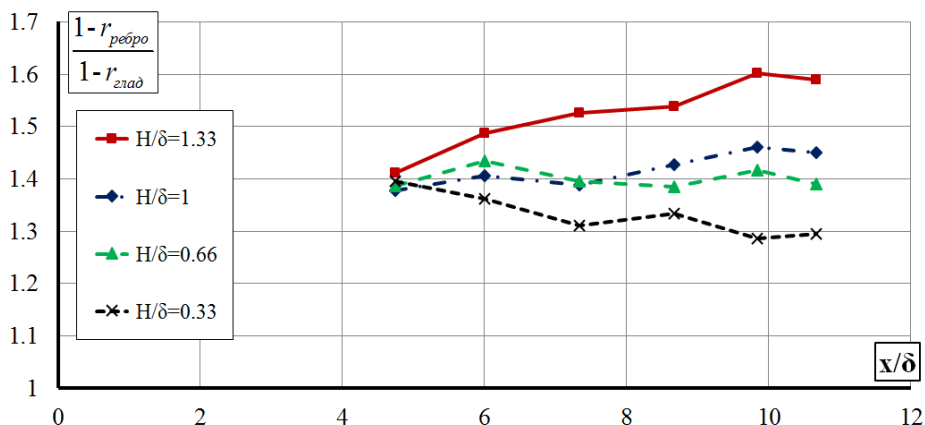


Рис. 2. Схема проведения эксперимента:

$T_0^*$  — полная температура набегающего потока;  $P_0^*$  — полное давление в форкамере;

$P_w$  — статическое давление на стенке;  $T_w^*$  — температура адиабатной стенки

В результате исследования зафиксировано уменьшение коэффициента восстановления температуры при течении за ребром на 3,6 % при высоте ребра 2 мм и до 7,7 % при высоте ребра 8 мм в сравнении с обтеканием гладкой стенки. Тогда, согласно соотношению (1), коэффициент пропорциональности  $(1-r)$  при наличии ребра возрастает на величину до 60 % в сравнении с обтеканием гладкой стенки, что означает пропорциональный рост теплового потока (рис. 3).



**Рис. 3.** График изменения коэффициента увеличения теплового потока за счет снижения коэффициента восстановления температуры вдоль безразмерной длины модели при течении на плоской стенке за ребром высотой от 2 до 8 мм

*Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда  
(проект №14-19-00699).*

### Литература

- [1] Бурцев С.А., Леонтьев А.И. Исследование влияния диссипативных эффектов на температурную стратификацию в потоках газа (обзор). *Теплофизика высоких температур*, 2014, т. 52, № 2, с. 310–322. DOI: 10.7868/S0040364413060069.
- [2] Виноградов Ю.А., Здитовец А.Г., Попович С.С., Стронгин М.М., Леонтьев А.И. Исследование воздействия ударных волн на температурный перепад в устройстве безмашинного энергоразделения потоков. *Будущее машиностроения России. Сб. докл. Восьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов*, 2015, с. 511–515.
- [3] Попович С.С. Экспериментальное исследование влияния ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения газовых потоков. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.*, 2016. № 3. DOI: 10.7463/0316.0835444.
- [4] Leontiev A.I., Zditovets A.G., Vinogradov Y.A., Strongin M.M., Kiselev N.A. Experimental investigation of the machine-free method of temperature separation of air flows based on the energy separation effect in a compressible boundary layer. *Exp. Thermal Fluid Sci.*, 2017, vol. 88, pp. 202–219.
- [5] Попович С.С. Влияние ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения. Дисс. ... канд. техн. наук. Москва, НИИ механики МГУ, 2016. 172 с.
- [6] Popovich S.S., Egorov K.S., Vinogradov Yu.A. Experimental research of adiabatic wall temperature influenced by separated supersonic flow. *Proc. 15th Intern. Heat Transfer Conf.*, 2014, 11 p.

## The Efficiency of a Machineless Energy Separation Device Influenced by the Local Detached Region Behind an Obstacle in a Supersonic Flow

© Vinogradov Y.A.<sup>1</sup>  
Popovich S.S.<sup>1</sup>  
Leontiev A.I.<sup>1,2</sup>  
Strongin M.M.<sup>1</sup>

vinograd@imec.msu.ru  
pss1@mail.ru  
leontiev\_27@mail.ru  
strongin@imec.msu.ru

<sup>1</sup> Institute of mechanics of MSU, Moscow, 119192, Russian Federation

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The results are presented for the research of the parameters determining the efficiency of the machineless energy separation device — temperature recovery factor and heat transfer enhancement coefficient — influenced by supersonic flow over an obstacle in the form of the rib. The investigation was carried out in the supersonic aerodynamic tube for the the incoming flow Mach number 2.25 and turbulent flow regime —  $Re_x \geq 2 \cdot 10^7$ . The height of the rib was varied and amounted to either more or less than the thickness of the boundary layer at the nozzle exit section — about 6 mm. The research was carried out in the Joint Interuniversity Laboratory “Thermogasdynamics” of Lomonosov Moscow State University Institute of Mechanics and Bauman Moscow State Technical University.*

**Keywords:** supersonic flow, boundary layer separation, shock wave, adiabatic wall temperature, temperature recovery factor, heat transfer augmentation.

УДК 621.444.4

## Нейросетевая модель статических характеристик микрогазотурбинной энергетической установки

© Косой Анатолий Александрович<sup>1</sup>  
Прибылов Вадим Геннадьевич<sup>1</sup>  
Пугачук Александр Сергеевич<sup>1,2</sup>  
Вендланд Леонид Евгеньевич<sup>1</sup>  
Синкевич Михаил Всеволодович<sup>1</sup>

kosoyanatoliy@gmail.com  
vadim.pribylov@gmail.com  
pugachukalexandr@mail.ru  
vendlandl@gmail.com

<sup>1</sup> Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева, Москва, 121087, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Для создания многомерных математических моделей сложных технических объектов предложено использовать искусственные нейронные сети с недифференцируемой вероятностной функцией активации, расчет параметров которых выполнен с помощью современных программных и аппаратных средств.*

**Ключевые слова:** нейросеть, математическое моделирование, газотурбинная установка.

Стремительное развитие искусственных нейронных сетей (ИНС) и технологий вычислений, основанных на нейросетях, ведет к их повсеместному распространению как в бытовых условиях, так и в промышленных. Способность нейросетей определять зависимости между параметрами (т. е. «обучаться») неоднократно упоминалась в литературных источниках еще до того, как нейросети обрели большую популярность [1–3].

Практическое применение нейросетей стало возможным благодаря достаточно-му развитию технологии параллельных вычислений при помощи графических ускорителей и специализированных аппаратных средств [4].

Одной из областей, для которых предлагается использование ИНС, является моделирование технических объектов, в данной работе — микрогазотурбинной энергетической установки мощностью 30 кВт (микро-ГТУ).

Существование нейросетевой математической модели доказано в теореме Колмогорова для ИНС, в которой итоговый вид модели определяется выражением

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{i=1}^N \vartheta_i \sigma(\omega_{i1}x_1 + \omega_{i2}x_2 + \dots + \omega_{im}x_m + u_i),$$

где  $\sigma$  — функция активации;  $\vartheta$ ,  $\omega$ ,  $u$  — весовые коэффициенты;  $x$  — входные параметры.

Однако эта теорема справедлива, когда функция активации является дифференцируемой. В предлагаемой модели используется недифференцируемая функция активации вместе со статистическим порогом (вероятностной функцией). Такая функция с некоторой вероятностью позволяет получить нулевое значение выходного параметра нейрона вне зависимости от его входов.

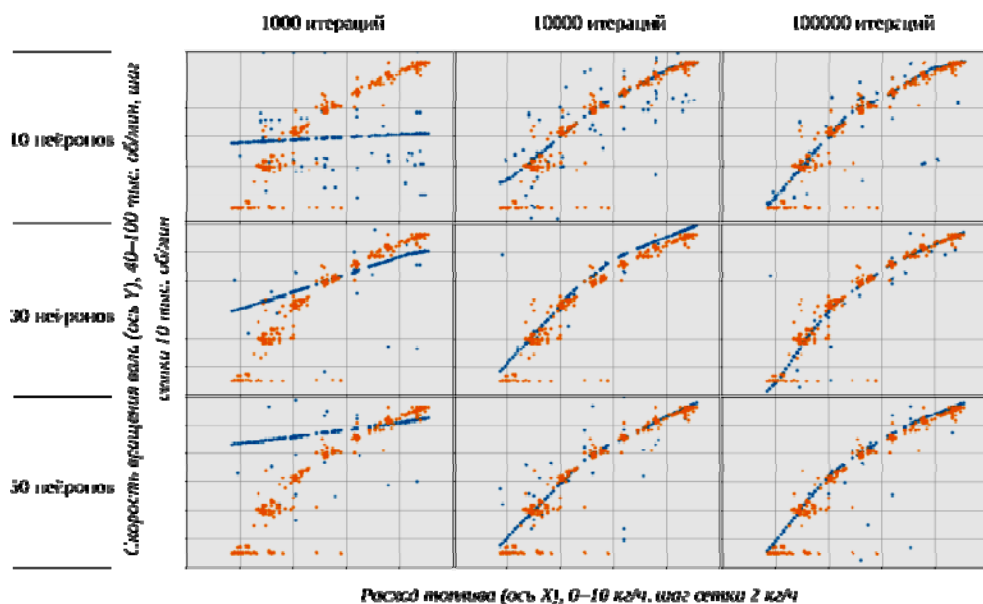


Рис. 1. Выходные значения нейросети при различных количествах нейронов в скрытом слое

В результате расчета ИНС прямого распространения с одним скрытым слоем при вариации количества нейронов по слоям и значения статистического порога получены модели статических характеристик микро-ГТУ. Экспериментальные данные и полученные с помощью математической модели предложенной нейросети, различаются. При этом подбор параметров нейросети позволяет определить данные, близкие к экспериментальным (рис. 1, 2).

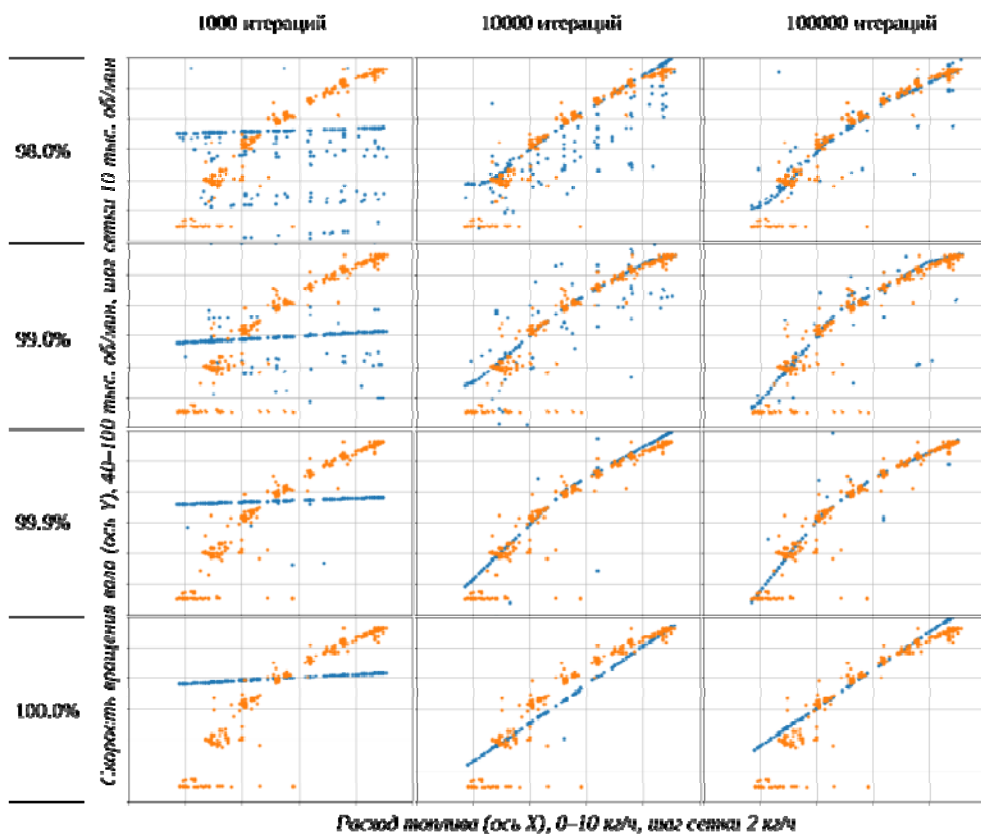


Рис. 2. Выходные значения нейросети при различных значениях статистического порога

Таким образом, возможно применение нейросетевой модели реального технического объекта при использовании недифференцируемой вероятностной функции активации.

Преимущество данной модели заключается в том, что ее использование позволяет создавать упрощенные ИНС, для которых требуется меньше вычислительных мощностей, и они имеют высокую точность аппроксимации. Учитывая возможности нейросетей, дальнейшее развитие нейросетевого моделирования позволяет создавать экспертные системы, которые на основе измеряемых параметров технологического объекта могут своевременно диагностировать неполадки или отказы. Значит, можно минимизировать ущерб при выходе из строя технологических объектов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по Соглашению о субсидии № 14.607.21.0157 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI60716X0157).*

### Литература

- [1] Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, vol. 2, i. 5, 1989, pp. 359–366.
- [2] Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, vol. 2, i. 3, 1989, pp. 303–314.
- [3] Funahashi K. On the approximate realization of continuous mappings by neural networks. *Neural Networks*, vol. 2, i. 3, 1989, pp. 183–192.
- [4] Jouppi N.P., Young Ch., Patil N., et al. (Collaboration) In-Datacenter Performance Analysis of a Tensor Processing Unit. *44 Int. Symp. Computer Architecture*, Toronto, Canada, 2017.

## Microturbine Plant Static Curve Approximation Model Based on Neural Networks

©	Kosoy A.A. <sup>1</sup>	kosoyanatoliy@gmail.com
	Pribylov V.G. <sup>1</sup>	vadim.pribylov@gmail.com
	Pugachuk A.S. <sup>1,2</sup>	pugachukalexandr@mail.ru
	Vendland L.A. <sup>1</sup>	vendlandl@gmail.com
	Sinkevich M.V. <sup>1</sup>	

<sup>1</sup> Joint Institute for High Temperatures of Russian Academy of Sciences, Moscow, 125412, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Artificial neural networks are proposed as system for multidimensional mathematical model creation. Nondifferentiable probability function is used as activation function. Network parameters calculation conducted with modern software and hardware tools.*

**Keywords:** *neural network, mathematical model, gas turbine plant.*

УДК 621.436

## Экономическая эффективность использования сжиженного углеводородного газа в качестве топлива в сельскохозяйственной автотракторной технике

© Кочетков Максим Николаевич  
Овчинников Евгений Валентинович  
Родионов Александр Владимирович  
Уютов Сергей Юрьевич  
Савельев Геннадий Степанович

Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», Москва, 109428, Россия

*Рассмотрены вопросы экономической эффективности использования сжиженного углеводородного газа в качестве топлива в мобильной сельскохозяйственной технике, а также его преимущества перед другими видами газомоторного топлива.*

**Ключевые слова:** *эффективность, газомоторное топливо, мобильная сельскохозяйственная техника, экономия затрат.*

Одна из глобальных мировых тенденций — расширение использования альтернативных видов моторных топлив. В настоящее время наиболее реальной альтернативой нефтяным моторным топливам являются газомоторное топливо (ГМТ), биотопливо на основе растительных масел, спиртов и жидкое синтетическое топливо из биомассы [1].

При выборе вида альтернативного топлива для мобильной сельскохозяйственной техники следует учитывать специфику применения моторного топлива, включающую необходимость полевой заправки тракторов и комбайнов при подъезде к ним заправщиков по грунтовым дорогам в сложных погодных условиях [2, 3]. Кроме того, согласно нормативным документам, бортовая топливная система должна обеспечивать запас топлива для непрерывной работы на энергоемких операциях в течение 10 ч, что является весьма проблематичным при использовании, например, компримированного природного газа (КПГ) [4].

Широкое использование природного газа в качестве моторных топлив в автотракторной технике сдерживается значительными капитальными затратами на газозаправочный комплекс. Мощные сельскохозяйственные тракторы необходимо заправлять газомоторным топливом в поле от передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗ), имеющих большую массу. Применение таких заправщиков значительно осложняется на полевых дорогах в особенности при сложных погодных условиях [5].

Использование сжиженного природного газа (СПГ) снимает ряд недостатков по массогабаритным показателям, однако применение более дорогого криогенного оборудования у СПГ затрудняет его использование в сельском хозяйстве [6].

Указанные недостатки применения КПГ и СПГ в сельском хозяйстве устраняются при использовании в тракторных газодизельных двигателях сжиженного при низком давлении ( $6 \dots 10 \text{ кг/см}^2$ ) углеводородного газа (СУГ). Благодаря этому, емкости для СУГ, устанавливаемые на тракторы, передвижные и стационарные заправщики

имеют значительно меньшие габаритные размеры и массу, что позволяет применять легкий полевой автогазозаправщик, а также обеспечивать необходимую величину однократной заправки газомоторным топливом. Соответственно у СУГ снижается и стоимость оборудования. Суммарные первоначальные капитальные вложения на переоборудование техники и приобретение заправочного комплекса для работы на СУГ в 3,5 раз меньше, чем у КПГ, и в 6 раз меньше, чем у СПГ [7].

Такое снижение первоначальных капитальных вложений обеспечивает значительное повышение коммерческой эффективности использования СУГ в сельском хозяйстве при сроках окупаемости в пределах одного года [8]. Использование СУГ в дизелях по газодизельному процессу сдерживается из-за его низкого цетанового числа, что приводит к появлению детонации при работе газодизельного двигателя на режимах близких к максимальной мощности.

Для устранения указанного недостатка предлагается разработать и реализовать способ обеспечения эффективного применения СУГ в газодизельных двигателях — использование рециркуляции отработавших газов, применение переменной запальной дозы дизельного топлива. В случае недостаточного эффекта от реализации данных способов предлагается применить частичный риформинг СУГ в бортовом генераторе в синтезгаз для инициирования процесса сгорания.

### Литература

- [1] Уютов С.Ю., Савельев Г.С., Прядкин В.И. Обзор зарубежных разработок по конвертации дизелей в газоскоровый двигатель. *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*, 2014, № 1, с. 74–76.
- [2] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Коклин И.М. Использование компримированного природного газа в качестве моторного топлива для мобильной сельскохозяйственной техники. *Сб. науч. трудов по матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования»*, 2014, с. 124–129.
- [3] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В. Комплексное использование газомоторного топлива в сельскохозяйственном производстве. *Сб. науч. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий»*, 2014, с. 136–140.
- [4] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Уютов С.Ю. Определение экономически целесообразного вида газомоторного топлива для мобильной сельскохозяйственной техники. *Агропанорама*, 2016, № 3, с. 26–29.
- [5] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В. Эффективность газомоторного топлива для сельхозтехники. *Сельскохозяйственные машины и технологии*, 2015, № 1, с. 12–15.
- [6] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Коклин И.М. Комплексный подход к обеспечению сельхозпроизводства газомоторным топливом. *Тракторы и сельхозмашины*, 2014, № 3, с. 47–50.
- [7] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Овчинников А.В. ВИМ — пионер в создании тракторов, работающих на газе. *Сб. науч. докл. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина «Система технологий и машин для инновационного развития АПК России»*, 2013, с. 164–168.
- [8] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Коклин И.М. Использование природного газа в качестве моторного топлива для сельскохозяйственной техники. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2014, № 1 (37), с. 40–52.



## Economic Efficiency of Liquefied Petroleum Gas as Fuel Agricultural Tractor Machinery

© Kochetkov M.N.  
Ovchinnikov E.V.  
Rodionov A.V.  
Uyutov S.Y.  
Savelev G.S.

Federal agricultural research center all-Russian Institute of mechanization of agriculture, Moscow, 109428, Russia

*This article discusses the economic efficiency of using liquefied petroleum gas (LPG) as fuel in mobile machinery as well as advantages over other types of motor fuel.*

**Keywords:** *efficiency, gas fuel, mobile agricultural machinery, cost savings.*

УДК 621.436

## Способы устранения детонации при работе дизеля на сжиженном углеводородном газе по газодизельному процессу

© Кочетков Максим Николаевич  
Овчинников Евгений Валентинович  
Родионов Александр Владимирович  
Родионов Алексей Владимирович  
Уюттов Сергей Юрьевич  
Савельев Геннадий Степанович

Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», Москва, 109428, Россия

*Адаптация дизелей к работе на сжиженном углеводородном газе осложняется его низким цетановым числом и связанной с этим жесткой работой газодизеля на режимах, близких к номинальной мощности. В данной работе приведены исследования с применением различных технических средств адаптации дизеля к работе на сжиженном углеводородном газе по газодизельному процессу.*

**Ключевые слова:** *газотопливное топливо, цетановое число, детонация, запальная доза, отработавшие газы.*

Особенности технологии адаптации дизельного двигателя к работе на сжиженном углеводородном газе (СУГ) по газодизельному процессу обусловлены низким цетановым числом пропана (16) и бутана (25), являющимися основными составляющими СУГ [1]. Вследствие этого при работе газодизельного двигателя на режимах близких к максимальной мощности появляется детонация, что является основной проблемой при адаптации газодизельного двигателя к работе на сжиженном газе [2, 3].

Схема конвертации топливной системы двигателя ММЗ Д-243 для работы на СУГ показана на рисунке. Система питания жидким топливом осталась без изменения, за исключением замены механического регулятора топливного насоса высокого давления на электронный. Система питания газодизеля содержит линию подачи газа, сообщающую источник газового топлива 1 с впускным коллектором 2 двигателя. В линию подачи газа содержит последовательно соединенные вентиль 3, заправочное устройство 4, запорный электромагнитный клапан 5, газовый фильтр 6, газовый редуктор 7, фильтр 8 тонкой очистки газа, электромагнитные клапаны 9 подачи газа во впускной коллектор перед впускным клапаном каждого цилиндра двигателя. Линия питания жидким топливом содержит топливный бак 10, фильтр грубой очистки топлива 11, топливоподкачивающий насос 12, фильтр тонкой очистки топлива 13, топливный насос высокого давления 14, имеющий исполнительное устройство 15, форсунки 16 [4, 5].

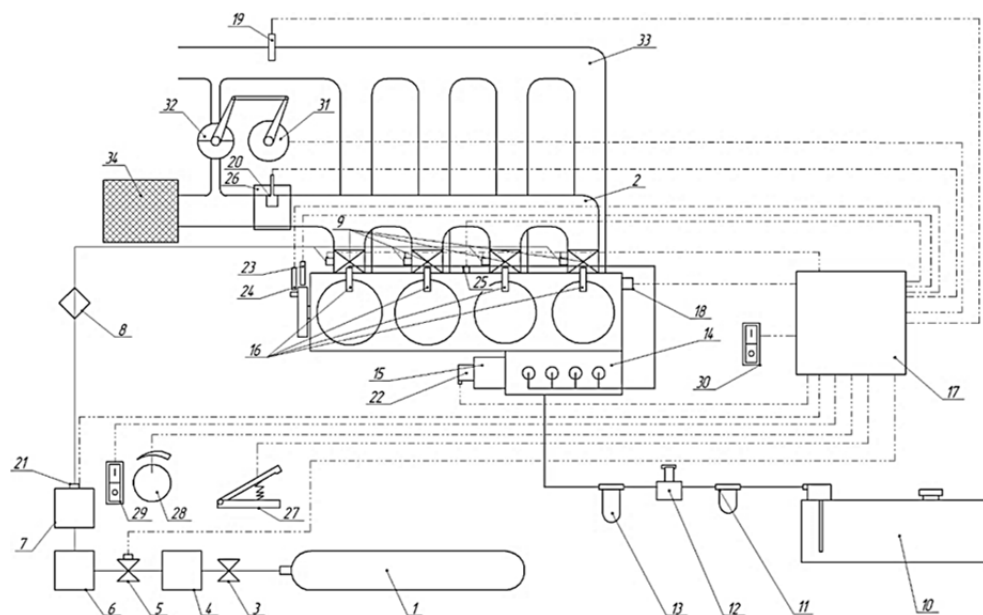


Схема конвертации топливной системы двигателя ММЗ Д-243к работе на СУГ по газодизельному режиму:

1 — баллон с газовым топливом; 2 — впускной коллектор; 3 — запорный вентиль; 4 — заправочное устройство; 5 — запорный электромагнитный клапан; 6 — газовый фильтр с подогревателем; 7 — газовый редуктор с подогревателем; 8 — фильтр тонкой очистки газа; 9 — электромагнитные клапаны подачи газа; 10 — топливный бак; 11 — фильтр грубой очистки топлива; 12 — топливоподкачивающий насос; 13 — фильтр тонкой очистки топлива; 14 — топливный насос высокого давления; 15 — исполнительное устройство; 16 — форсунки; 17 — блок управления; 18 — датчик температуры охлаждающей жидкости; 19 — датчик температуры отработавших газов; 20 — датчик температуры воздуха; 21 — датчик давления газа; 22 — датчик положения рейки подачи топлива; 23 — датчик частоты вращения коленчатого вала; 24 — датчик положения верхней мертвой точки; 25 — датчик детонации; 26 — датчик расхода воздуха; 27 — электронная педаль подачи топлива; 28 — ручной регулятор подачи топлива; 29 — переключатель режима «Дизель-Газодизель»; 30 — переключатель «Ручной-Автоматический»; 31 — исполнительное устройство управления заслонкой; 32 — заслонка перепуска отработавших газов; 33 — выпускной коллектор; 34 — воздушный фильтр

На решение устранения детонации направлены предусмотренные программой исследования. Для определения перечня мероприятий по доработке электронной системы управления газодизельного двигателя Д-243, работающего на СУГ, при обеспечении автоматического регулирования запальной дозы дизельного топлива в зависимости от нагрузки и появления детонации подготовлена программа-методика проведения исследований.

Программой предусматривается:

- определение значения допустимой минимальной величины запальной дозы дизельного топлива, обеспечивающего надежное воспламенение газовой составляющей топлива при работе газодизельного двигателя в диапазоне нагрузочных и скоростных режимов до появления детонации без использования системы рециркуляции отработавших газов;
- оценивание влияния рециркуляции отработавших газов на диапазон бездетонационной работы газодизельного двигателя, работающего на СУГ. При использовании сигнала датчика детонации определение влияния рециркуляции отработавших газов на пропуски воспламенения газового топлива при различных значениях запальной дозы;
- нахождение зависимости значения запальной дозы, обеспечивающей бездетонационное сгорание, от величины нагрузки (в процентах максимальной мощности) при работе по внешней регуляторной характеристике;
- нахождение зависимости значения запальной дозы, обеспечивающего бездетонационное сгорание, от нагрузки (в процентах максимальной мощности) при работе по частичным регуляторным характеристикам.
- вычисление энергетических, топливно-экономических и экологических показателей двигателя при работе на дизельном топливе и сжиженном углеводородном газе.

### Литература

- [1] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В. Комплексное использование газомоторного топлива в сельскохозяйственном производстве. *Сб. науч. докл. междунар. науч.-техн. конф «Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий»*, 2014. с. 136–140.
- [2] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Уютов С.Ю. Определение экономически целесообразного вида газомоторного топлива для мобильной сельскохозяйственной техники. *Агропанорама*, 2016, № 3, с. 26–29.
- [3] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Коклин И.М. Использование природного газа в качестве моторного топлива для сельскохозяйственной техники. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2014, № 1 (37), с. 40–52.
- [4] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Уютов С.Ю., Родионов А.В., Родионов А.В. Система питания газодизеля. Пат. на полезную модель № 160771 RUS. Оpubл. 10.12.2015.
- [5] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Родионов А.В., Родионов А.В., Уютов С.Ю., Фурман В.В. Система питания газодизеля. Пат. на изобретение № 2617017 RUS. Оpubл. 02.12. 2015.

## Ways to Eliminate the Detonation of the Diesel on Liquefied Hydrocarbon Gas in the Gas-Diesel Process

© Kochetkov M.N.  
Ovchinnikov E.V.  
Rodionov A.V.  
Rodionov A.V.  
Uyutov S.Y.  
Savelev G.S.

Federal agricultural research center all-Russian Institute of mechanization of agriculture, Moscow, 109428, Russia

*Adaptation of diesel engines to work on liquefied petroleum gas (LPG) is complicated by its low cetane number and the related hard work of the diesel engine when operating on LPG at the regimes close to the nominal power. In this work, we studies using different technical means for adapting diesel engines to work on LPG in the gas-diesel process.*

**Keywords:** gas fuel, cetane number, detonation, the priming dose, the exhaust.

УДК 621.224

## Проектирование опытно-промышленной волновой электростанции мощностью 30 кВт

© Марущенко Александр Андреевич mors00@rambler.ru  
Марущенко Ольга Викторовна ovmaruschenko@mail.ru  
Козич Александр Иванович  
Сундеткалиев Игорь Хайрлевич

Производственное объединение «Северное машиностроительное предприятие», Северодвинск, Архангельская обл., 164500, Россия

*Запасы углеводородного сырья, являющегося основой современной энергетики, истощаются. Поэтому сегодня мировое сообщество крайне заинтересовано в поиске возобновляемых и экологически чистых источников энергии. Одним из эффективных и простых возобновляемых источников энергии является морская волна. Волновая электростанция (ВолнЭС) относится к гидроэнергетическим сооружениям и может быть применена для использования энергии волн в акваториях, характеризующихся значительными колебаниями уровня акватории. Опытно-промышленная ВолнЭС предназначена для эксплуатации в мелководной прибрежной зоне Баренцева моря при средней глубине акватории в 5 м с максимальной высотой прилива 4 м (изменение глубины от 3 м при отливе и до 7 м при приливе) при температуре окружающей среды от минус 30 °С до плюс 35 °С. Данная волновая электростанция является инновационной разработкой, не имеющей аналогов в России, так как принцип ее работы заключается в преобразовании энергии волн в энергию воздушного потока.*

*В статье приведены оценки работоспособность (прочность и устойчивость) этой электростанции при ее эксплуатации, а также во время шторма максимальной балльности.*

**Ключевые слова:** волновая электростанция, волновая энергетика, возобновляемые источники энергии.

Представленный проект опытно-промышленной волновой электростанции мощностью 30 кВт (далее по тексту ВолнЭС) разрабатывался по техническому заданию Научно-исследовательского института энергетических сооружений (ОАО «НИИЭС», г. Москва).

Опытно-промышленная ВолнЭС предназначена для эксплуатации в мелководной прибрежной зоне Баренцева моря при средней глубине акватории в 5 м с максимальной высотой прилива 4 м (изменение глубины от 3 м при отливе до 7 м при приливе) при температуре окружающей среды от минус 30 °С до плюс 35 °С. Возможна эксплуатация в зимних условиях при отсутствии на акватории сплошного ледяного покрова и отдельных плавающих льдин. Кроме того, ВолнЭС способна выдерживать штормовое воздействие волны высотой 5 м (с вероятностью превышения 3 %) при скорости ветра 40 м/с и не терять свою работоспособность.

Работа данной волновой электростанции основана на преобразовании энергии волн в энергию воздушного потока, осуществляемом с помощью пневмогидравлической камеры, подводная часть которой сообщена с акваторией, а надводная — с атмосферой через напорный воздухопровод с установленной в нем ортогональной турбиной. Основные потери в таких ВолнЭС связаны с преобразованием энергии воздушного потока в энергию вращения турбины, установленной в воздуховоде, и с потерями энергии в пневмогидравлической камере, что особенно заметно в акваториях, характеризующихся значительными изменениями уровня водной поверхности.

ВолнЭС работает следующим образом. Пневмогидравлическая камера погружена нижним торцом ниже уровня водной поверхности акватории. Благодаря этому в верхней части пневмогидравлической камеры создается воздушная полость, соединенная с помощью отверстия в палубе с атмосферой через напорный воздухопровод. Из-за разности давлений в напорном воздуховоде и пневмогидравлической камере возникает воздушный поток, который вращает установленную в воздуховоде турбину, кинематически связанную с генератором электроэнергии.

Появление волн вызывает вертикальные колебания поверхности уровня воды внутри пневмогидравлической камеры, приводящие к изменениям объема воздушной полости и пульсации давления во входной полости напорного воздуховода. Воздух поочередно проталкивается через напорный воздухопровод в атмосферу и засасывается обратно. Скорость течения воздуха в воздуховоде можно считать обратно пропорциональной площади поперечного сечения потока (сжимаемостью воздуха можно пренебречь). Поскольку площадь сечения пневмогидравлической камеры намного больше площади сечения турбинной камеры, скорость воздушного потока через турбину намного выше скорости движения воздуха внутри пневмогидравлической камеры.

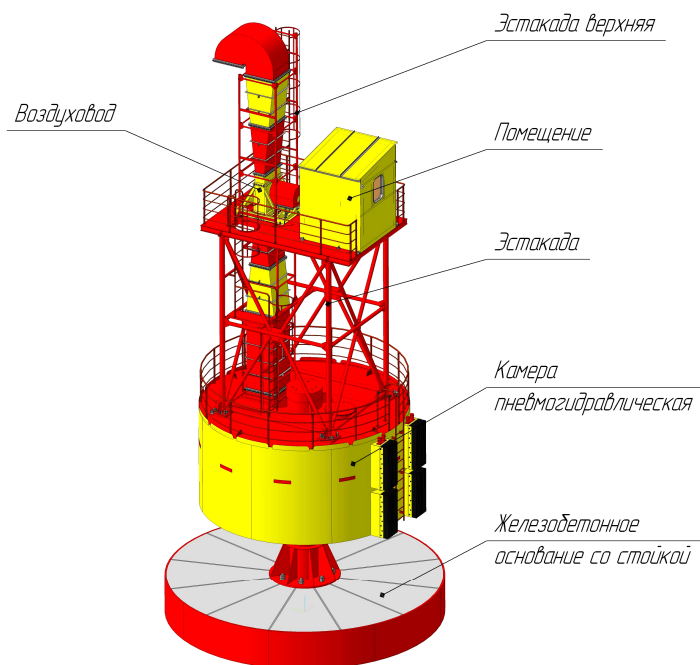
Турбина с лопастями крыловидного профиля представляет собой поперечно-струйную ортогональную турбину. Профиль каждой лопасти имеет тупой и острый концы. Воздушный поток, образующийся в напорном воздуховоде, достигнув некоторой минимальной скорости, приводит турбину во вращение. Вращающая сила действует в направлении тупых граней лопастей независимо от направления воздушного потока.

Использование поперечной ортогональной турбины позволило вывести генератор из воздушного потока, разместить его выше уровня воды, тем самым улучшив условия эксплуатации.

Генератор, кинематически связанный с турбиной, вырабатывает при ее вращении электроэнергию. Чем выше частота вращения турбины и генератора, тем большую мощность можно отдавать потребителю. В качестве генератора используется генератор переменного тока совместно с преобразователем частоты.

При отсутствии ветровых волн или при закрытом жалюзийном затворе воздухо-вода движение воздуха через турбину турбинной камеры отсутствует.

Установленная мощность ВолнЭС — 30 кВт при расчетной морской ветровой волне высотой 2 м.



Опытно-промышленный образец ВолнЭС

Приведенный на рисунке общий вид разработанного проекта ВолнЭС является итогом работы в течение 8 месяцев небольшого творческого коллектива. Проектные работы выполнялись в среде КОМПАС-3D. При этом рассматривалось несколько возможных вариантов конструкции, со своими недостатками и преимуществами. Окончательный вариант был выбран из-за своей простоты, относительной дешевизны и технологичности, а также возможности его дальнейшей модернизации в плане улучшения технических показателей (мощности, КПД).

Данный проект изготовлен и установлен на мысе Чеврай Мурманской области. В дальнейшем планируется изготовление волновых электростанций большей мощности, которые будут установлены на плотине в губе Долгой Кольского полуострова.

## Design of Pilot Wave Power Plant 30 kW

© | Marushchenko A.A.  
Marushchenko O.V.  
Kozich A.I.  
Sundekaliev I.X.

mors00@rambler.ru  
ovmaruschenko@mail.ru

Production Association "Northern machine-building enterprise",  
Severodvinsk, 164500, Russia

*Reserves of raw hydrocarbons, modern power engineering source, fall short. And today, the world community is highly interested in searching renewable and ecologically clean energy sources. One of the most effective and simple renewable energy sources is sea wave. Wave power plant belongs to hydropower constructions and can serve for wave energy utilization in water areas with significant fluctuations of water level. Pilot wave power plant is designed for operation in transition zone of the Barents Sea with average water depth 5 m and high water 4 m (depth variation from 3m at low tide to 7 m at high tide) and ambient temperature from minus 30 °C to plus 35 °C. This wave electric power plant is innovative and unrivaled throughout Russia since its operation principle consists of wave energy conversion to air flow energy. As a result of the work, capability (strength and stability) of pilot wave electric power plant was estimated in operation and during storm of maximum intensity.*

**Keywords:** wave electric power plant, wave power, renewable energy sources.

УДК 621.45.01:004.942

## Сравнительный анализ математических моделей массы авиационных газотурбинных двигателей

© | Филинов Евгений Павлович  
Остапюк Ярослав Анатольевич  
Кузьмичев Венедикт Степанович

filinov.evg@gmail.com  
oya92@mail.ru

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева», Самара, 443086, Россия

*проведен сравнительный анализ математических моделей массы авиационных газотурбинных двигателей. Актуальность работы обусловлена необходимостью максимально точной оценки массы двигателя на этапе концептуального проектирования. Подробно рассмотрены восемь моделей массы, преимущественно зарубежных авторов. Для их сравнения сформирована база из более чем 70 современных газотурбинных двигателей различных производителей и размерностей. На основе полученных статистических данных определена точность всех рассматриваемых моделей. Сделан вывод, что модель массы Самарского университета имеет наивысшую точность (10 % против 15...25 % зарубежных аналогов). Продолжением работы будет*

*модернизация модели массы Самарского университета для расчета малоразмерных газотурбинных двигателей.*

**Ключевые слова:** масса двигателя, газотурбинный двигатель, математическая модель, модель массы, концептуальное проектирование.

Оценка массы авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) необходима на всех этапах его проектирования. В частности, на этапе концептуального проектирования оценка массы позволяет более обоснованно подойти к выбору типа и компоновочной схемы двигателя для дальнейшей ее разработки. Однако этап концептуального проектирования характеризуется неопределенностью исходных данных, что, во-первых, не позволит достигнуть высокой точности оценки массы, а во-вторых, накладывает ограничения на используемые модели оценки (отсутствие большого количества известных параметров). Таким образом, оценка массы ГТД является такой же многоэтапной задачей, как и процесс его проектирования в целом. Из-за неопределенности исходных данных на этапе концептуального проектирования создать «физическую» модель оценки массы не представляется возможным, поэтому все созданные модели являются статистическими. Конечно, существуют более точные модели поэлементной оценки массы ГТД, но их применение на данном этапе вызывает объективные трудности.

Цель работы заключается в поиске такой модели массы, которая при минимальном наборе входных параметров имеет наивысшую точность. Были исследованы модели оценки массы турбореактивных двухконтурных двигателей (ТРДД), поскольку этот тип ГТД наиболее распространен. Рассмотрены модели следующих авторов: Torenbeek ( $M_{дв} = f(m, \pi_{к\Sigma}, G_B, P_{взл})$ ) [1], Raymer ( $M_{дв} = f(m, P_{взл})$ ) [2], Jenkinson ( $M_{дв} = f(m, P_{взл})$ ) [3], Svoboda ( $M_{дв} = f(P_{взл})$ ) [4], Clavier ( $M_{дв} = f(m, \pi_{к\Sigma}, G_B)$ ) [5], Guha ( $M_{дв} = f(D_B)$ ) [6] и Byerley ( $M_{дв} = f(m, \pi_{к\Sigma}, D_B)$ ) [7], а также модель, разработанная в Самарском университете ( $M_{дв} = f(m, \pi_{к\Sigma}, \pi_B, T_{г.взл}^*, G_B)$ ).

Сравнительный анализ проводили по данным 70 авиационных двигателей: определяли отклонение значения массы, полученной по каждой модели, от реальных значений. Отдельные погрешности по каждому двигателю складывались и делались выводы по средней погрешности всей модели.

По различным источникам приемлемой погрешностью при оценке массы ГТД является  $\pm 10\%$ . Анализ результатов показал, что в диапазон среднего отклонения  $\pm 10\%$  уложилась только модель Самарского университета (9,8%). В диапазон  $\pm 20\%$  попали модели Torenbeeka (18%), Byerley (19%) и Clavier (20%), остальные модели имели погрешность 22...27%.

Высокую точность модели Самарского университета можно объяснить большим количеством входных параметров и использованием коэффициентов, учитывающих ресурс двигателя и год выпуска.

В будущих исследованиях планируется развить модель массы в нескольких направлениях:

- разработать математическую модель массы, применительно к малоразмерным ТРД и ТРДД с расходом воздуха меньше 5 кг/с;
- разработать узловую модель массы с минимально возможным количеством входных параметров.



## Литература

- [1] Torenbeek E. *Synthesis of subsonic airplane design*. Delft University Press, 1976.
- [2] Raymer D.P. *Aircraft design: A conceptual approach*. Washington, AIAA, 1989, 745 p.
- [3] Jenkinson L.R., Simpkin P., Rhodes D. *Civil Jet Aircraft Design*. London, Butterworth-Heinemann, 1999, 429 p.
- [4] Svoboda C. Turbofan engine database as a preliminary design tool. *Aircraft design*, 2000, vol. 3, pp. 17–31.
- [5] Clavier J. *Aero gas turbine engine design project (AVIC). Ultra-high bypass ratio (12–14)*. Cranfield, 2008.
- [6] Guha A., Boylan D., Gallagher P. Determination of optimum specific thrust for civil aero gas turbine engines: A multidisciplinary design synthesis and optimization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 2012, vol. 227, no. 3.
- [7] Byerley A.R., Rolling A.J., Van Treuren K.W. Estimating gas turbine engine weight, costs, and development time during the preliminary aircraft engine design process. *Proc. of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition*, 2013. DOI: 10.1115/GT2013-95778.

## Comparative Analysis of Mathematical Models of the Gas Turbine Engines Weight

© Filinov E.P.  
Ostapyuk Ya. A  
Kuzmichev A.S.

filinov.evg@gmail.com  
oya92@mail.ru

Samara National Research University, Samara , 443086, Russia

*Abstract: A comparative analysis of mathematical models of the gas turbine engines weight was performed. The urgency of the work is due to the need for the most accurate estimation of the engine mass at the stage of conceptual design. Eight mass models were considered in detail. For comparison, a base of more than 70 modern gas turbine engines of different manufacturers and dimensions has been formed. Based on the obtained statistical data, the accuracy of all the models considered is determined. It is concluded that the mass model of the Samara University has the highest accuracy (10% versus 15-25% for foreign analogs). The continuation of the work will be the modernization of the mass model of the Samara University for the calculation of small-size gas turbine engines.*

**Keywords:** weight model, gas turbine engine, mathematical model, conceptual design.

УДК 608.2, 62-91, 621.641, 541.183

### Эмпирический метод исследования низкотемпературной заправки адсорбционной системы аккумулирования природного газа

© Чугаев Сергей Сергеевич

chugaev@bmstu.ru

Стриженов Евгений Михайлович

strizhenov@list.ru

Жердев Анатолий Анатольевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

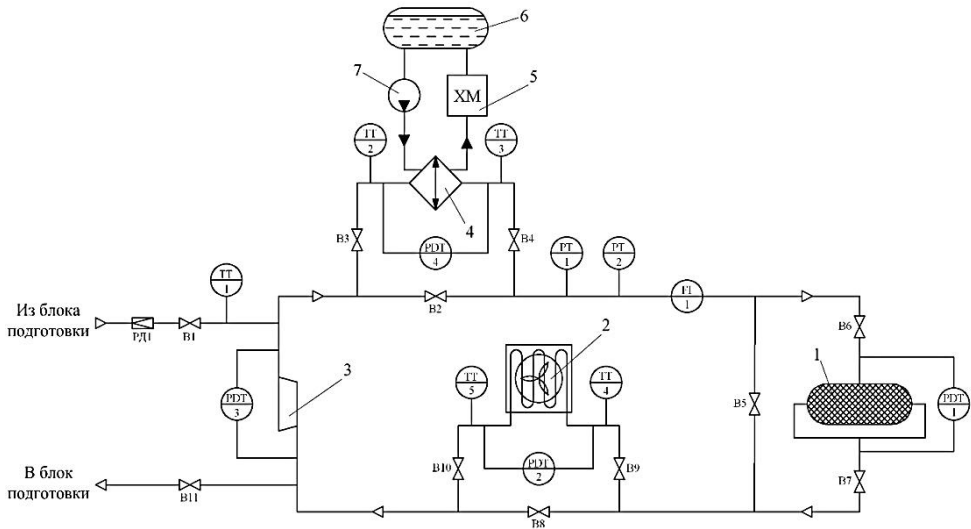
*Представлена принципиальная схема экспериментального стенда для исследования низкотемпературной заправки адсорбционной системы аккумулирования природного газа. Приведено описание эмпирического метода исследования низкотемпературных процессов заправки данной системы.*

**Ключевые слова:** адсорбция, аккумулирование природного газа, адсорбированный природный газ, низкотемпературная заправка.

Охлаждение при заправке адсорбционной системы аккумулирования позволяет существенно увеличить количество заправляемого газа или значительно снизить давление заправки. Понижение температуры также уменьшает долю более пожаровзрывоопасной газовой составляющей [1]. При определенных условиях низкотемпературная заправка адсорбционной системы аккумулирования может быть энергосберегающей по сравнению с заправкой сжатым газом системы без адсорбента, но основное преимущество заправки данного типа — именно пожаровзрывобезопасность как заправочной станции, так и газобаллонной системы [2]. Наиболее энергоэффективным методом организации заправки адсорбционных систем аккумулирования является многоступенчатый (каскадный), обеспечивающий существенную экономию энергии на сжатие газа [3]. При этом методы заправки могут комбинироваться друг с другом.

На кафедре Э4 МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством профессора А.А. Жердева при непосредственном участии авторов доклада был разработан и реализован экспериментальный стенд для исследования низкотемпературной и других видов

заправки адсорбционной системы аккумулирования природного газа. Принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Принципиальная схема экспериментального стенда для исследования низкотемпературной заправки адсорбционной системы аккумулирования природного газа:

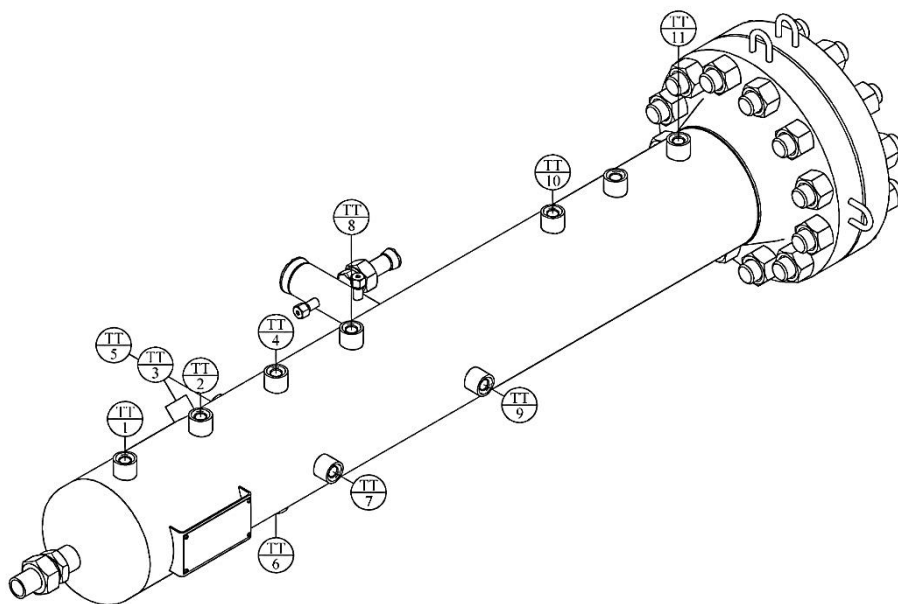
1 — адсорбер с адсорбентом; 2 — теплообменный аппарат «природный газ — воздух»; 3 — нагнетатель динамического действия; 4 — теплообменный аппарат «природный газ — этанол»; 5 — холодильная машина; 6 — ресивер с этанолом; 7 — циркуляционный насос; PDT1–PDT4 — дифференциальные преобразователи давления; PT1, PT2 — преобразователи давления; FII — преобразователь расхода; TT1–TT5 — датчики температуры; PDI — редуктор давления; B1–B11 — запорные вентили

В данной схеме выделяющаяся при заправке системы теплота адсорбции снимается с помощью протекания охлажденного природного газа через слой адсорбента адсорбера 1. Циркуляция газа обеспечивает нагнетатель динамического действия 3. По мере аккумулирования новые порции газа поступают в контур из блока подготовки газа через редуктор PDI и вентиль B1. Процесс заправки происходит в два этапа: организация «изотермической» заправки со сбросом теплоты в окружающую среду и низкотемпературной заправки с дополнительным отводом теплоты с помощью холодильной машины 5. При «изотермической» заправке сброс теплоты адсорбции осуществляется с помощью теплообменного аппарата «природный газ — воздух» 2: открыты вентили B1, B2, B6, B7, B9, B10, вентили B3–B5, B8, B11 — закрыты. При низкотемпературной заправке теплота адсорбции передается с помощью теплообменного аппарата «природный газ — этанол» хладонносителю этанолу, охлаждаемому холодильной машиной: открыты вентили B1, B3, B4, B6–B8; вентили B2, B5, B9, B10 — закрыты. Ресивер с этанолом 6 играет роль аккумулятора «холода» для ускорения процесса заправки. Циркуляцию этанола обеспечивает циркуляционный насос 7.

Давление в контуре контролируют преобразователи давления PT1 и PT2 с разными пределами измерений и соответственно точностью, а напор нагнетателя — дифференциальный преобразователь давления PDT3. Гидропотери в теплообменных аппаратах и в адсорбере контролируют с помощью дифференциальных преобразователей давления PDT1, PDT2 и PDT4 соответственно. Температуры на входе в контур,

а также на концах теплообменных аппаратов измеряют датчиками температуры  $TT1$ – $TT5$ . Расход циркулируемого газа контролируют с помощью преобразователя расхода  $FII$ , а расход заправляемого газа — косвенным объемным методом с помощью преобразователей давления и датчиков температур, установленных на ресивере блока подготовки.

Для контроля распределения температур внутри адсорбера в него установлены гильзы с датчиками температур. Схема установки датчиков представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема установки датчиков температур внутри адсорбера:  
 $TT1$ – $TT11$  — датчики температур

Чувствительные элементы датчиков температур  $TT1$ ,  $TT2$ ,  $TT4$ ,  $TT8$ ,  $TT10$ ,  $TT11$  расположены вдоль оси адсорбера, датчика  $TT9$  — на входе в адсорбер. Датчики  $TT3$ ,  $TT5$ – $TT7$  предназначены для оценки уровня влияния конвекции и определения формы «теплового фронта». Однако стоит заметить, что они измеряют не температуру слоя адсорбента, а среднюю температуру между температурой обтекающего датчики газа и температурой окружающего датчики слоя адсорбента, с которым датчики обмениваются теплотой с помощью излучения.

Условие эксперимента (режим) по давлению обеспечивается с помощью редуктора  $РД1$ , установленного на выходе из блока подготовки, а скорость охлаждения — регулированием расхода и температуры этанола, расхода газа через теплообменный аппарат 4 (в том числе с помощью байпасного вентиля  $B2$ ). Расход газа в контуре обеспечивается изменением частоты вращения ротора нагнетателя и изменением гидросопротивления сети.

Разработанный стенд позволяет экспериментально моделировать низкотемпературные процессы заправки до температуры минус  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  в пределах давлений до 10 МПа. Экспериментальный стенд ориентирован на исследования адсорбционных свойств адсорбентов, процессов тепло- и массообмена внутри адсорбера.

## Литература

- [1] Чугаев С.С., Стриженов Е.М. Пожаровзрывобезопасный низкотемпературный метод заправки адсорбционной системы аккумуляирования природного газа. *Сб. докл. 9-й Всерос. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России»*, 2016, с. 452–455.
- [2] Чугаев С.С., Стриженов Е.М., Жердев А.А., Кузнецов Р.А., Подчуфаров А.А., Жидков Д.А. Пожаровзрывобезопасная низкотемпературная заправка адсорбционной системы аккумуляирования природного газа. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2016, № 12, с. 32–38.
- [3] Стриженов Е.М., Жердев А.А., Подчуфаров А.А., Чугаев С.С., Кузнецов Р.А. Энергосберегающая многоступенчатая заправка адсорбционной системы аккумуляирования природного газа. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2015, № 11, с. 40–44.

## Empirical Research Method of Low-Temperature Filling of Adsorption Natural Gas Storage System

©	Chugaev S.S.	chugaev@bmstu.ru
	Strizhenov E.M.	strizhenov@list.ru
	Zherdev A.A.	

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The schematic diagram of the experimental stand for a research of low-temperature filling of adsorption natural gas storage system is submitted. The description of an empirical method of a research of low-temperature processes of filling of this system is provided.*

**Keywords:** *adsorption, natural gas storage, adsorption natural gas, low-temperature filling.*

УДК 66.097-922

### Установка термической переработки органосодержащего сырья

© Антипова Элина Евгеньевна	engellina@rambler.ru
Китаев Сергей Васильевич	kitaev-sv@gmt.com.ru
Шакиров Альберт Раисович	shakirov241@gmail.com
Тунцев Денис Владимирович	tuncev_d@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет имени А.Н. Туполева, Казань, 420015, Россия

*Представлено описание установки для термической переработки органосодержащего сырья разработанной на кафедре переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета.*

**Ключевые слова:** органосодержащее сырье, термическое разложение, пиролиз, топочные газы.

Значительная доля не востребованных отходов лесозаготовки и растениеводства, представляющая собой растительную биомассу, является источником загрязнения окружающей среды. Осознание необходимости перехода на экологически чистые местные возобновляемые виды топлива стимулировало совершенствование традиционных и создание принципиально новых технологий энергетического использования растительной биомассы [1].

На сегодняшний день к основным известным способам использования растительной биомассы в энергетических целях относятся термохимические:

- сжигание (топливные пеллеты — экологически чистый вид топлива, получаемый в результате переработки отходов лесозаготовки, деревообработки, аграрной деятельности и т. д. [2]);
- пиролиз (процесс пиролиза заключается в термическом разложении органических соединений биомассы в отсутствие окислителя, при относительно низких температурах 450...550 °С, с образованием жидких, твердых и газообразных продуктов);
- газификация (при неполном сжигании биомассы происходит газификация, целью которой является получение генераторного газа, который может использоваться как в энергетических целях, так и для дальнейшей переработки в химические продукты [3]).

Многочисленные усовершенствования классических процессов пиролиза биомассы позволили существенно увеличить выход жидких продуктов и снизить потери углерода в составе газообразных и твердых продуктов пиролиза. Для получения жидких продуктов с высоким выходом (до 80 % по масс.) наиболее целесообразно использовать процесс быстрого пиролиза [4].

Жидкие продукты пиролиза представляют собой однородную коричневую жидкость с характерным запахом дыма. По элементарному составу жидкость близка к древесине и представляет собой сложную смесь окисленных углеводородов, используемую в качестве топлива [5].

На кафедре переработки древесных материалов разработана установка термической переработки органосодержащего сырья (пат. № 2508388), схема которой представлена на рисунке.

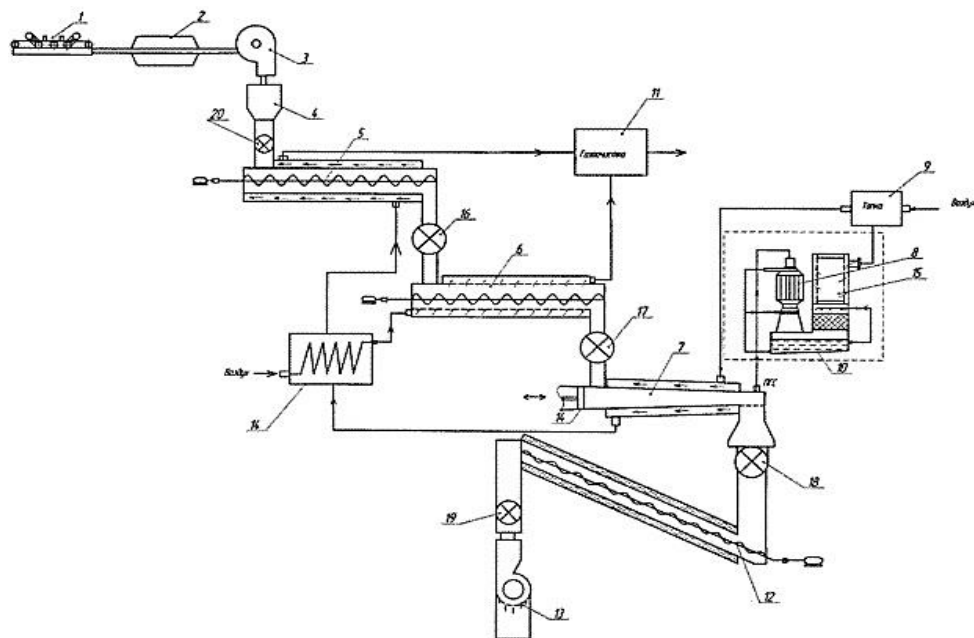


Схема установки для термической переработки органосодержащего сырья:

1 — механический очиститель поверхности шпал; 2 — металлоискатель; 3 — рубильная машина; 4 — дозатор; два последовательно соединенных шнековых транспортера: 5 — первый шнековый транспортер, 6 — второй шнековый транспортер; 7 — камера пиролиза конусной формы, конденсатор парогазовой смеси, состоящий из 8 — распылительной и 15 — насадочной колонн; 9 — топка; 10 — емкость для сбора жидкого пропиточного продукта; 11 — газоочиститель; 12 — шнековый питатель с охлаждением и 13 — брикетер древесного угля; 14 — теплообменники; 16–20 — секторные питатели

Работает установка термической переработки растительной биомассы следующим образом. Органосодержащее сырье, прошедшее предварительную подготовку (очистение от посторонних предметов 1 и металлических включений 2, измельчение 3) с помощью дозатора 4 подают на стадию сушки до влажности сырья 12 %, которая осуществляется в двух последовательно соединенных шнековых транспортерах, в первом транспортере 5 путем передачи тепловой энергии топочными газами через стенку, а во втором 6 за счет передачи тепловой энергии нагретым воздухом

топочными газами при температуре 160...200 °С. Затем измельченное сырье после сушки подают в конусный реактор пиролиза 7, где происходит термическое разложение сырья при температуре 450...520 °С с образованием парогазовой смеси и угля. Уголь поступает в шнековый питатель 12, где охлаждается до 50 °С и подается в брикетер древесного угля 13.

Парогазовая смесь направляется в конденсатор, состоящий из распылительной 8 и насадочной 15 колонн, где в результате конденсации охлажденным жидким продуктом, при температуре 180...200 °С, отделяется жидкий продукт, который собирают в приемной ванне 10, несконденсированный пиролизный газ направляют в топку 9 для получения тепловой энергии топочными газами. Для обеспечения герметизации узлов установки используют секторные питатели 16–20.

Для нагрева реактора пиролиза 7 используют полученные топочные газы, после чего их направляют в теплообменник 14 для нагрева воздуха, используемого для сушки измельченного сырья во втором шнековом транспортере, затем направляют в первый шнековый транспортер, для передачи тепла сырью через стенку, для предварительного подогрева. Затем используемые на сушку топочные газы и воздух направляют в газоочиститель 11.

Таким образом, осуществление данного способа термической переработки органического сырья позволяет использовать энергетический потенциал растительной биомассы для получения жидких (до 75 % по массе), твердых продуктов, а также газообразных веществ для поддержания нужд процесса.

## Литература

- [1] Чирков В.Г., Порев И.А., Ерхов М.В. Использование растительной биомассы для автономного теплоэлектроснабжения в аграрном секторе. *Вестник ВИЭСХ*, 2005, № 1, с. 103–09.
- [2] Тунцев Д.В., Хисматов Р.Г., Хайруллина М.Р., Савельев А.С., Романчева И.С. Современные направления переработки древесной биомассы. *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2015, т. 3, № 2-1 (13-1), с. 464–468. DOI: 10.12737/10209
- [3] Хисматов Р.Г., Хисматова Е.В., Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р., Савельев А.С., Романчева И.С. Установка переработки низкокачественной древесины в уголь. *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, т. 17, № 22, с. 297–300.
- [4] Тунцев Д.В., Хисматов Р.Г., Касимов А.М., Китаев С.В., Романчева И.С., Савельев А.С. Лабораторный стенд для исследования процесса газификации жидкого продукта контактного пиролиза древесных отходов лесной промышленности. *Сб. мат. IV междунар. науч. экологич. конф. (с участием экологов Азербайджана, Армении, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, Киргизии, Латвии, Ливана, Молдовы, Приднестровья, России, Словакии, Узбекистана и Украины) «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства»*, 2015, с. 663–665.
- [5] Тунцев Д.В., Халитов А.З., Грачев А.Н. Исследование свойств жидкого продукта быстрого пиролиза и его влияния на конструкционные материалы. *Вестник Казанского технологического университета*, 2010, № 9, с. 103–107.



## Installation of Thermal Processing Organo-Containing Raw Material

© Antipova E.E. engellina@rambler.ru  
Kिताev S.V. kitaev-sv@gmt.com.ru  
Shakirov A.R. shakirov241@gmail.com  
Tuntsev D.V. tuncev\_d@mail.ru

Kazan national research technological university, Kazan, 420015, Russia

*The presents a description of installation for thermal processing organo-containing raw materials developed at the Department of Processing Woody Materials Kazan national research technological university.*

**Keywords:** *organo-containing raw materials, thermal decomposition, pyrolysis, flue gases.*

УДК 656.25:504

## Социально-экологические аспекты управления экологической безопасностью

© Асманкин Евгений Геннадьевич Asman08@yandex.ru  
Попов Владимир Георгиевич

Московский государственный университет путей сообщения  
имени Императора Николая II, Москва, 127055, Россия

*Рассмотрены проблемы оценки экологической безопасности, основные экологические проблемы современного мира, понятия экологического риска и экологической безопасности, правовые основы обеспечения экологической безопасности. Показаны алгоритм и аппарат оценки экологической безопасности.*

**Ключевые слова:** *техногенная катастрофа, аварийные ситуации, экологическая безопасность.*

**Введение.** Экологическая безопасность — система политических, правовых, экономических, технологических и иных мер, направленных на обеспечение гарантий защищенности окружающей среды и жизненно важных интересов человека и гражданина от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности и угроз возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в настоящем и будущем времени; состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и окружающей природной среды от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных опасных воздействий [1–3].

Выделяют две основные группы экологических показателей: компонентные и комплексные. К первой группе относят метод контрольных списков, в котором составляется перечень видов воздействий, присущих рассматриваемому объекту, с присвоением каждому виду количественной (как правило, в баллах) оценки.

Возросшая теоретическая и практическая значимость проблемы взаимосвязи экологической и экономической безопасности и дискуссионность многих моментов обусловили выбор темы, цель и задачи исследования.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является промышленный регион с высокой степенью антропогенной нагрузки. Предметом исследования являются методические подходы к оценке взаимодействия экологической и экономической безопасности.

Поставленная цель предполагает решение следующих задач:

- систематизировать теоретико-методологические подходы к оценке экологической безопасности и дать авторское определение экологической безопасности;
- создать методический аппарат по диагностике экологической безопасности;
- выявить корреляционные зависимости, характеризующие влияние экологических факторов на экономическую безопасность региона, и разработать модель совместной динамики экологических факторов и показателей экономической безопасности.

**Теоретическая и методологическая основы исследования.** Методологической и теоретической основой исследования послужили научные публикации отечественных и зарубежных ученых, посвященные вопросам устойчивого развития в контексте обеспечения экономической и экологической безопасности; программные и прогнозныe разработки органов государственной власти и управления; законодательные и нормативные акты, имеющие отношение к безопасности; материалы научно-практических конференций и симпозиумов. Были использованы комплексный подход, методы индикативного, сравнительного и статистического анализа, балансовые и экономико-статистические модели, экологическое моделирование, метод выборочных исследований. Информационной базой исследования явились указы Президента Российской Федерации по вопросам безопасности, справочные материалы Федеральной службы государственной статистики, органов статистики и правительств субъектов РФ, законодательные акты, нормативно-справочная информация, фактический материал по изучаемой проблеме, опубликованный в монографиях и периодической печати, на интернет-страницах, собственные исследования автора.

**Результаты исследования.** Научная новизна результатов исследования состоит в следующем.

1. Предложено авторское определение понятия экологической безопасности, содержащее обобщенную классификацию угроз, вызывающих нарушение определенного вида взаимодействий в окружающей природной среде (вещественных, энергетических и информационных). Выявлены факторы взаимосвязи экологической безопасности с экономической безопасностью региона (п. 12.17 Паспорта специальностей ВАК (экономические науки)).

2. Разработан и апробирован методический аппарат диагностики экологической безопасности, позволяющий определять уровень экологической безопасности территории, и, в отличие от имеющихся подходов, включающий в себя расчет экологической емкости, экологической техноемкости и коэффициента истощения экологической техноемкости отдельно по каждой сфере природной среды. Сформированы пороговые значения для разграничения основных состояний экологической безопасности. Экологическая емкость атмосферного воздуха определяется с привлечением балансовой модели воспроизводства-потребления атмосферного кислорода (п. 12.9 Паспорта специальностей ВАК (экономические науки)).

3. Результаты исследования могут быть использованы при формировании концепции устойчивого развития, а также социально-экономических программ развития территорий. Теоретические выводы, методологические подходы и рекомендации могут быть полезны для управленческих структур, занятых разработкой и осуществлением политики обеспечения безопасности.

#### Литература

- [1] Охрана окружающей среды и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте: учеб. пособие / Под ред. проф. Н. И. Зубрева, Н. А. Шараповой. Москва, УМК МПС России, 1999, 592 с.
- [2] [Электрон. ресурс] [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8515/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8515/) (дата обращения 20.08.2016).
- [3] [Электрон. ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-bezopasnost-regiona-sotsialno-ekologo-ekonomicheskiiy-aspekt> (дата обращения 20.08.2016).

## Environmental Safety in Transportation of Dangerous Goods by Rail

© | Asmankin E. G.  
Popov V.G.

Asman08@yandex.ru

Moscow state transport University of Emperor Nicholas II, Moscow, 127055, Russia

*The report is devoted to the problems of environmental safety assessment. The main environmental problems of the modern world, the concept of environmental risk and environmental safety, the legal basis for ensuring environmental security. In his report, the author considers the algorithm for assessing environmental safety, and the apparatus for assessing environmental safety is considered.*

**Keywords:** *technogenic catastrophe, emergency situations, ecological safety.*

УДК 614.8.084

## Оценка степени защищенности населения от несчастных случаев на примере г. Севастополя

© | Богомолова Александра Дмитриевна  
Копытов Дмитрий Олегович

ada.zime@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены элементы системы прогнозирования и предотвращения несчастных случаев с населением, на примере города Севастополя. Освещены методы профилактики и предупреждения несчастных случаев. Большое внимание уделено оценке факторов, влияющих на возникновение чрезвычайных ситуаций, характерных для*

*рассматриваемого региона. Выдвинуты предложения по улучшению существующей системы и предложены мероприятия, направленные на предотвращение несчастных случаев и уменьшение их последствий.*

**Ключевые слова:** несчастный случай, риски, город Севастополь, чрезвычайная ситуация, природные угрозы, техногенные опасности.

Несчастный случай — внезапное событие, являющееся результатом воздействия внешних причин, в результате которого наступило расстройство здоровья, приведшее к болезни, инвалидности, временной утрате трудоспособности или смерти [1]. Несчастные случаи в разрезе населенного пункта представляют собой инциденты с населением (группой людей или индивидуумом), произошедшие в результате техногенных, природных, биолого-социальных чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Для оценки и прогнозирования определенного вида несчастных случаев в городском населенном пункте необходим полноценный анализ факторов, способных оказать влияние на вероятность возникновения происшествий в разных сферах городской среды. В первую очередь, необходимо изучать особенности физико-географических, природно-климатических характеристик территории, а также учитывать темп социально-экономического развития города и субъекта.

Эффективная работа системы по обеспечению безопасности жизни людей основывается на достаточном уровне осведомленности ответственных служб о характеристиках основных природных угроз подконтрольных территорий. На данный момент в городе Севастополе проводится активная работа по созданию, внедрению и успешной реализации системы управления характерными для данной территории рисками. Так, для г. Севастополя, требующими пристального внимания, учета и анализа являются природные опасности, связанные с землетрясениями, извержениями вулканов, оползнями, селями, карстовыми процессами, абразией, лавинами, сильным ветром, в том числе шквалом, смерчем, сильным дождем (ливнем), волнением моря, сильным морозом, выпадением снега, высокими уровнями воды, природными пожарами.

Аналогичный анализ с целью планирования дальнейших предупредительных действий и проведения защитных мероприятий проводится для других ключевых сфер: изучаются характеристики основных техногенных угроз, включающих в себя ЧС на различных видах транспорта, аварии на системах энергоснабжения и на опасных предприятиях, пожары и взрывы. Также изучаются характеристики биолого-социальных угроз, связанных с распространением различных заболеваний, свойственных данному населенному пункту: туляремии, лептоспирозом, клещевым вирусным энцефалитом, распространением колорадского жука и австрийской черепашки. В итоге, важной частью работ по обеспечению безопасности населения региона является комплексная количественная и качественная оценка природных, техногенных и биолого-социальных рисков.

В Республике Крым и г. Севастополе разрабатывается система мероприятий по управлению природно-техногенными рисками и обеспечению безопасности жизнедеятельности населения в соответствии с рабочей схемой Методических рекомендаций по реализации Федерального закона от 6 октября 2003 г. № 131-ФЗ в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от ЧС, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах [2].

Так, для предотвращения несчастных случаев на водоемах, представляющих существенную проблему как для всей республики, так и для Севастополя в частности, осуществляется комплексная работа, проводимая на основе разработанной организа-

ционно-планирующей документации, включающей план работы противопожарной комиссии, план взаимодействия сил и средств города по обеспечению безопасности людей на водных объектах, а также схему водных объектов и гидротехнических сооружений города. Тем самым осуществляется координированная работа на спасательных станциях и постах профессиональных и добровольных аварийно-спасательных формирований.

По данным ГУ МЧС Севастополя в 2015 г. на водных объектах произошло 50 происшествий, на которых спасли 39 человек, пятеро из них — дети [3].

Социально направленной частью проводимой работы является проведение ликбезов в области безопасности, особенно у наименее защищенных слоев общества, а также различные мероприятия, направленные на предотвращение несчастных случаев и уменьшение их последствий:

- обеспечение мер по сохранению и укреплению здоровья и социальной защите населения;
- формирование культуры безопасной жизнедеятельности, устойчивых навыков безопасного поведения на дорогах, в быту, в школе; воспитание ответственного отношения у молодежи;
- воспитание у молодого поколения сознательного и ответственного отношения к сохранению и укреплению собственного физического и психического здоровья, к собственной безопасной жизнедеятельности;
- воспитание навыков культуры общения и соответствующих норм этики взаимоотношений;
- улучшение медицинского обслуживания;
- осуществление административно-общественного контроля над выполнением мер безопасности;
- разработка необходимых инструкций, памяток по мерам безопасности при возникновении ЧС;
- разработка и внедрение новых современных технологий управления деятельностью по профилактике травматизма.

Таким образом, необходимо развивать систему предупреждения и предотвращения несчастных случаев, в рамках которой необходимы согласованные действия сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС, органы управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС и аварийно-спасательных и поисково-спасательных формирований с учетом разработанных научно-методических рекомендаций по управлению природно-техногенными рисками.

### Литература

- [1] *Словарь экономических терминов*. [Электрон. ресурс]. <https://tochka.com/info/glossary> (дата обращения 04.03.2017).
- [2] Главное управление МЧС России по г. Севастополю [Электрон. ресурс]. <http://92.mchs.gov.ru/pressroom/news/item/3352828/> (дата обращения 01.03.2017).
- [3] Комплексное исследование влияния рисков природных и техногенных чрезвычайных ситуаций на безопасность жизнедеятельности населения республики Крым и г. Севастополя / под ред. И. Тарасовой. Москва, «Буки Веди», 2015, 208 с.

## Assessment the Degree of Protection of the Population from Accidents by the Example of Sevastopol city

© | Bogomolova A.D.  
| Копилов D.O.

ada.zime@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article deals with elements of the accidents forecasting and preventing system with the population are considered in Sevastopol city. Methods of accidents preclusion are covered. Much attention is given to assessing the factors that affect the Specific to the region emergencies. The article proposes proposals for improving the existing system and suggests measures aimed at preventing accidents and reducing their consequences.*

**Keywords:** accident, risks, Sevastopol, emergency situation, natural threats, technogenic hazards.

УДК 656.225.073.436:504

## К оценке аварийного риска при движении поездов в результате воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера

© | Боландова Юлия Константиновна  
| Сухов Филипп Игоревич  
| Попов Владимир Георгиевич

xjuletta@gmail.com  
philipp@sukhov.org  
vpopov\_miit@mail.ru

Московский государственный университет путей сообщения  
имени Императора Николая II, Москва, 127055, Россия

*Рассмотрена проблема прогнозирования аварийного риска, возникающего в результате природных чрезвычайных ситуаций, применительно к железнодорожному транспорту. Авторы предлагают пользоваться нормированным законом Эрланга для определения вероятности воздействия чрезвычайных ситуаций на социо-техническую систему железнодорожного транспорта.*

**Ключевые слова:** аварийный риск, аварийные ситуации, чрезвычайные ситуации, железнодорожный транспорт.

Оценка и прогноз стратегических рисков России показывает, что в природной и техногенной сферах они имеют тенденции к возрастанию. Ежегодно увеличивается число природных и техногенных чрезвычайных ситуаций в России, в том числе обусловленных климатическими изменениями, такими как сильные снегопады, гололедица, грозы, дожди, град, бури [1]. Те же тенденции наблюдаются и в мировом масштабе, исходя из мировых статистических данных [2] ежегодный прирост погибших только от природных катастроф на Земле составляет 4,3 %, пострадавших — 8,6 %, величины ущерба — 10,4 %.

Возрастание интенсивности и скорости движения поездов на железнодорожном транспорте, сопровождающее увеличением числа природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, приводят к необходимости оценки аварийных рисков при движении поездов, вызванных опасными состояниями объектов окружающей среды, а именно, природными и техногенными чрезвычайными ситуациями (ЧС) [3, 4].

Особенно остро эта проблема стоит в связи с активным продвижением проекта «Экономического пояса Шелкового пути», и связанным с ним строительством высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) Москва — Казань. По линии ВСМ будут курсировать высокоскоростные поезда (со скоростями до 400 км/ч), ускоренные региональные поезда (с маршрутами до 200 км и скоростями до 200 км/ч), ускоренные ночные дальнемагистральные поезда, а также грузовые и контейнерные поезда (со скоростями до 160 км/ч).

Необходимо отметить, что согласно прогнозам МЧС России на 2017 г. именно этот регион наиболее подвержен рискам, связанным с железнодорожными перевозками. Так на территории республики Татарстан наблюдаются следующие опасные природные явления:

- **метеорологические** — сильный ветер (в том числе шквал); очень сильный дождь, ливень, продолжительные сильные дожди; крупный град; очень сильный снег, метель; сильный мороз;
- **гидрологические** — высокие уровни воды (половодье, затор, зажор);
- **геологические** — оползни, обвалы, осыпи; карстовые провалы (провалы); овражная эрозия;
- **сейсмическая опасность** — землетрясения;
- **природные пожары.**

Таким образом при проектировании участка ВСМ необходимо учитывать все возможные риски, оценивать возможный ущерб при реализации изложенных выше природных опасностей.

В качестве чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера выберем ЧС-2 и ЧС-3 (по классификации проф. С.И. Мягкова [4], относящиеся к ЧС средней степени тяжести последствий). Они представляют собой не слишком разрушительные землетрясения, сильные наводнения, ураганы и т. д., техногенные аварии на потенциально опасных технических объектах с повреждением и разрушением населенных пунктов, транспортных коммуникаций и др. Рассматриваемые ЧС-2 и ЧС-3 характеризуются частотой появления порядка  $10^{-1}$ - $10^1$  в год, характерным временем действия порядка  $10^0$ ... $10^2$  ч и характерным пространственным масштабом порядка  $10^{-1}$ ... $10^1$  км [1, 2, 4].

Будем оценивать аварийный риск для движения поездов по  $i$ -му участку  $j$ -й железной дороги, движение по которому характеризуется следующими показателями:  $N_{j,i}$  — пропускная способность  $i$ -го участка  $j$ -й железной дороги; число поездов в сутки.

Для перспективных грузовых и пассажирских потоков необходимо учитывать потребную пропускную способность, а для проектируемой железной дороги — ожидаемую пропускную способность.

Будем считать, что поезда организованно движутся в определенном направлении (четном или нечетном) по  $i$ -му участку  $j$ -й железной дороги со средними временными интервалами между поездами

$$\Delta \bar{T}_{j,i} = 24 / N_{j,i}, \text{ ч}, \quad (1)$$

и средними пространственными интервалами между поездами:

$$\Delta \bar{X}_{j,i} = V_{j,i} \times \Delta \bar{T}_{j,i}, \text{ км}; \quad (2)$$

где  $V_{j,i}$  — участковые скорости поездов на  $i$ -м участке  $j$ -й железной дороги, км/ч.

На организованное движение поездов в каждом направлении по  $i$ -му участку  $j$ -й железной дороги в соответствии с графиком движения влияет ряд случайных факторов.

Для характеристики ЧС природного и техногенного характера введем следующие обозначения:

$C_{j,i,m}$  — событие, представляющее собой ЧС  $m$ -го вида, природного или техногенного характера, произошедшее в географическом районе России, на территории которого находится  $i$ -й участок  $j$ -й железной дороги;

$D_{j,i,m}$  — событие, последовавшее после воздействия ЧС природного или техногенного характера (событие  $C_{m,j,i}$ ) на социо-техническую систему железнодорожного транспорта и приведшее к аварийному транспортному происшествию (сходу или столкновению поезда с определенными последствиями) [6];

$N_{j,i,m}$  — среднее годовое число природных или техногенных ЧС  $m$ -го вида, происходящих в географическом районе России, на территории которого находится  $i$ -й участок  $j$ -й железной дороги ( $m = 1, 2, \dots, M$ ), 1/год;

$L_{j,i,m}$  — характерный пространственный масштаб природных или техногенных ЧС  $m$ -го вида, происходящих в географическом районе России, на территории которого находится  $i$ -й участок  $j$ -й железной дороги ( $m = 1, 2, \dots, M$ ), км;

$T_{j,i,m}$  — характерное время действия природных или техногенных ЧС  $m$ -го вида, происходящих в географическом районе России, на территории которого находится  $i$ -й участок  $j$ -й железной дороги ( $m = 1, 2, \dots, M$ ), ч;

Определим вероятность возникновения ЧС  $m$ -го вида, природного или техногенного характера, произошедшего в географическом районе России, на территории которого находится  $i$ -й участок  $j$ -й железной дороги за среднее время нахождения поезда на этом участке:

$$P(C_{j,i,m}) = 1 - \exp\left(-\frac{N_{j,i,m} t_{j,i} L_{j,i}}{365 \cdot 24 L_{j,i,m}}\right), \quad (3)$$

где  $t_{j,i}'' = L_{j,i} / V_{j,i}''$ ,  $L_{j,i}$  — длина  $i$ -й участок  $j$ -й железной дороги, км;

Условную вероятность  $P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m})$  воздействия на социо-техническую систему железнодорожного транспорта события  $C_{j,i,m}$ , характерного пространственного масштаба  $L_{j,i,m}$ , и приведшего к аварийному транспортному происшествию с поездом, оценим из предположения, что поток поездов в пространстве подчиняется нормированному закону Эрланга  $k_x$ -го порядка. Тогда

$$P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = \int_0^{L_{j,i,m}} f_x(x) dx, \quad (4)$$

где  $f_x(x)$  — плотность вероятности нормированного распределения Эрланга порядка  $k_x$ .



$$f_x(x) = \frac{k_x \lambda_x (k_x \lambda_x x)^{k_x - 1}}{(k_x - 1)!} \exp(-k_x \lambda_x x); \quad \lambda_x = \frac{k_x}{\Delta \bar{X}_{j,i}}; \quad (5)$$

$$P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = 1 - \exp(-k_x \lambda_x L_{j,i,m}) \sum_{k=0}^{k_x - 1} \frac{(k_x \lambda_x L_{j,i,m})^k}{k!}. \quad (6)$$

Условную вероятность  $P'(T_{j,i,m} | C_{j,i,m})$  воздействия на социо-техническую систему железнодорожного транспорта события  $C_{j,i,m}$ , характерного временного масштаба  $T_{j,i,m}$ , и приведшего к аварийному транспортному происшествию с поездом, оценим из предположения, что поток поездов во времени подчиняется нормированному закону Эрланга  $k_t$ -го порядка. Тогда

$$P'(T_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = \int_0^{T_{j,i,m}} f_t(t) dt, \quad (7)$$

где  $f_t(t)$  — плотность вероятности нормированного распределения Эрланга порядка  $k_t$ :

$$f_t(t) = \frac{k_t \lambda_t (k_t \lambda_t t)^{k_t - 1}}{(k_t - 1)!} \exp(-k_t \lambda_t t); \quad \lambda_t = \frac{k_t}{\Delta \bar{T}_{j,i}}; \quad (8)$$

$$P'(T_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = 1 - \exp(-k_t \lambda_t T_{j,i,m}) \sum_{k=0}^{k_t - 1} \frac{(k_t \lambda_t T_{j,i,m})^k}{k!}. \quad (9)$$

Очевидно, что при  $k_x \rightarrow \infty$ ,  $k_t \rightarrow \infty$  формулы (4)–(6) и (7)–(9) описывают регулярный поток проездов, движущихся в четном направлении по  $i$ -му участку  $j$ -й железной дороги с пространственным и временным интервалом  $\Delta \bar{X}_{j,i}$ ,  $\Delta \bar{T}_{j,i}$  соответственно.

#### Литература

- [1] *Стратегические риски России: оценка и прогноз. МЧС России* / под ред. Ю.Л. Воробьева. Москва, Деловой экспресс, 2005, 392 с.
- [2] Воробьев Ю.Л. *Безопасность жизнедеятельности (некоторые аспекты государственной политики)*. МЧС России. Москва, Деловой экспресс, 2005, 376 с.
- [3] Постановление Правительства РФ от 13.09.1996 № 1094 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
- [4] *Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий*. Кн. 5 / под ред. В.А. Котляревского и А.В. Забегаева. Москва, Изд-во АСВ, 2001, 416 с.

## To assess Disaster risk in the Movement of Trains in the Impact of Emergency Situations of Natural Character

© Bolandova Y.K.  
Suhov F.I.  
Popov V.G.

xjuletta@gmail.com  
philipp@sukhov.org  
vpopov\_miit@mail.ru

Moscow state transport University of Emperor Nicholas II, Moscow, 127055, Russia

*The report reveals the problem of the transportation of dangerous goods by rail. In his report, the author makes the statistical analysis of emergency incidents that occurred in the period from 2004 to 2014, leading the main causes of accidents related to the transportation of dangerous goods.*

**Keywords:** dangerous goods, emergency situations, accidents.

УДК 504.75.05

## Выбор адаптационных мероприятий для решения проблемы климатических изменений в городе Москве

© Бурдюков Дмитрий Алексеевич  
Королёв Илья Викторович  
Локтионов Олег Александрович  
Кондратьева Ольга Евгеньевна

BurdiukovDA@mpei.ru  
KorolevIV@mpei.ru  
LoktionovOA@yandex.ru  
KondratyevaOYe@mpei.ru

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, 111250, Россия

*В настоящее время проблема климатических изменений тесно связана с такой немаловажной составляющей жизни людей, как здоровье. На текущий момент не обозначено конкретное влияние метеорологических факторов на организм человека, поэтому в данной работе были определены коэффициенты приоритета для различных климатических факторов и предложены адаптационные мероприятия по снижению влияния указанных факторов на здоровье населения города Москвы.*

**Ключевые слова:** промышленная экология, адаптационные мероприятия, климатические изменения.

Текущий характер разбалансировки климатической системы в г. Москве оказывает серьезное влияние на организм человека за счет воздействия на все его системы. Причем влияет не один какой-либо изолированный фактор, а их совокупность, и основное действие оказывают не обычные колебания климатических условий, а главным образом их внезапные изменения. [1]

Поэтому для разработки адаптационной стратегии города прежде всего необходимо провести оценку степени влияния каждого неблагоприятного метеорологического фактора для выявления тех, которые вносят наибольший негативный вклад.

Для определения приоритетности влияния климатических факторов на здоровье населения Москвы были взяты данные Мосгорстата по смертности населения г. Москвы [2] и статистические данные метеостанций (ТСХА, ВДНХ), а также был использован метод анализа иерархий, нашедший широкое применение для решения задач многокритериального анализа.

Исходя из полученных значений нормализованного вектора приоритетов, для указанных климатических факторов сформированы три группы важности.

1. «Красная» — увеличение количества дней с экстремально высокими и низкими температурами.
2. «Оранжевая» — опасные и неблагоприятные метеорологические явления; резкие перепады температуры; повышенный уровень загрязнения воздуха.
3. «Желтая» — повышение среднегодовой температуры.

Для каждой из приведенных групп необходимо разработать комплекс мер, направленных на предотвращение роста смертности населения в аномальных климатических условиях, связанных с повышением или понижением температуры воздуха, обозначенных в [3], в свою очередь включающих в себя мероприятия медицинского и немедицинского характера.

К мероприятиям немедицинского характера отнесены:

- развитие экологически чистых видов транспортных средств для снижения загрязнения воздуха выхлопными газами автомобилей;
- программа дополнительного озеленения городов;
- организация проведения очистительных работ для приведения существующих водоемов в соответствии с санитарными нормами и правилами с целью использования водоемов для отдыха и купания в жаркое время года.

Первые два адаптационных мероприятия из этого перечня следует рассматривать, как основные для снижения влияния фактора «Повышенный уровень загрязнения воздуха».

Для мероприятий медицинского характера выделяются четыре направления:

- профилактические мероприятия, направленные на предотвращение воздействия факторов риска и развития заболеваний;
- лечебно-диагностические мероприятия, направленные на организацию лечения, распределения потоков больных и пострадавших;
- мероприятия по надзору в сфере здравоохранения и социального развития, включающие организацию деятельности органов и организаций подведомственных Роспотребнадзору;
- мероприятия по информационному обеспечению населения.

Большинство мероприятий медицинского характера можно считать эффективными адаптационными мероприятиями для климатических факторов из «красной» и «оранжевой» группы: увеличение количества дней с экстремальными температурами и резкие перепады температур.

Таким образом, для выбора оптимального набора адаптационных мероприятий медицинского и немедицинского характера необходимо провести расчет затрат на реализацию этих мероприятий и выбрать тот комплекс, стоимость которого при условии достижения необходимой эффективности не превысит сумму экономического ущерба от влияния изменяющихся климатических факторов.

## Литература

- [1] Ревич Б.А. Изменение здоровья населения России в условиях меняющегося климата. *Проблемы прогнозирования*, 2008, № 3, с. 140–150.
- [2] Единое хранилище данных. Мосгорстат, Ежегодный статистический сборник. *Территория и население*. [Электрон. ресурс] <http://ehd.moscow> (дата обращения: 20.05.2017).
- [3] Письмо Министерства здравоохранения и социального развития РФ «О комплексе мер, направленных на предотвращение роста смертности населения в аномальных климатических условиях, связанных с повышением или понижением температуры воздуха» от 4 апреля 2011 г. № 14-2/10/2-3230.

## The Choice of Adaptation Measures to Address the Problem of Climate Change in the Moscow

© Burdyukov D.A.	BurdiukovDA@mpei.ru
Korolev I.V.	KorolevIV@mpei.ru
Loktionov O.A.	LoktionovOA@yandex.ru
Kondratyeva O.E.	KondratyevaOYe@mpei.ru

National Research University «MPEI», Moscow, 111250, Russia

*Currently, the problem of climate change is closely connected with important component of people's lives as health. At the moment, there is no specific impact of meteorological factors on the human body, therefore, in this paper, the priority factors for various climatic factors were determined and adaptation measures were proposed to reduce the influence of these factors on the health of the population of Moscow.*

**Keywords:** industrial ecology, adaptation measures, climate changes.

УДК 628.32

## Изучение кинетики кондиционирования сточных вод на лабораторной установке

© Бурков Алексей Викторович	a.burkov@hotmail.com
Виноградов Максим Сергеевич	izum_89@inbox.ru
Ершов Александр Леонидович	sanders-07-94@yandex.ru
Ксенофонтов Борис Семенович	

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Проведено исследование кинетики кондиционирования сточных вод в лабораторных условиях. Предложена упрощенная модель кондиционирования сточных вод. На разработанной лабораторной установке были получены данные, необходимые для расчета констант перехода в многостадийной модели. Выполнено сравнение теорети-*

ческих и экспериментальных данных, которые совпали в рамках погрешностей, что позволило сделать вывод о возможности использования предложенной модели для практических расчетов.

**Ключевые слова:** кондиционирование сточных вод, аэрофлокула, водоочистка, кинетика флотации, многостадийная модель.

Кондиционирование сточных вод является подготовительным этапом перед основным процессом очистки (флотация, отстаивание и т. д.).

Ранее [1] была представлена многостадийная модель кондиционирования сточных вод, центральное место в которой занимает аэрофлокула. Она представляет собой сложный комплекс, где центром являются маленькие воздушные пузырьки с прикрепленными к ним гидрофобными и гидрофильными частицами. Для образования аэрофлокул необходимо одновременное выполнение двух условий: эффективное перемешивание реагентов с очищаемой водой, засасывание и диспергирование воздуха [1].

Однако для сравнения расчетных и экспериментальных данных модель образования аэрофлокулы претерпела изменения, так как стадия образования комплекса «реагент — загрязнение» протекает очень быстро и невозможно зафиксировать [1].

Процесс, показанный на рис. 1, описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A; \\ \frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_B; \\ \frac{dC_C}{dt} = k_2 C_B - k_3 C_D \\ \frac{dC_D}{dt} = k_3 C_D. \end{cases} \quad (1)$$

где  $C_A$  — исходная концентрация частиц загрязнений, реагента и воздушных пузырьков,  $C_B$  — концентрация аэрофлокул,  $C_C$  — концентрация частиц в пенном слое,  $C_D$  — концентрация частиц в осадке. Константы  $k_1, k_2, k_3$  характеризуют переходы из одного состояния в другое.

Начальные условия для данной системы дифференциальных уравнений следующие: при  $t = 0$  —  $C_A = C_0; C_B = C_C = C_D = 0$ .

Константы перехода рассчитывают по следующим формулам [2]:

$$k_1 = \frac{1,5qE}{k_0 \bar{D}}; k_2 = \frac{v_{\text{под}}}{h}; k_3 = \frac{v_{\text{ос}}}{h}, \quad (2),$$

где  $q$  — скорость барботирования,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $E$  — эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком газа при флотации, принимают  $E = 0,05$ ;  $\bar{D}$  — средний диаметр пузырьков во флотационной ячейке, м;  $k_0$  — фактор полидисперсности пузырьков,  $k_0 = 1$ ;  $v_{\text{под}}$  — скорость подъема флотокомплекса, м/с;  $h$  — расстояние от зоны аэрации до пенного слоя, м;  $v_{\text{ос}}$  — скорость осаждения, м/с.

Начальную концентрацию загрязнений в сточной воде измеряли с помощью турбидиметра, она составила  $C_0 = 326 \text{ NTU}$ .

Для проведения экспериментальных исследований по изучению кинетики очистки стока была создана установка кондиционирования сточных вод [3]. Ранее было выявлено, что оптимальная частота вращения мешалки, при которой происходит образование аэрофлокул, равна 1800 об/мин. При таком режиме средний диаметр пузырька равен  $\bar{D} = 40$  мкм, а скорость барботирования  $q = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

При подобранных режимах кондиционирования был проведен ряд экспериментов по получению данных о скорости всплытия аэрофлокул и скорости осаждения комплексов. Нахождение скоростей осуществляли следующим образом. Проводили видеорегистрацию очистки стока в кондиционирующей установке, затем с помощью секундомера определяли время прохождения частицей или аэрофлокулой определенного расстояния. На основе этих данных находили скорости осаждения частиц или скорости всплытия аэрофлокул.

Таким образом, экспериментально были получены необходимые данные для решения приведенной выше системы дифференциальных уравнений:  $C_0 = 326 \text{ NTU}$ ;  $E = 0,05$ ;  $k_0 = 1$ ;  $D = 40$  мкм;  $q = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $v_{\text{под}} = 0,0045 \text{ мм/с}$ ;  $v_{\text{ос}} = 0,00045 \text{ мм/с}$ ;  $h = 140 \text{ мм}$ .

На основании полученных данных по формулам (2) определяли константы перехода из одного состояния в другое:  $k_1 = 0,0096 \text{ с}^{-1}$ ;  $k_2 = 0,0045 \text{ с}^{-1}$ ;  $k_3 = 0,00045 \text{ с}^{-1}$ .

Графическое решение системы дифференциальных уравнений представлено на рис. 1.

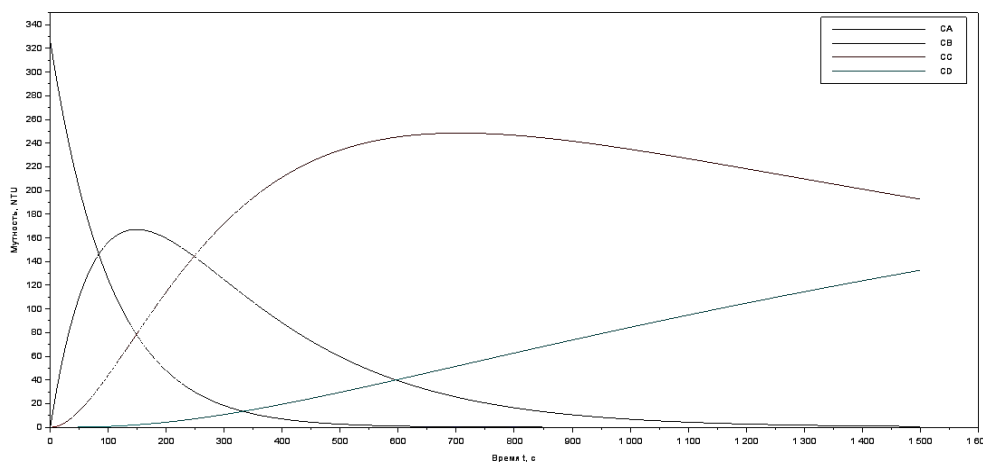
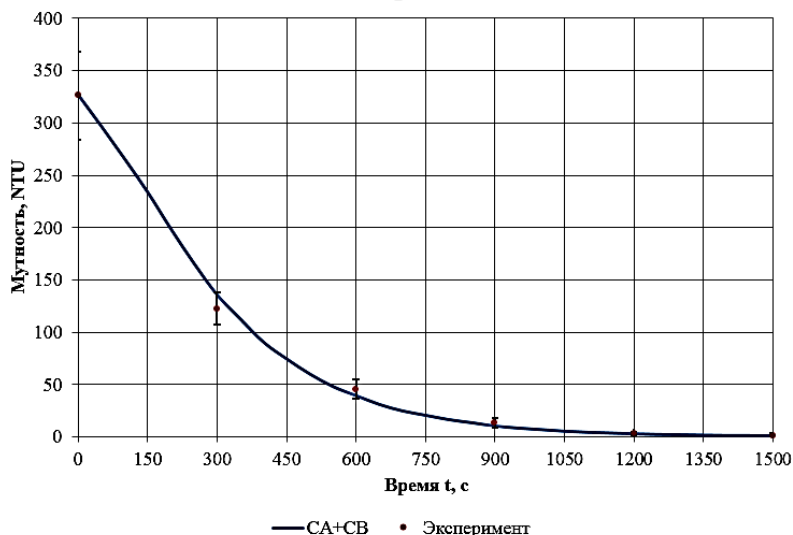


Рис. 1. Графическое решение системы дифференциальных уравнений

Далее экспериментально проверяли полученные результаты. Для этого на лабораторной установке проводили кондиционирование сточной воды лакокрасочного производства с учетом подобранных ранее режимов очистки. При этом из кондиционирующей камеры периодически (каждые 5 мин) отбирали пробы очищаемого стока и пены, далее производили измерения содержания взвешенных веществ. Эксперимент повторяли не менее 5 раз. Затем полученные экспериментальные значения сравнивали с суммарной кривой  $C_A + C_B$  из рис. 1, характеризующую содержание в очищаемой воде исходных загрязнений и аэрофлокул. Сравнение теоретических и экспериментальных данных представлено на рис. 2.



**Рис. 2.** Сравнение экспериментальных и теоретических данных по кинетике очистки стока в кондиционирующих камерах

Из рис. 2 следует, что теоретическая кривая и полученные экспериментальные значения совпадают в рамках погрешностей. Значит, можно сделать вывод о возможности использования предложенных моделей для практических расчетов.

### Литература

- [1] Ксенофонтов Б.С., Виноградов М.С., Антонова Е.С. Интенсификация флотационной очистки сточных вод путем их кондиционирования. *Водоочистка*, 2015, № 1, с. 12–18.
- [2] Ксенофонтов Б.С. *Флотационная обработка воды, отходов и почвы*. Москва, Новые технологии, 2010, 272 с.
- [3] Ксенофонтов Б.С., Виноградов М.С., Бурков А.В., Ершов А.Л. Исследование процесса кондиционирования сточных вод на лабораторной установке. *Естественные и технические науки*, 2017, № 4 (106), с. 184–187.

## The study of Kinetics of the Conditioning of Wastewater in a laboratory Setting

© Burkov A.V.  
Vinogradov M.S.  
Ershov A.L.  
Ksenofontov B.S.

a.burkov@hotmail.com  
izum\_89@inbox.ru  
sanders-07-94@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*In this work the study of the kinetics of conditioning wastewater in the laboratory are considered. Simplified model of conditioning wastewater is offered. On the developed laboratory setup, the data were obtained necessary to calculate constants of transition in a multi-*

*stage model. Comparison of theoretical and experimental data was performed coincide within the errors, which allowed to conclude about the possibility of using the proposed model for practical calculations.*

**Keywords:** *conditioning of wastewater, aeroflokula, water treatment, kinetics of flotation, multi-stage model.*

УДК 504.05

## **Некоторые тенденции загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами в Москве**

© | Бушуев Николай Николаевич

agrohim1@rambler.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Приоритетными загрязнителями почв в Москве являются цинк, свинец, медь, кадмий. Наиболее сильное загрязнение тяжелыми металлами отмечено в промышленных зонах. Перечислены мероприятия по снижению негативных последствий для окружающей среды. Отмечено повышение содержания подвижного цинка в почве.*

**Ключевые слова:** *тяжелые металлы, окружающая среда, приоритетные загрязнители, загрязнение биосферы, подвижные формы цинка, г. Москва.*

К наиболее опасным загрязнителям окружающей среды относятся тяжелые металлы (ТМ). Во многих городах России концентрация ТМ в почвах превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) в несколько раз, а в районах, находящихся в непосредственной близости от крупных источников загрязнения, превышение ПДК может быть еще выше [1]. Тяжелые металлы, поступая в окружающую среду, распространяются в атмосфере, почве, растениях, водной среде, попадают в пищевые цепи, накапливаются в живых организмах, в том числе и в организме человека.

В Москве городским Департаментом природопользования и охраны окружающей среды ежегодно проводится определение содержания в почве валовых и подвижных форм меди, цинка, никеля, кадмия, свинца и ртути. Результаты обследования показали [2], что валовые содержания ТМ в среднем не превышают установленных нормативов. Однако в почве отдельных пунктов постоянного мониторинга отмечены превышения ПДК по содержанию тяжелых металлов. Установлено, что приоритетным загрязнителем городских почв является цинк.

Наиболее опасными для окружающей среды считаются подвижные формы ТМ. Обследование почвенного покрова в 2012 г. [2] выявило высокие содержания подвижного цинка в городских почвах. Даже его средняя по городу концентрация превышает ПДК в 1,32 раза. Также отмечено общее повышение уровня содержания подвижных форм ТМ в почвах. Зафиксировано резкое возрастание количества проб с превышениями ПДК по содержанию подвижного свинца.

Изучение распределения подвижных форм ТМ в почвах показало, что среднее содержание подвижного цинка в почвах повсеместно превышает норматив, за ис-



ключением природных, национальных и дендропарков, наибольшие его концентрации выявлены на территориях с разноэтажной застройкой. Среднее содержание подвижных форм меди высоко в почвах скверов, бульваров и озелененных территорий (норматив превышен в 2,2 раза), на остальных типах территорий концентрация металла невелика и не превышает ПДК. Наибольшие количества подвижного свинца выявлены в почвах скверов, бульваров и озелененных территорий (1,3 ПДК) и на территориях с разноэтажной застройкой (1,04 ПДК). Это позволяет предположить, что основным источником поступления свинца в почвы города Москвы является автотранспорт.

Оценка состояния почвенного покрова показала, что очаги сильного загрязнения почв выявлены в районе промышленных зон [2]. Валовое содержание ТМ характеризует общий уровень загрязненности почвы, при этом приоритетными загрязнителями почв города Москвы являются цинк, свинец, медь, кадмий.

Обследование 2015 г. показало [3], что валовые содержания ТМ в почвах тяжелого гранулометрического состава в среднем не превышают установленных нормативов. Так, в почвах г. Москвы заметно снизились концентрации свинца (в 1,5 раза) и цинка (в 1,4 раза). В почвах легкого гранулометрического состава выявлены превышения ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) по валовому содержанию цинка в 2,3 раза, кадмия — в 1,6 раза, уровень загрязнения почв ТМ в целом остается стабильным, но отмечено небольшое возрастание концентраций валового кадмия (на 10...17 %).

Почвы г. Москвы характеризуются присутствием повышенных концентраций подвижного цинка (1,4 ПДК) и свинца (1,1 ПДК). Норматив по содержанию подвижного цинка превышен в 35,9% проб, свинца — в 27,3 % проб. Наиболее высоки средние концентрации подвижных форм цинка (свыше 2 ПДК), свинца (до 2,9 ПДК) и меди (до 1,6 ПДК) в почвах центра и юго-востока города. Изучение распределения подвижных форм ТМ в почвах различных функциональных зон показало, что в почвах общественных функциональных зон средняя концентрация подвижного цинка превышает норматив в 2,1 раза, меди — в 1,8 раза, в почвах жилых функциональных зон ПДК превышена лишь по содержанию подвижного цинка — в 1,4 раза. На заповедных, природных и озелененных территориях, в производственных функциональных зонах уровень загрязнения почв подвижными формами ТМ сопоставим с утвержденными нормативами. Среднее содержание подвижных форм меди, никеля, хрома и кобальта в почвах всех функциональных зон в целом невелико и не превышает ПДК. Сравнение результатов мониторинга за период 2011–2015 годов показало, что среднее содержание подвижных форм ТМ в почвах города Москвы в целом стабильно, отмечена общая тенденция к постепенному возрастанию подвижности цинка в почве (в 1,2 раза).

Для того чтобы избежать негативных экологических последствий загрязнения ТМ окружающей среды, необходимо выполнять ряд мероприятий [4]. В первую очередь нужно совершенствовать технологию производства, строить очистные сооружения для предотвращения попадания этих токсикантов в биосферу. Следует также перерабатывать отходы производства, так как содержащиеся в отходах ТМ являются ценным сырьем.

Таким образом, приоритетными загрязнителями почв Москвы являются цинк, свинец, медь, кадмий. При этом отмечается увеличение содержания подвижного цинка.

## Литература

- [1] Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году» [http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/a6e/dokl\\_2015.pdf](http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/a6e/dokl_2015.pdf) (дата обращения 24.06.2017).
- [2] Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2012 году [http://www.dpioos.ru/eco/ru/report\\_result/o\\_11371](http://www.dpioos.ru/eco/ru/report_result/o_11371) (дата обращения 24.06.2017).
- [3] Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2015 году. [http://www.dpioos.ru/eco/ru/report\\_result/o\\_442335](http://www.dpioos.ru/eco/ru/report_result/o_442335) (дата обращения 24.06.2017).
- [4] Бушуев Н.Н. Анализ влияния тяжелых металлов и диоксинов на окружающую среду в работе со студентами в техническом университете. *Формирование профессиональной культуры специалистов XXI века в техническом университете: сб. науч. трудов 15-й Всерос. науч.-практич. конф.* СПб., изд-во Политехн. ун-та, 2015, с. 40–45.

## The Some Trends of Environment Pollution by Heavy Metals in Moscow

© | Bushuev N.N.

agrohim1@rambler.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Priority pollutants in the Moscow soil are zinc, lead, copper and cadmium. The most powerful heavy metal contamination is observed in industrial zones. The actions to reduce negative environmental effects are list. The increase of mobile zinc in the soil is marked.*

**Keywords:** *heavy metals, environment, priority pollutants, pollution of the biosphere, mobile forms of zinc, Moscow.*

УДК 504.054

## Оценка экологических рисков при добыче углеводородов в Арктической зоне РФ

© | Быковская Елена Александровна

brownies@mail.ru

Кустикова Марина Александровна

marinakustikova@mail.ru

Саусярис Эдгарас Стасевич

sev\_51@mail.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, 197101, Россия

*Исследованы экологические риски в Арктической зоне Российской Федерации: их возникновение, возможные угрозы для данного региона и других зон, последствия и способы решения возникших проблем. В ходе работы проанализировано конкретное месторождение, где в данный момент происходит добыча углеводородов: описаны все возможные экологические риски, вероятность их возникновения и возможные последствия.*

**Ключевые слова:** *экологические риски, экологическая безопасность, Арктическая зона, добыча углеводородов.*

Одним из направлений нормализации окружающей среды является анализ экологических рисков и создание системы управления ими. При этом возникает необходимость, с одной стороны, количественной оценки вероятности возникновения процессов и явлений, снижающих качество окружающей среды, а с другой стороны, количественной оценки возможных ущербов от их проявления.

В основе оценки таких последствий лежит методология оценки рисков, которая интенсивно разрабатывается применительно к различным сферам человеческой деятельности: политической, финансовой, экономической, технической, экологической и др.

В последние годы актуальной проблемой стал анализ и прогноз негативных изменений (зачастую катастрофических) качества окружающей среды в результате добычи углеводородов. Поэтому определение экологических рисков при добыче углеводородов в Арктической зоне Российской Федерации является *актуальной* проблемой современности.

*Целью* исследования является выявление и оценка экологических рисков при добыче углеводородов в Арктической зоне Российской Федерации.

В *задачи* следования входит:

- рассмотрение понятия «экологические риски»;
- изучение методов оценки экологических рисков;
- анализ особенности Арктической зоны РФ;
- выявление и оценка экологических рисков при добыче углеводородов в Арктической зоне РФ;
- рассмотрение законодательства РФ и правовых документов, связанных с регулированием деятельности в Арктической зоне;
- анализ мирового опыта и международного регулирования деятельности человека в Арктике;
- анализ российского природоохранного законодательства с точки зрения его эффективности для защиты Арктической зоны;
- выявление и оценка экологических рисков при проведении реконструкции Медвежьего нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО).

Анализ возможных экологических рисков проводился на примере Медвежьего нефтегазоконденсатного месторождения в ЯНАО. Это месторождение располагается на севере Западно-Сибирской нефтегазосной провинции, в Надымском районе.

*Краткая характеристика полученных результатов.* Исследовано понятие экологический риск, которое означает вероятность получения определенного ущерба в результате проявления фактора экологической опасности или их совокупности по отношению к конкретному объекту оценки. Экологический риск оценивается с помощью математического расчета вероятности наступления неблагоприятных событий, вероятного ущерба и вреда окружающей среде. Сложные природно-климатические факторы, удаленность от промышленных центров усугубляет положение Арктики в случае утечки углеводородов, что повлияет не только на ухудшение среды данной зоны, но и на весь мир в целом. Нормативно-правовая база — документы, определяющие в настоящий период развитие Арктической зоны, и регламентирующие осуществление в данном регионе различных видов деятельности, также как и существующий проект закона, не в полной мере отражают сущность идеи устойчивого развития: экологические аспекты устойчивого развития оказываются незакрепленными в нормативных правовых актах, теряются за многочисленными уточнениями понимания данного термина, дополнительными характеристиками экономической направленности.

На основании исследования НГКМ Медвежье было выявлено, что сложные природно-климатические условия арктической зоны РФ, в частности ЯНАО, в котором располагается это месторождение, требуют значительных усилий для поддержания легкоразрушимой экологической системы. В рекомендациях проектных документов специалисты обязаны прописывать четкие критерии для контроля качества объектов реконструкции. Разработанные в данном исследовании рекомендации должны минимизировать возможность экологических рисков при реконструкции, либо при условии его возникновения снизить их отрицательное воздействие. В проекте реконструкции НГКМ Медвежье выявлены самые вероятные экологические риски (при проведении строительно-монтажных работ), поэтому именно эта стадия требует повышенного внимания специалистов в области охраны окружающей среды, инженерии и права.

### Литература

- [1] Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Будагова Т.А. Экологическая безопасность и рациональное природопользование в Арктике и Мировом океане. *Бурение и нефть*, 2013, no. 12, pp. 10–16.
- [2] Тихомиров Н.П. *Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками*. Москва, ЮНИТИ-ДАНА, 2013, 350 с.
- [3] Шмаль А.Г. *Национальная система экологической безопасности (методология создания)*. Бронницы, МУП ИКЦ «БНТВ», 2014, 200 с.

## Assessment of Environmental Risks in Hydrocarbon Production in the Arctic Zone of the Russian Federation

© | Bykovskaia E.A.  
Kustikova M.A.  
Sausiaris E.S.

brownies@mail.ru  
marinakustikova@mail.ru  
sev\_51@mail.ru

University ITMO, Saint Peterburg, 197191, Russia

*In this article investigates environmental risks in the Arctic zone of the Russian Federation: their occurrence, possible threats to the region and other areas, the consequences and ways to solve the problems that have arisen. In the course of the work, a specific field was analyzed, where hydrocarbons are currently produced: all possible environmental risks, the likelihood of their occurrence and possible consequences are described.*

**Keywords:** *ecological risks, ecological safety, Arctic zone, hydrocarbon production.*

УДК 614.8.084

## Исследование эффективности восприятия и запоминания информации о работе химического реактора в различных информационных средах

© | Варнавский Александр Николаевич

varnavsky\_alex@rambler.ru

Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань, 390005, Россия

*Рассмотрена задача восприятия и запоминания информации о работе химического реактора в разных информационных средах: системе виртуальной реальности и персонального компьютера, представленной в виде видеоролика. Проведено экспериментальное исследование, заключающееся в оценке психофизиологических показателей и просмотре испытуемыми работы химического реактора в данных средах и последующем воспроизведении поведения реактора в контрольные моменты времени. В результате регрессионного анализа построены модели, позволяющие оценить предпочтения и эффективность просмотра видеоролика о работе химического реактора в среде виртуальной реальности и на персональном компьютере с учетом психофизиологических показателей испытуемых.*

**Ключевые слова:** химический реактор, промышленная безопасность, информационная среда, виртуальная реальность, видеоролик, индивидуальные психофизиологические характеристики, психофизиологическое тестирование, восприятие, запоминание, предпочтения.

Для обучения промышленной безопасности можно использовать различные информационные среды, в частности виртуальную реальность (VR) и традиционную среду персонального компьютера (ПК).

Некоторые работы, например [1–4], посвящены использованию виртуальной реальности для обучения. В данных работах отмечается, что VR, прежде всего, удобна тем, что позволяет визуализировать работу любого объекта сложной конфигурации, создает эффект присутствия этого объекта, можно воссоздать любую ситуацию.

В других работах отмечается, что любая информационная среда является фактором риска для пользователя [5]. В результате чего возможно негативное изменение функционального состояния головного мозга и психики пользователя при работе с этой средой. Поэтому актуальной является задача оценки того, насколько та или иная информационная среда, в частности VR, подходит для изучения того или иного материала, например, в области производственной безопасности.

Во многих случаях не менее эффективным является обучение с использованием интерактивных видеороликов, поэтому можно поставить задачу выбора просмотра технологического видеоролика на тему промышленной безопасности между VR и ПК в зависимости от текущего состояния пользователя и его психофизиологических характеристик.

Целью работы является исследование эффективности восприятия и запоминания технологической информации о работе химического реактора в разных информационных средах (виртуальной реальности и на персональном компьютере) с учетом психофизиологических характеристик пользователей.

Исследование носило экспериментальный характер, а модель была построена в результате регрессионного анализа. Эксперимент заключался в просмотре испытуемыми видеороликов, на которых показана настройка, процесс работы и завершение работы химического реактора, в очках ВР и на ПК. Испытуемому необходимо было запомнить команды и показания индикаторов в процессе работы реактора в контрольные моменты времени. После просмотра каждого видеоролика испытуемый записывал запомнившиеся команды и показания индикаторов, а затем заполнял анкету на предмет того, какая форма представления информации (просмотр на компьютере или в очках виртуальной реальности), по его мнению, лучше и где он комфортнее запоминает информацию (показатель *Pref*). По результатам испытаний определяли: *Ncom1* — процент верно воспроизведенных команд после просмотра видеоролика на ПК; *Nind1* — процент верно воспроизведенных показателей индикаторов в контрольные моменты времени после просмотра видеоролика на ПК; *Ncom2* — процент верно воспроизведенных команд после просмотра видеоролика в среде ВР; *Nind2* — процент верно воспроизведенных показателей индикаторов в контрольные моменты времени после просмотра видеоролика в среде ВР.

Перед началом эксперимента проводили психофизиологическое тестирование, по результатам которого оценивали показатели: оперативной памяти (*mem*), скорости внимания (*att*), уровня логического мышления (*iq*), преобладания визуального канала восприятия информации (*vis*) и отношения значения преобладания визуального канала восприятия информации к значению преобладания аудиального канала восприятия информации (*va*).

Определяли корреляции между выделенными психофизиологическими показателями пользователей и показателями результатов просмотра видеороликов в разных средах (см. таблицу). Из таблицы следует, что эффективность просмотра видеоролика в среде ВР, в первую очередь, определяется показателями памяти и уровня логического мышления. Эффективность просмотра видеоролика на ПК определяется, в первую очередь, скоростью внимания (хотя корреляция здесь и отрицательная) и коэффициентом *va*.

**Коэффициенты корреляций между выделенными показателями**

	<i>Ncom1</i>	<i>Nind1</i>	<i>Ncom2</i>	<i>Nind2</i>	<i>Pref</i>
<i>mem</i>	0,155	-0,049	0,354	0,503	-0,342
<i>att</i>	-0,319	-0,543	-0,371	-0,139	0,110
<i>iq</i>	-0,143	-0,012	0,419	0,218	0,021
<i>vis</i>	0,14	0,225	0,163	-0,134	-0,023
<i>va</i>	0,415	0,487	0,188	-0,153	-0,152

Построена логистическая регрессия вида

$$Pref(iq, mem, att, va) = \frac{e^{a_0 + a_1iq + a_2mem + a_3att + a_4va}}{1 + e^{a_0 + a_1iq + a_2mem + a_3att + a_4va}},$$

которая позволяет, исходя из значений *iq*, *mem*, *att*, *va* и порогового уровня 0,53 верно классифицировать предпочтения 90 % испытуемых в выборе средства представления информации (просмотр на ПК или в очках ВР).

Значимость работы заключается в дифференцированном и персонализированном подборе оптимального средства обучения и информационной среды подачи информации о промышленной безопасности с учетом психофизиологических показателей обучаемых.

#### Литература

- [1] Селиванов В.В., Селиванова Л.Н. Эффективность использования виртуальной реальности при обучении в юношеском и взрослом возрасте. *Непрерывное образование: XXI век*, 2015, № 1 (9), с. 133–152.
- [2] Селиванов В.В., Селиванова Л.Н. Виртуальная реальность как метод и средство обучения. *Образовательные технологии и общество*, 2014, № 3, с. 378–391.
- [3] Третьякова Т. П. Аспекты применения технологии «Виртуальная реальность» в системе профессионального образования. *Вектор науки ТГУ*, 2010, № 2, с. 205–208.
- [4] Ватулин Я.С., Полякова Л.Ф., Афанасенко А.С., Коровина М.С. Виртуальная реальность в технологиях дистанционного обучения. *Известия Петербургского университета путей сообщения*, 2010, № 4, с. 301–309.
- [5] Ежевская Т.И. Психологическое воздействие информационной среды на современного человека. *Психологические аспекты напряженности и конфликтологии*, 2009.

## Research of Performance Effectiveness and Memorization of Chemical Reactor Information in Various it Environments

© | VarnavskyA.N.

varnavsky\_alex@rambler.ru

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, 390005, Russia

*The problem of perception and storage of information on the operation of a chemical reactor in different information environments is considered: the virtual reality system and the environment of a personal computer presented in the form of a video clip. An experimental study was carried out, consisting in examining the work of a chemical reactor in these media and then reproducing the behavior of the reactor at control times. Before viewing, subjects underwent psychophysiological testing to assess memory, attention, logical thinking and the predominant channel of information perception. As a result of the regression analysis, models are constructed that allow estimating the preferences and efficiency of watching a video about the operation of a chemical reactor in a virtual reality environment and on a personal computer, taking into account the psychophysiological characteristics of the subjects.*

**Keywords:** *chemical reactor, industrial safety, information environment, virtual reality, video, individual psychophysiological characteristics, psychophysiological testing, perception, memorization, preferences.*

УДК 629.735

## Особенности детоксикации комплексно-загрязненных грунтов после авиационного происшествия

© Волков Сергей Сергеевич  
Николайкин Николай Иванович

Volkovss94@gmail.com

Московский государственный технический университет гражданской авиации,  
Москва, 125993, Россия

*Предложено рассматривать авиационные события как источник аварийно-залпового воздействия на окружающую среду. Приведена классификация видов возникающих загрязнений, анализ проблем при разливе горюче-смазочных материалов на месте падения воздушного судна. Предложена система мер по снижению негативного экологического воздействия на почвы затронутой территории путем их детоксикации. Обосновано применение углеродных сорбентов. Рекомендованы зависимости для расчета необходимого количества активных углей. Показана рекомендуемая последовательность проведения работ на загрязненной территории.*

**Ключевые слова:** авиационные события, защита окружающей среды, экологическая безопасность.

Транспортная система России имеет сложную структуру, она включает несколько подсистем (железнодорожную, автомобильную, морскую и др.). Воздушный транспорт играет значительную роль во всей мировой экономике и социальной инфраструктуре, являясь одним из наиболее технологически развитых и экологически регламентированных видов транспорта сегодня.

По данным Министерства транспорта РФ объемы пассажирооборота гражданской авиации (ГА) значительно опережают в этом показателе другие виды транспорта, а за последние несколько лет пассажирооборот воздушного транспорта не опустился менее 215 млрд пасс.-км в год.

Деятельность транспорта, как и любая хозяйственная деятельность, сопровождается негативным воздействием на окружающую среду.

Безопасность полетов является одним из основных показателей качества услуг, предоставляемых ГА. Возникающие авиационные происшествия должны быть обязательно расследованы для выявления их причин и исключения подобных ситуаций в дальнейшем. Полностью избежать АП невозможно, однако уменьшить число возникающих отклонений необходимо. Такую возможность дает расследование авиационных инцидентов, так как по сравнению с АП, они являются более эффективным направлением повышения безопасности полетов, потому что их количество существенно превышает число АП. Это позволяет применять дополнительные статистические методы исследования [1].

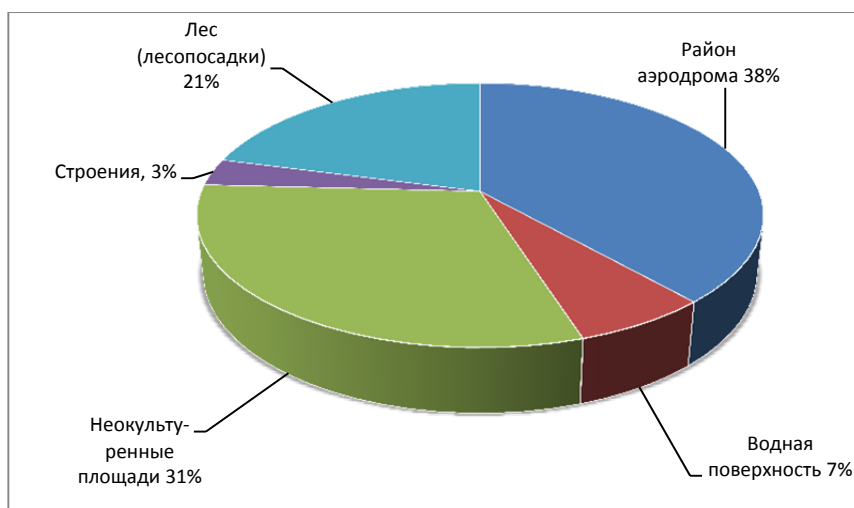
Возникающие в полете особые ситуации могут привести к возникновению катастрофической, где вероятность ее предотвращения ничтожно мала. Авиационное происшествие сопровождается значительными потерями: поврежденное воздушное судно (ВС), гибель людей, но также и ущербом наносимым окружающей среде, кото-



рый принято подразделять на два вида: ущерб непосредственно от самого АП (прямые последствия) и ущерб от событий, сопряженных с авиационным событием (косвенные последствия) [2].

Авиационные происшествия и инциденты с гражданскими ВС РФ расследуются в соответствии с ПРАПИ-98, где, в ходе анализа нормативно-правовых актов, нами были выявлены некоторые недостатки в области охраны окружающей среды, заключающиеся в отсутствии конкретных требований организационно-технических работ о ликвидации и снижения негативных воздействий при АП.

По данным из отчетов расследований Межгосударственного авиационного комитета (МАК), с 2004 г. по 2016 г. проведен анализ (см. рисунок) мест авиационных происшествий (АП), из которого видно, что большинство АП происходили в районе аэродрома, так как именно там совершались самые сложные этапы полета гражданских воздушных судов (ГВС): взлет и посадка [2].



Результаты анализа видов территорий, на которых имели место авиационные происшествия с отечественными ГВС в 2004–2016 годы

В работе рассмотрены химические факторы воздействия, такие как розлив горюче-смазочных материалов (ГСМ) и образующиеся обломки и иные твердые отходы воздушного судна при АП. Горюче-смазочные материалы включают авиационное топливо, авиационное масло и смазки, гидравлические жидкости.

С каждой катастрофой в окружающую среду привносится большое количество вредных веществ. Для полноценной комплексной оценки техногенного воздействия на ОС при АП и его ликвидации необходимо также рассматривать аспекты утилизации ВС и рекультивации местности происшествия.

Авторами [3] предложен метод угледсорбционной детоксикации почв, загрязненных ГСМ, дополненный в настоящей работе рекомендациями по снижению негативного воздействия на ОС, а также разработан процесс обращения с некоторыми другими источниками негативного химического воздействия при авиационном происшествии. Как отмечается в [4], решение возникающих экологических проблем должно быть оперативным, эффективным и при этом достаточно простым.

В ходе анализа нормативно-правовых актов РФ, в частности ПРАПИ-98 [2], были выявлены недостатки в сфере защиты окружающей среды при авиационном происшествии. Предложен проект дополнения к правилам расследования авиационных происшествий с предложением введения в административную подкомиссию дополнительной экологической группы.

### Литература

- [1] Сайт Межгосударственного Авиационного комитета. *Инфографика по происшествиям с 2004–2016 гг.* [Электрон. ресурс] <http://www.mak-iac.org/rassledovaniya/infografika/> (дата обращения 29.05.2016).
- [2] *Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации.* Утв. Постановлением Правительства РФ от 18.06.1998 № 609 (в ред. Постановления Правительства РФ от 19.11.2008 № 854). [Электрон. ресурс]. <http://rostransnadzor-dvfo.ru/> (дата обращения 30.05.2016).
- [3] Николайкин Н.И., Старков Е.Ю., Климов П.И. Метод снижения экологической опасности при авиационных происшествиях. *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*, 2015, № 3, с. 22–34. [Электрон. ресурс] <http://ce.if-mstuca.ru/index.php/2015-3> (дата обращения 30.05.2017).
- [4] Николайкин Н.И., Старков Е.Ю. Уменьшение экологических последствий от воздействия авиационных происшествий. *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*, 2016, № 225, с. 129–136.

## Features of the Detoxication of the Complex Polluted Soil after Aviation Incident

© | Volkov S.S.  
Nikolaikin N.N.

Volkovss94@gmail.com

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, 125993, Russia

*Aviation events as a source of emergency volley impact on the environment have been offered for consideration in the article. The classification of the emerging pollution types and the analysis of the problems that arise when combustive-lubricating materials spill at the place of airplane crash are presented in the article. The system of measures aimed at reducing negative ecological impact on the soil of the affected territories through its detoxification has been offered. Carbon sorbents application has been proved. The dependences for calculating the necessary amount of active coals have been recommended. The proposed sequence of works to be carried out on the polluted territory has been shown.*

**Keywords:** aviation events, environment protection, ecological safety.

УДК 504.4.062.2

## Риски возникновения чрезвычайных ситуаций на прудах-миллионниках

© | Галимова Алсу Ильнуровна  
Муравьева Елена Викторовна

alsugal92@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева — КАИ, Казань, 420111, Россия

*Рассмотрены возможные экологические риски на прудах Республики Татарстан. Для оценки потенциальной опасности на гидротехнических сооружениях выполнен расчет с определением коэффициента потенциальной опасности. Представлены результаты проведенного анализа административных районов Республики Татарстан по степени потенциальной опасности гидротехнических сооружений (прудов-миллионников).*

**Ключевые слова:** экологические риски, гидротехническое сооружение, пруды, коэффициент потенциальной опасности, донные отложения, чрезвычайные ситуации, водные экологические системы.

Гидротехнические сооружения (ГТС) представляют собой объекты, созданные для использования водных ресурсов (рек, озер, морей, грунтовых вод) и для борьбы с разрушительными воздействиями водных стихий. К гидротехническим сооружениям относятся пруды, дамбы, накопители стоков, водохранилища, хвостохранилища, шламохранилища, шламонакопители, гидроотвалы, полигоны, отвалы и другие хранилища производственных отходов.

На сегодняшний день риск возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях (прудах) Республики Татарстан является недостаточно изученной. Вероятные чрезвычайные ситуации на ГТС могут нанести существенный вред окружающей среде. Основным риском их возникновения являются наводнения и прорывы, как наиболее часто повторяющиеся стихийные бедствия.

Немалую опасность представляют донные отложения, содержащиеся в гидротехнических сооружениях. Именно в таких отложениях за долгие сроки копятся вредные вещества, которые поступают в водные экологические системы вместе со сточными водами из различных источников. После массового таяния снега влага смывает с близлежащих территорий все, что накопилось за зиму в водные экосистемы. Таким образом, качественный и количественный состав воды меняется. Донные отложения прудов исследованы значительно хуже, чем водная толща. В России до сих пор нет санитарно-эпидемиологических нормативов для донных отложений водных экосистем, в связи с чем возникает потребность в выявлении степени опасности возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях (прудах), рассмотрения зон затопления и потенциального риска.

Объектами исследования стали одни из наиболее крупных гидротехнических сооружений (пруды-миллионники), расположенные на территории Республики Татарстан, которые могут повлечь огромный ущерб для обширных территорий, близлежащих населенных пунктов и объектов экономики при их прорыве.

Всего на территории Республики Татарстан насчитывается 1225 гидротехнических сооружений, из которых 913 — пруды. По объемам пруды подразделяются: > 500 тыс. м<sup>3</sup>, таких всего в Республике Татарстан насчитывается 412 объектов; от 100 тыс. м<sup>3</sup> до 500 тыс. м<sup>3</sup>, имеется 389 объектов; < 100 тыс. м<sup>3</sup> — 112 объектов. Большая часть прудов расположена в северной части Восточного Закамья — в Камско-Бельской низине [1].

Перечислим наиболее водоемкие пруды и места их расположения:

- Мелиоративный пруд реки Иганя объемом 9,4 млн м<sup>3</sup> находится вблизи деревни Ляки в Сармановском районе.
- Пруд на реке Беденьга объемом 6,73 млн м<sup>3</sup> находится вблизи деревни Татарская Беденьга в Тетюшском районе.
- Пруд реки Казанка объемом 6,07 млн м<sup>3</sup> находится вблизи деревни Кутук в Арском районе.
- Пруд реки Степной Зай объемом 4 млн м<sup>3</sup> находится вблизи села Старая Письмянка в Лениногорском районе.
- Пруд на реке Большая Сулча объемом 3,9 млн м<sup>3</sup> находится вблизи села Ульяновка в Черемшанском районе.
- Пруд Сухая Балка объемом 3,45 млн м<sup>3</sup> находится вблизи деревни Нурвахитово в Буинском районе.
- Пруд на реке Сикия объемом 3,15 млн м<sup>3</sup> находится вблизи деревни Уразметьево в Муслумовском районе [1].

В случае разлива упомянутых выше прудов в зону затопления попадают гражданские строения, пахотные поля, животноводческие фермы, участки автомобильных дорог, в результате чего появляется риск возникновения чрезвычайных ситуаций.

Для оценки потенциальной опасности на гидротехнических сооружениях используют коэффициент потенциальной опасности

$$k_0 = \frac{V_{\text{пр}}}{S_{\text{терр}}}, \quad (1)$$

где  $k_0$  — коэффициент потенциальной опасности;  $V_{\text{пр}}$  — общий объем прудов, имеющих на территории административного района;  $S_{\text{терр}}$  — площадь административного района [2].

Исходя из формулы (1), чем больше объем прудов ( $V_{\text{пр}}$ ), тем больше коэффициент потенциальной опасности ( $k_0$ ) и тем больше волна прорыва и величина возможного причиненного ущерба. Показатели потенциальной опасности по административным районам Республики Татарстан приведены в таблице.

#### Оценка районов Республики Татарстан по степени потенциальной опасности

Административные районы	Площадь района $S_{\text{терр}}$ , км <sup>2</sup>	Объем всех имеющихся прудов в районе $V_{\text{пр}}$ , млн м <sup>3</sup>	Коэффициент потенциальной опасности $k_0$ , тыс. м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>
Агрызский	1796,6	24,464	13,6
Азнакаевский	2143,3	16,283	7,6
Аксубаевский	1440,1	12,578	8,7
Актанышский	2037,8	9,165	4,5
Алексеевский	2080,1	4,690	2,3

Административные районы	Площадь района $S_{\text{терр}}$ , км <sup>2</sup>	Объем всех имеющихся прудов в районе $V_{\text{пр}}$ , млн м <sup>3</sup>	Коэффициент потенциальной опасности $k_0$ , тыс. м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>
Алькеевский	1727	6,341	3,7
Альметьевский	2543	5,416	2,1
Апастовский	1047,5	9,434	9
Арский	1843	15,967	8,7
Атнинский	681,4	2,94	4,3
Бавлинский	1210,4	5,635	4,7
Балтасинский	1094	7,535	6,9
Бугульминский	1408,6	5,923	4,2
Буинский	1543,6	14,792	9,6
Верхнеуслонский	1374	1,97	1,4
Высокогорский	1701	12,362	7,3
Дрожжановский	1030	4,829	4,7
Елабужский	1362	7,99	5,9
Заинский	1861,6	5,551	3
Зеленодольский	1396	5,947	4,3
Кайбицкий	995,4	3,257	3,3
Камско-Устьинский	1199	5,554	4,6
Кукморский	1493,1	15,72	10,5
Лениногорский	1843	15,955	8,7
Мамадышский	2600,7	10,78	4,1
Менделеевский	746,4	1	1,3
Мензелинский	1923	6,396	3,3
Муслюмовский	1464	21,292	14,5
Нижнекамский	1672	2,762	1,7
Новошешминский	1315	3,277	2,5
Нурлатский	2309	9,62	4,2
Пестречинский	1352	12,7	9,4
Рыбно-Слободский	2052,2	11,294	5,5
Сабинский	1097,7	7,891	7,2
Сармановский	1385,2	20,451	14,8
Спасский	2028	7,4	3,6
Тетюшский	1632,15	9,69	5,9
Тукаевский	1744	15,082	8,6
Тюлячинский	1160	1,750	1,5
Черемшанский	1364	11,694	8,6
Чистопольский	1823	4,56	2,5
Ютазинский	759	2,333	3,1

В результате проведенного расчета были определены уровни опасности административных районов в случае разлива гидротехнических сооружений (прудов) на данных территориях. Наибольшую опасность и риск возникновения неблагоприятных ситуаций представляют гидротехнические сооружения, расположенные в Сармановском, Муслюмовском, Кукморском, Агрызском районах. Надо заметить, что данное значение не учитывает потенциальную опасность для близлежащих районов, а только для своей территории административного района.

### Литература

- [1] *Водные объекты Республики Татарстан: Гидрографический справочник.* Казань, Изд-во ПИК «Идель-пресс», 2006, с. 184.
- [2] Рекомендации по расчету характеристик максимального стока с малых водосборов. Москва, 1977, с. 55.
- [3] *Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия, утвержденные Минприроды РФ 30.11.1992.*

## Risks of Emergency Situations on Ponds-One Million

© Galimova A.I. alsugal92@mail.ru  
Muravieva E.V.

Kazan national research technical university named after A.N.Tupolev — KAI,  
Kazan, 420111, Russia

*The article discusses possible environmental risks in the ponds of the Republic of Tatarstan. To assess the potential danger on the waterworks calculated with the definition of the coefficient of the potential danger. Presents the results of the analysis of the administrative districts of the Republic of Tatarstan by the degree of potential danger of hydraulic structures (ponds-one million).*

**Keywords:** *environmental risks of hydraulic structures, ponds, the coefficient of potential hazards, sediment, emergency, water ecological system.*

УДК 614.8

## Обеспечение безопасности топливно-энергетического комплекса

© Галимова Алсу Ильнуровна alsugal92@mail.ru  
Шакуров Рим Фатихович

Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А.Н. Туполева — КАИ, Казань, 420111, Россия

*В настоящее время задача обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса является очень актуальной. Категорирование объектов*

позволяет установить степень потенциальной опасности и требования к системе физической защиты конкретного объекта.

**Ключевые слова:** топливно — энергетический комплекс, теплоэлектроцентраль, газозвоздушная смесь.

Несмотря на то, что практически повсеместно проводится работа по реализации требований безопасности объектов **топливно-энергетического комплекса (ТЭК)** — темпы и уровень качества проведения работ по обеспечению безопасности в разных субъектах РФ имеют существенные различия. Ряд причин сложившегося положения дел, в том числе и объективного характера, обусловлены как нечеткостью отдельных формулировок, так и избыточностью требований.

Топливо-энергетический комплекс — сложная межотраслевая система добычи и производства топлива и энергии (электроэнергии и тепла), их транспортировки, распределения и использования, эта обширная система включает в себя различные отрасли промышленности, осуществляющие добычу и переработку различных видов первичных топливных и энергетических ресурсов (нефтяных, газовых, гидравлических, ядерных, геотермальных, биологических и других), а также перерабатывающие эти первичные ресурсы в топливную и электрическую энергию или моторное топливо.

Современное состояние проблемы обеспечения безопасности потенциально опасных объектов, к которым относятся и объекты ТЭК страны, определяется множеством факторов. Наиболее существенными из них являются те, что непосредственно формируют основу оценки ситуации, политику государственных органов, принципы деятельности всех структур в сфере обеспечения безопасности.

Одним из самых очевидных факторов, сформировавшихся в последнее десятилетие, является изменение характера угроз, вызванное активизацией диверсионно-террористической деятельности. Данное изменение оказалось настолько глобальным, что «поглотило» все традиционные уровни и масштабы оценки угроз: от локального до международного, от гипотетического до реального. Рост числа проявлений терроризма, усиление организованности, подготовленности, оснащенности террористических групп и организаций обуславливают принимаемые на уровне государств и международных организаций антитеррористические меры, в том числе и превентивного характера. К последним относится создание и функционирование систем обеспечения безопасности объектов и, в частности, систем физической защиты (СФЗ) как систем, непосредственно противостоящих угрозам терроризма. Поэтому подходы к созданию СФЗ в последние 3–5 лет существенно изменились.

В Статье 3 «Федерального закона о безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» целями обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса являются их устойчивое и безопасное функционирование, защита интересов личности, общества и государства в сфере топливно-энергетического комплекса от актов незаконного вмешательства [1]. Основными задачами обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса являются:

- нормативное правовое регулирование в области обеспечения антитеррористической защищенности объектов топливно-энергетического комплекса;
- определение угроз совершения актов незаконного вмешательства и предупреждение таких угроз;
- категорирование объектов ТЭК;

- разработка и реализация требований обеспечения безопасности объектов ТЭК;
- разработка и реализация мер по созданию системы физической защиты объектов ТЭК;
- подготовка специалистов в сфере обеспечения безопасности объектов ТЭК;
- осуществление контроля за обеспечением безопасности объектов ТЭК;
- информационное, материально-техническое и научно-техническое обеспечение безопасности объектов ТЭК.

Кроме того, еще на стадии проектирования и строительства объектов ТЭК субъект обязан предусматривать осуществление комплекса специальных мер по безопасному функционированию таких объектов, локализации и уменьшению возможных последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) [2].

Требования к обеспечению безопасности различаются в зависимости от важности объекта, степени потенциальной опасности совершения акта незаконного вмешательства, его возможных последствий. Категорирование объектов само по себе не решает проблемы обеспечения безопасности и лишь позволяет установить степень потенциальной опасности и общие требования к системе физической защиты каждого конкретного объекта. При этом учитываются:

- 1) информация о том, является ли объект критически важным объектом для инфраструктуры и жизнеобеспечения ТЭК;
- 2) масштабы возможных социально-экономических последствий вследствие аварий на объекте;
- 3) наличие критических элементов объекта ТЭК;
- 4) наличие потенциально опасных участков объекта ТЭК;
- 5) наличие на объекте уязвимых мест.

В зависимости от степени потенциальной опасности и важности объектов ТЭК, им присваивается одна из трех категорий:

- 1) объекты высокой категории опасности;
- 2) объекты средней категории опасности;
- 3) объекты низкой категории опасности.

Показатели социально-экономических последствий совершения на объекте актов незаконного вмешательства оцениваются по основным сценариям актов незаконного вмешательства для критических элементов объекта, совершение акта незаконного вмешательства на которых может привести к возникновению ЧС с наибольшими социально-экономическими последствиями, с учетом их взаимовлияния.

Показателями социально-экономических последствий совершения на объекте актов незаконного вмешательства являются:

- зона чрезвычайной ситуации;
- количество пострадавших людей;
- размер материального (экономического) ущерба.

Моделирование сценарий актов незаконного вмешательства проведено на примере районной котельной «Савиново» г. Казани.

Изучив правовые и руководящие документы по вопросам антитеррористической защищенности объектов энергетики в РФ, а также документы по вопросам безопасности, разработанные в филиале ОАО «Генерирующая компания» Казанская ТЭЦ-2, можно рассмотреть следующие основные сценарии актов незаконного вмешательства в отношении котельной «Савиново» и выполнить расчеты относительно этих сценариев:

*Сценарий № 1.* Наиболее опасный сценарий акта незаконного вмешательства — нарушение работы газораспределительного пункта (ГРП) с выбросом газа в атмосферу.



*Сценарий № 2.* Наиболее опасный сценарий акта незаконного вмешательства — разрушение коллекторов прямой и обратной сетевой воды.

*Сценарий № 3.* Наиболее опасный сценарий акта незаконного вмешательства — повреждение силового трансформатора.

Все сценарии возникновения и развития ЧС, вызванные актами незаконного вмешательства на объекте, рассматриваются в пессимистическом, наиболее неблагоприятном варианте, при котором последствия аварии (инцидента) соответствуют последствиям, заложенным при проектировании объекта или превышают их. Мы проанализируем *сценарий № 1* — «Развитие ЧС при нарушении работы газораспределительного пункта с его повреждением и выбросом газа в атмосферу».

Процесс возникновения ЧС смоделирован на основании регламентирующих документов ОАО «Газпром» и руководящих документов министерств и ведомств РФ [3].

Взрыв газовоздушной смеси вызывает мгновенное расширение газов, образующихся в результате горения газовоздушной смеси, что приводит к разрушению обмуровки и повреждению котла или повреждению строительных конструкций, повреждается котельное газовое оборудование, а в ряде случаев взрыв приводит к травмам обслуживающего персонала. Причинами образования взрывоопасной газовоздушной смеси в топках и газоходах могут явиться неправильные действия обслуживающего персонала и нарушения режима работы горелок, приводящие к отрыву или проскоку пламени, а в помещениях котельной причиной может стать утечка газа.

Таблица 1

**Зоны разрушений и дальность распространения облака, зона поражения человека, приведены для диаметра газопровода котельной «Савиново»**

Диаметр трубопровода, м	Зона затрагиваемых разрушений, м	Дальность распространения облака воздушной смеси газов, м	Зона поражения человека, м
$D_y = 530 \times 8$	8,0	2,02	6

Расчеты показали, что в случае повреждения ГРП и разгерметизации газопровода с последующим взрывом, в месте расположения ГРП, при негативном развитии ситуации, образуется огненный шар радиусом 3,7 м. Время существования 1,2 с. Радиус поражения составит до 6 м, вызвав смерть 96 % сотрудников в радиусе 3 м. В радиусе поражения до 6 м сотрудники получают ожоги 1 степени тяжести (табл. 2). При истечении газа под существующим давлением и его загоранием образуется направленный факел пламени.

Таблица 2

**Степени поражения персонала**

Диаметр трубопровода	Величина поражения	Расстояние смеси газов, м	Число пораженных, %
$D_y = 530 \times 8$	Ожог 1 ст.	24,5	0
$D_y = 530 \times 8$	Ожог 3 ст.	12,5	95

Поражение 3 степени наблюдается на расстоянии до 24,5 м в 99,6 % случаев по направлению струи пламени. Безопасное расстояние составляет более 26 м.

Газораспределительный пункт работает в автоматическом режиме, персонал имеет возможность управлять оборудованием дистанционно с группового щита управления.

В случае нахождения персонала в зоне поражения возможен летальный исход — до 1 человека (при обходе территории). Предварительная оценка ущерба при возникновении ЧС проведена совместно со специалистами «Генерирующей компании» и составила 922 500 руб.

Последствия ЧС: в случае повреждения ГРП прекращается подача газа на котельную, происходит остановка котлов. Циркуляция воды продолжается с помощью сетевых насосов. Возможно незначительное понижение температуры в тепловой сети.

Аналогичные расчеты проведены и для остальных сценарий. По результатам оценки социально-экономических последствий совершения на объекте акта незаконного вмешательства и исходя из значений показателей зоны ЧС, возможного количества пострадавших и размера материального (экономического) ущерба объект соответствует низкой категории опасности.

### Литература

- [1] *Федеральный закон* от 21 июля 1997 г. № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
- [2] *Федеральный закон* от 21 июля 2011г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса».
- [3] Храмцов Б.А., Гаевой А.П., Дивиченко И.В. Промышленная безопасность опасных производственных объектов: учеб. пособие. Старый Оскол, ТНТ, 2015, 276 с.

## Ensuring the Safety of the Fuel and Energy Complex

© Galimova A.I.  
Shakurov R.F.

alsugal92@mail.ru

Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev — KAI,  
Kazan, 420111, Russia

*Currently, the task of ensuring the safety of the fuel and energy sector is very important. Categorization of objects allows you to set the degree of the potential hazards and the requirements for the physical protection of a specific object.*

**Keywords:** *fuel and energy complex, combined heat and power plant, gas — air mixture.*

УДК 504.064.2.001.18

## Комплексная оценка уровня экологической опасности промышленных городов

© | Долгополова Анна Геннадьевна<sup>1</sup>  
| Плуготаренко Нина Константиновна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, 344006, Россия

<sup>2</sup> Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, 347900, Россия

*Проведена оценка уровня экологической опасности промышленных городов. Представлен краткий алгоритм разработанной логико-вероятностной модели оценки уровня экологической опасности промышленного города. Разработана лингвистическая шкала оценки воздействия негативных факторов на состояние окружающей среды.*

**Ключевые слова:** экологический вызов, логико-вероятностный подход, риск, техногенная опасность, экологическая опасность.

Существование человека тесно связано с окружающим миром. С постоянным развитием и появлением высокоиндустриального общества вмешательство человека в окружающую природную среду увеличивается, что зачастую оказывает негативное влияние на природу. Неблагоприятное состояние окружающей среды может создавать угрозу для безопасной и комфортной жизни человека, а также угрозу его здоровью.

Проблема охраны окружающей среды и ее восстановления становится одной из важнейших задач науки, развитие которой стимулируется все возрастающими темпами технического прогресса во всех странах мира. Загрязнение промышленных городов является одной из самых серьезных экологических проблем. Поэтому для проведения полноценной оценки уровня экологической опасности важно понимать об уязвимости и устойчивости промышленных городов в целом, а также отдельных подсистем и элементов.

Уровень экологической опасности промышленных городов необходимо рассматривать, как возникновение угрозы от существующего, а также от возможного состояния водных объектов (поверхностные и подземные воды), питьевой воды, почвы, атмосферного воздуха, шумовой и радиационной обстановки. Сегодня только проведение комплексной оценки является эффективным способом определения экологической опасности промышленного города как на местном, так и региональном уровнях [1].

Для оценки уровня экологической опасности необходимо понимать, что мы существуем в системе «человек — среда обитания», где под средой обитания понимаем среду как природного, так и антропогенного происхождения. При этом любые действия человека, а также все компоненты среды обитания — это, прежде всего, технические средства и технологии, кроме положительных свойств и результатов, обладают способностью нести за собой травмирующие и вредные факторы.

На основании этого оценка негативного воздействия определяется с помощью риска нанесения ущерба здоровью или жизни человека. Под ущербом будем понимать результат или меру изменения объекта, делающего его менее пригодным для использо-

вания по основному предназначению. В свою очередь, потенциальная опасность с конкретной формой и способом проявления представляет собой угрозу [2]. Экологический вызов — это угроза, требующая реагирования с целью снижения риска.

Под экологическим вызовом принимаем систему воздействия водных объектов (поверхностные и подземные воды), питьевой воды, почвы, атмосферного воздуха, шумовой и радиационной обстановки.

Необходимо учитывать, что на каждую из таких подсистем влияют источники загрязнения, на которые оказывают нейтрализующее воздействие источники самоочищения.

При этом источники загрязнения можно подразделить на источники естественного и антропогенного происхождений. К антропогенным источникам влияния можно отнести транспорт (автомобильный, железнодорожный, воздушный, речной и морской), промышленность (теплоэнергетика, черная металлургия, химическая, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная, легкая, пищевая промышленности, машиностроение, металлообработка, цветная металлургия), сельское хозяйство и бытовые источники (полигоны твердых коммунальных отходов, полигоны промышленного происхождения, несанкционированные свалки и т. д.). К естественным источникам относятся загрязнители минерального, микробиологического и растительного происхождений.

Кроме того, антропогенные источники воздействия необходимо рассматривать как факторы негативного влияния с учетом проводимых мероприятий по снижению и предотвращению негативного влияния.

Такой механизм позволяет решать проблемы по защите окружающей среды, а также по прогнозированию развития исследуемых промышленных городов.

Таким образом была разработана логико-вероятностная модель воздействия факторов различного уровня на каждую из подсистем — водные объекты (поверхностные и подземные воды), питьевую воду, почву, атмосферный воздух, шумовую и радиационную обстановки.

Для применения предложенного подхода на практике для всех подсистем была разработана шкала оценок параметров риска, в основе которой использована универсальная шкала базовых оценок параметров риска [3].

Применение данной модели позволяет проводить расчет экологического вызова промышленного города для формирования существующей картины уровня экологической опасности и расчета эффективности применяемых природоохранных мероприятий в промышленных городах.

## Литература

- [1] Никонов Б.И., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Привалова Л.И., Кацнельсон Б.А., Воронин С.А., Малых О.Л., Чеботарькова С.А., Корнилков А.С., Кочнева Н.И. Оценка риска и эколого-эпидемиологические исследования как взаимосвязанные инструменты социально-гигиенического мониторинга на местном и региональном уровнях. *Гигиена и санитария*, 2004, № 5, с. 62–64.
- [2] Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Чурсин Г.В., Коптева Н.А., Афанасьев В.И. Прогнозирование заболеваний, вызываемых экологическими факторами риска, характерными для Курской области. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 2009, № 3, с. 60–65.
- [3] Фокина М.О., Белов П.Г. Наука и безопасность России: риски NBIC-технологий. *Россия 2030 глазами молодых ученых*, 2011, с. 43–49.

## Comprehensive Assessment of the Level of Environmental Hazards of Industrial Cities

© | Dolgoplova A.G.<sup>1</sup>  
| Plutagarenko N.K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344006, Russia

<sup>2</sup> Engineer-Technological Academy of Southern Federal University, Taganrog, 347900, Russia

*This work is devoted to assessing the level of environmental hazards of industrial cities. A brief algorithm for the developed logical and probabilistic model for assessing the level of ecological danger in an industrial city is presented. A linguistic scale for assessing the impact of negative factors on the state of the environment has been developed.*

**Keywords:** ecological challenge, logical-probabilistic approach, risk, man-caused danger, ecological hazard.

УДК 338.439.66

## Продовольственное обеспечение ликвидации чрезвычайных ситуаций

© | Зайцева Анна Юрьевна nyuta.zaytseva@gmail.com  
| Волков Юрий Аркадьевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*В настоящий момент уделяется большое внимание вопросам предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС). В статье проводится анализ проблем в области накопления необходимых продовольственных запасов, создаваемых в интересах Министерства Российской Федерации по ЧС, их объемов, номенклатуры, качества, условий хранения и способов подачи в зону ЧС.*

**Ключевые слова:** продовольственные запасы, резервы, жизнеобеспечение населения, ликвидация чрезвычайных ситуаций.

Решение проблемы жизнеобеспечения населения, особенно в первоначальный период ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), является одной из главных задач органов государственной власти и органов управления Российской единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) на всех уровнях. Одной из важнейших составляющих жизнеобеспечения является своевременная и в необходимых количествах поставка продовольственных запасов для пострадавшего населения, спасателей, медицинских формирований и других категорий участников ликвидации ЧС [1].

Определение номенклатуры и объема резервов материально-технических ресурсов осуществляется с учетом следующих факторов: видов и особенностей возможных ЧС; потенциального ущерба; природных, экономических и иных особенностей реги-

она; необходимой достаточности имеющихся сил и средств; величины объемов капиталовложений для создания всех видов резервов.

Продолжительность периода жизнеобеспечения можно принять [2] при ЧС локального уровня — до 7 сут.; регионального уровня — до 14–20 сут.; федерального — до 30–40 сут. Мероприятия по обеспечению населения продуктами питания включают: оценку потребной номенклатуры и количества продовольствия; определение реальных возможностей по производству продовольствия; осуществление приготовления и раздачи пищи пострадавшим и участникам ликвидации ЧС.

Государственный резерв является особым федеральным запасом материальных ценностей, предназначенным для использования в целях и порядке, предусмотренных Федеральным законом «О государственном материальном резерве» от 29 декабря 1994 г. № 79 и составляет имущество казны Российской Федерации. На 150 базах Росрезерва хранится около 1,5 тыс. наименований продуктов стратегического запаса на общую сумму 5,2 млрд руб. — среди них продовольственные запасы — зерно, молочные продукты, растительные масла, консервы, которые необходимо обновлять раз в 1–2 года [3].

Регионы Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока без развитой транспортной сети должны формировать резервы материальных ресурсов для ликвидации ЧС в большем объеме и в расширенной номенклатуре по сравнению с регионами Центральной части России [2].

В Приморском крае, например, одними из наиболее разрушительных природных катаклизмов являются тайфуны. Для оказания помощи пострадавшему от тайфуна «Лайонрок» населению Приморского края в 2014 г. Росрезерв осуществил выпуск продуктов питания и вещей первой необходимости [4].

В июне 2014 г. Росрезерв по поручению Правительства РФ произвел выпуск из государственного резерва более 6 тыс. т различных грузов, предназначенных для помощи беженцам с юго-востока Украины. По заявкам МЧС товаров было предоставлено на сумму более 376 млн руб. [3].

В Методическом руководстве (МР) по созданию, хранению, использованию и восполнению резервов материальных ресурсов для ЧС, утвержденному приказом МЧС России № 382 от 07.07.97 г., приведены [3]: номенклатура продовольственных резервов для ликвидации ЧС природного и техногенного характера; произведен расчет потребности в основных продуктах питания; представлены нормы обеспечения населения основными продуктами питания в граммах в сутки. В то же время предварительный анализ показывает, что в МР не представлено подробной методики расчета запасаемых продовольственных запасов на конкретной территории, а также не рассмотрены все способы транспортировки продовольствия в зону ЧС. Используя специализированное программное обеспечение, в рамках данной работы, необходимо апробировать усовершенствованное МР на примере конкретной ЧС, указав в результате необходимые объемы продовольствия для пострадавшего населения, оценив реальный ущерб, проанализировав маршруты различных видов транспорта для поставки продукции, а также продумав стабильную работу пунктов питания и полевых кухонь. В районы, пострадавшие в результате аварий, катастроф и стихийных бедствий должны поставляться товары, качество которых соответствует стандартам, санитарным нормам и правилам, установленным законодательством РФ [5].

В соответствии со степенью риска ЧС и последствий военных действий, резервы материальных ресурсов должны быть материализованным гарантом эффективного реагирования на чрезвычайные ситуации. Опыт ликвидации ЧС, при его наличии,

должен стать базой для корректировки номенклатуры и объемов накопления материальных ресурсов.

Таким образом, даже неполный предварительный анализ продовольственного обеспечения ликвидации ЧС показывает, что необходимо разработать меры по усовершенствованию методических рекомендаций в области определения объемов, качества, условий хранения и использования продовольственных запасов, создаваемых в интересах МЧС.

### Литература

- [1] *Методические рекомендации № 2-4-87-37-14* (утв. заместителем Министра РФ по делам гражданской обороны 25.12.13). [Электрон. ресурс] <http://adm-nao.ru/media/uploads> (дата обращения: 04.04.2017).
- [2] *Методические рекомендации № 43-2047-14*. (утв. Министерством экономического развития РФ и МЧС РФ [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc> (дата обращения 27.03.2017).
- [3] *Методическое руководство по созданию и использованию материальных ресурсов* (утв. Приказом МЧС России № 382 от 07.07.97). [Электрон. ресурс] [http://asmo45.ru/menu/mchs/mr\\_rezervy.pdf](http://asmo45.ru/menu/mchs/mr_rezervy.pdf) (дата обращения 09.05.2017).
- [4] *Официальный сайт Администрации Приморского края*. [Электрон. ресурс] <http://primorsky.ru/news/117635/> (дата обращения 25.04.2017).
- [5] Госзаказ — дело Росрезерва. [Электрон. ресурс] <http://военный-пенсионер.рф/index.php?newsid=50498> (дата обращения 28.05.2017).

## Creating Food Stockpiles for Liquidation of Emergency Situations

© | Zaytseva A.Y.  
Volkov Y.A.

nyuta.zaytseva@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Nowadays, it is of current interest to prevent and liquidize the emergencies. Solving the problem of population life support is one of the main aims of authorities. The main goal of the project is to work out methodological recommendations in the sphere of determining the volumes, quality, storage conditions and usage of food reserves created in the interests of Emergency Situation Department.*

**Keywords:** *food stockpiles, life support of population, Emergency Situation Department.*

УДК 544.08

## Высококочувствительный сенсор на основе оптических микрорезонаторов для детектирования наночастиц

©	Иванов Алексей Дмитриевич <sup>1</sup>	academi@yandex.ru
	Самойленко Алексей Андреевич <sup>1</sup>	asamoylenko@vniiofi.ru
	Миньков Кирилл Николаевич <sup>1,2</sup>	k.n.minkov@yandex.ru
	Ружицкая Дарья Дмитриевна <sup>1,3</sup>	dariaruzh@yandex.ru

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Москва, 119361, Россия

<sup>2</sup> Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова НИУ ВШЭ, Москва, 101000, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия

*Описан принцип работы сенсора, основанного на оптических микрорезонаторах с модами типа шепчущей галереи. Приведены результаты детектирования малых концентраций наночастиц в водной и воздушной среде.*

**Ключевые слова:** оптические микрорезонаторы, сенсор, моды шепчущей галереи, наночастицы.

Развитие общества неразрывно связано с развитием научно-технического прогресса. Особо следует отметить начало XXI века — начало стремительного развития нанотехнологий. На сегодняшний день нанотехнологии встречаются в ряде областей промышленности, таких как лакокрасочная, косметическая, фармацевтическая и др. Многие вещества в наноразмерном состоянии получают новые свойства и зачастую повышают свою биологическую активность [1]. Вредное влияние наночастиц на организм человека изучено еще не до конца. Поэтому необходимо развивать систему методов контроля и определения наличия наноматериалов в первую очередь в воздушных и водных средах. Контроль содержания наночастиц в рабочих помещениях предприятий nanoиндустрии позволит оградить работников от вредного влияния наноматериалов.

Современные методы (такие как просвечивающая микроскопия, дифракционные методы и т. п. [2]) позволяют обнаруживать наночастицы с высокой точностью, однако обладают рядом существенных недостатков, например, высокой стоимостью, необходимостью предварительной подготовки образцов, большой погрешностью результатов измерений, имеют большие габаритные размеры и предусматривают высокие требования к квалификации персонала, обслуживающего прибор. Поэтому на сегодняшний день существует необходимость в создании компактного и мобильного устройства (сенсора), который был бы удобен в применении на производстве.

В представленной работе описаны возможности сенсоров, использующие в качестве чувствительного элемента оптический диэлектрический микрорезонатор (ОДМР). Такие сенсоры способны детектировать изменение показателя преломления окружающей среды, механическую деформацию [3], изменение температуры, а также детектировать оптические неоднородности, возникающие на поверхности резонатора [4]. Схема сенсора показана на рис. 1, а. Микрофотография ОДМР с абсорбированными на поверхности наночастицами показана на рис. 1, б.



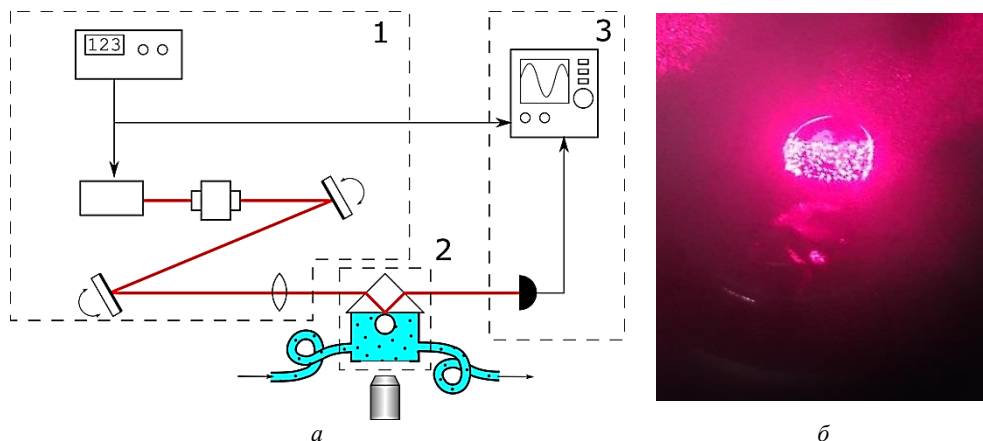


Схема сенсора (а) и ОДМР с адсорбированными наночастицами (б)

Разработанный сенсор успешно прошел испытания по детектированию малых концентраций наночастиц диоксида титана в воздухе и наночастиц серебра в жидкой среде [5].

В рамках выполнения работы использовано измерительное оборудование Центра коллективного пользования ФГУП «ВНИИОФИ».

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение №14.625.21.0004 от 25.08.2014 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI62514X0004).*

### Литература

- [1] Trouiller B., Reliene R., Westbrook A. Titanium Dioxide Nanoparticles Induce DNA Damage and Genetic Instability in vivo in Mice. *Cancer research*, 2009, vol. 69, no. 22, pp. 8785–8789.
- [2] Крушенко Г.Г., Решетникова С.Н. Проблемы определения размеров наночастиц // Технологические процессы и материалы. *Вестник СибГАУ*, 2011, № 2, с. 167–170.
- [3] Биленко И.А., Городецкий М.Л. Метод измерения малых колебаний оптически прозрачных объектов. *ДАК*, 1999, № 368, с. 612–618.
- [4] Foreman M. R., Swaim J.D., Vollmer F. Whispering gallery mode sensors. *Advances in Optics and Photonics*, 2015, vol. 7, no. 2, pp. 168–240.
- [5] Самойленко А.А., Левин Г.Г., Лясковский В.Л., Миньков К.Н., Иванов А.Д., Биленко И.А. Применение оптических микрорезонаторов с модами типа «шепчущей галереи» для обнаружения наночастиц серебра в водной среде. *Оптика и спектроскопия*, 2017, т. 122, № 6, с. 1037–1039.

## High-Sensitive Sensor Based on Optical Micro-Resonators for Detecting Nanoparticles

© | Ivanov A.D.<sup>1</sup>  
Samoylenko A.A.<sup>1</sup>  
Minkov K.N.<sup>1,2</sup>  
Ruzhitskaya D.D.<sup>1,3</sup>

academi@yandex.ru  
asamoylenko@vniiofi.ru  
k.n.minkov@yandex.ru  
dariatuzh@yandex.ru

<sup>1</sup>The All-Russian Research Institute for Optical and Physical Measurements Federal State Unitary Enterprise, Moscow, 119361, Russia

<sup>2</sup>Moscow Institute of Electronics and Mathematics. National Research University of Higher School of Economics, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia

*The report describes the principle of the sensor, based on optical microresonators with whispering gallery modes. The results of detection of small concentrations of nanoparticles in water and air are presented.*

**Keywords:** optical microcavities, sensor, whispering gallery modes, nanoparticles.

УДК 574:621.311.22.002.5:621.18

## Создание комфортных акустических условий сборщика электрических машин

© | Киричек Артем Сергеевич  
Медведев Виктор Тихонович

Art.kirichek@gmail.com

Национальный исследовательский университет  
«Московский энергетический университет», Москва, 111116, Россия

*Механизация производственных процессов привела к тому, что рабочие на производстве подвергаются воздействию шума высоких уровней. Цель — создание комфортных акустических условий рабочих-сборщиков электрических машин. В работе описано физиологическое воздействие шума на человека, формирование звукового поля в помещении, изложены рекомендации по выбору и расчету средств снижения шума на рабочих местах.*

**Ключевые слова:** производство, шум, звуковое давление, реверберация, звукоизоляция, звукопоглощение.

В процессе трудовой деятельности, рабочие подвержены вредным и (или) опасным производственным факторам: опасность поражения электрическим током, воздействие электромагнитных полей, чрезмерные уровни шума, физическая и психологическая усталость и т. д.

В работе рассмотрены вредные и опасные факторы, связанные с чрезмерным уровнем шума на производстве электрических машин с высотой оси вращения до

125 мм, а именно сборочный цех, и предложены мероприятия для создания комфортных акустических условий сборщика электрических машин. Также показан заключительный этап сборки, где устанавливается на корпус коробка выводов и закрепляется болтовым соединением с помощью гайковерта.

На производстве электрических машин особенно шумными являются механический и штамповочный цеха. Технологическое оборудование, используемое в механическом цеху, создает высокие уровни звукового давления порядка 80...95 дБ. Так как часто сборочный и механический цеха находятся в одном помещении, то для создания комфортных акустических условий сборщиков электрических машин, необходимо защитить рабочих-сборщиков от шума, излучаемого из механического цеха, а также из самого сборочного цеха.

Гайковерт, используемый рабочими, создает уровень шума порядка 80...90 дБ, что является превышением установленных норм [1–3].

Воздействие шума на рабочих имеет медицинский и экономический аспекты, которые необходимо рассматривать во взаимодействии друг с другом.

Исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что под влиянием шума производительность труда в общем снижается на 10 %. Если обеспечить защитные мероприятия от воздействия шума, ожидать повышения производительности труда рабочих на 9 %, а снижения заболеваемости на 37 %.

Экономический аспект состоит в том, что шум влияет на производительность труда. Если работник получил акустическую травму на производстве, то работодатель обязан выплатить положенные компенсации.

Медицинский аспект — это когда шум оказывает непосредственное воздействие на слуховой орган человека, а также на нервную и сердечно-сосудистую системы работников.

Для борьбы с шумом на производстве необходимо применять разные подходы: организационные, технические, гигиенические.

В работе предложены технические мероприятия для борьбы с шумом, но прежде чем приступить к разработке технических мероприятий по борьбе с шумом, необходимо рассмотреть формирование звукового поля в рабочей зоне.

В ограниченном пространстве (помещении) звуковая волна через маленький отрезок времени сталкивается с предметами, расположенными в этом помещении, и с его границами. В таком случае, распространение звуковых волн зависит от геометрии помещения и акустических свойств поверхностей, на пути которых распространяется волна.

При столкновении волны с преградой часть энергии поглощается преградой, часть проходит сквозь преграду, а часть отражается.

Процесс формирования звукового поля в закрытом пространстве связан с явлениями реверберации и диффузии.

При разработке технических мероприятий, рассматриваются три звена: источники шума, пути передачи шума, приемники шума (рабочие).

Источником шума на рабочем месте является гайковерт. Однако разработка малошумного оборудования часто представляет собой весьма сложную техническую задачу, поэтому на практике ослабление шума в источнике его возникновения чаще всего достигается заменой шумного оборудования на более качественное малошумное.

Борьба с шумом на пути его передачи ведется с помощью комплекса строительного-акустических мероприятий.

Для защиты от шума, излучаемого из механического цеха, сборочный цех необходимо звукоизолировать. Для этого предложена конструкция каркаса стен, состоя-

щая из металлических профилей. Далее каркас обшивается стальными листами толщиной 1,0...1,5 мм со стороны механического цеха. Потолок делается аналогичной конструкции, что и стены.

Для борьбы с шумом, излучаемым в самом сборочном цеху, предложена облицовка стен с помощью звукопоглощающих материалов: 50 мм слой минеральной ваты и 10...12 мм гипсокартон. Для облицовки потолка применяется минеральная вата толщиной 50 мм и плиты акмигран. Также предложено использовать передвижные акустические экраны.

Таким образом, ожидаемое снижение уровня звукового давления в сборочном цеху с помощью облицовки и акустических экранов составляет примерно 8...10 дБ.

Об эффективности облицовки можно судить по времени реверберации. До применения звукопоглощающей облицовки время реверберации составляет примерно 0,7 с, после — 0,4 с.

### Литература

- [1] Борьба с шумом на производстве. Справочник / Под редакцией д-ра техн. наук проф. Юдина Е.Я. Москва, Машиностроение, 1985.
- [2] Инженерная экология / Под редакцией Медведева В.Т. Москва, Гардарики, 2002.
- [3] Контроль шума в промышленности. / Под редакцией Дж.Д. Вебба. ЛЕНИНГРАД, судостроение, 1981.

## Creation of Comfortable Acoustic Conditions of the Collector of Electrical Machines

© | Kirichek A.S.  
Medvedev V.S.

Art.kirichek@gmail.com

National Research University "MPEI", Moscow, 111116, Russia

*The mechanization of production processes has resulted in workers exposed to high-level noise in the workplace. The purpose of the work is to create comfortable acoustic conditions for the workers-collectors of electrical machines. The work describes the physiological impact of noise on a person, the formation of a sound field in the room, outlines recommendations for the selection and calculation of noise reduction tools in the workplace.*

**Keywords:** *production, noise, sound pressure, reverberation, sound insulation, sound absorption.*

УДК 532.5-1/-9

## Визуализация вихревых структур как метод экспериментального исследования течения в гидродинамическом фильтре

© | Киселева Дария Андреевна  
Шарай Елена Юрьевна

kiselyova.darya.andreevna@gmail.com  
e9.sharay@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены результаты экспериментального исследования применимости алюминиевой пудры в качестве трассирующего вещества. Выполнен расчет числа Стокса для обоснования выбора алюминиевой пудры для визуализации вихревых структур при вращении потока в канале.*

**Ключевые слова:** вихревые структуры, алюминиевая пудра, гидродинамический фильтр.

В настоящее время проведены теоретические [1] и численные [2] исследования течения в кольцевом канале гидродинамического фильтра с защитной перегородкой. Получены картины течения среды для различных конструкций кольцевого зазора. Исследовано влияние геометрических параметров фильтра на структуру течения. Однако в ходе численных исследований принят ряд допущений, в результате которых происходит искажение реальной картины течения. Для оценки искажения необходимо провести экспериментальные исследования течения в гидродинамическом фильтре. Эксперименты позволят оценить адекватность построенной модели фильтра.

Для проведения экспериментальных исследований трехмерного течения требуется его визуализация, позволяющая получить изображения течения среды. Вихри Тейлора, возникающие в кольцевом канале фильтра при определенных режимах работы, изучены многими авторами, в том числе экспериментально. В работе [3] представлены результаты визуализации турбулентных течений, вихрей Тейлора с использованием различных трассеров. Наиболее эффективно применяемым трассирующим веществом является алюминиевый порошок или алюминиевая пудра [3, 4].

Проведено теоретическое и экспериментальное доказательство применимости мелкодисперсной алюминиевой пудры в качестве трассера для исследования структуры течения в кольцевом канале гидродинамического фильтра с защитной перегородкой в будущем. Возможность применения алюминиевой пудры определяется способностью ее частиц двигаться по линиям тока. Для этого должно выполняться следующее условие:

$$Sk \ll 1, \quad (1)$$

где  $Sk$  — число Стокса, определяемое по формуле

$$Sk = \frac{\rho d^2 V}{\eta L}, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность алюминиевой пудры (марки ПАП-1),  $\rho = 150 \text{ кг/м}^3$ ;  $d$  — диаметр частиц алюминиевой пудры,  $d = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  $V$  — скорость движения жидкости,  $V = 6,4 \text{ м/с}$  на входе в гидродинамический фильтр;  $\eta$  — динамическая вязкость жидко-

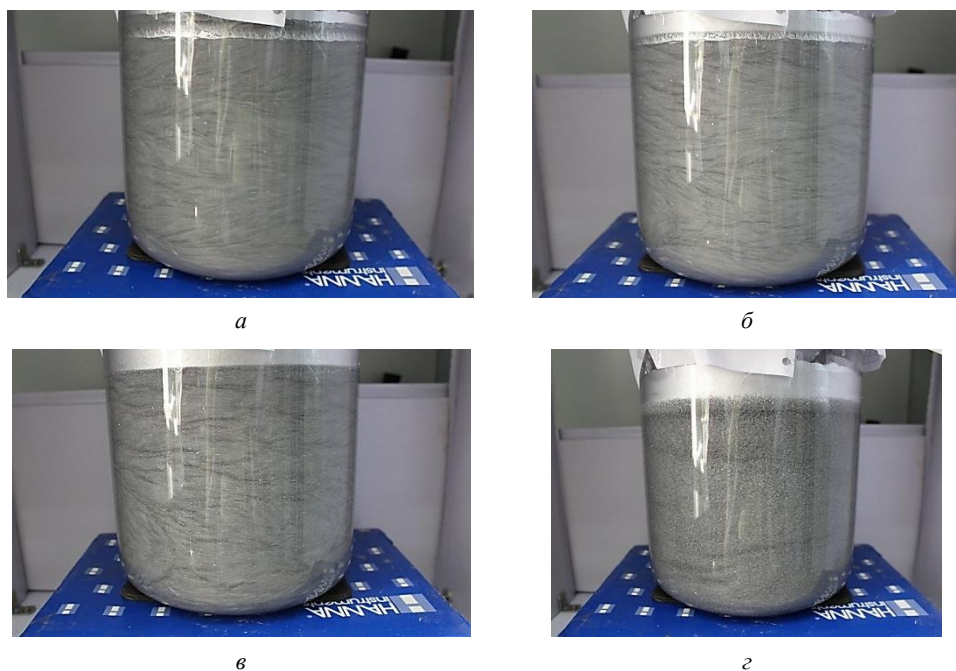
сти (воды),  $\eta = 1,002 \cdot 10^{-3}$  Па · с;  $L$  — характеристическая длина,  $L = 0,1$  м — длина входного патрубка;

$$Sk = 0,0038,$$

условие (1) выполняется, и алюминиевая пудра может применяться в качестве трасера.

Экспериментальные исследования проведены на установке, представленной в работе [5]. Обсадная труба не использовалась. Была подобрана концентрация алюминиевой пудры  $C_{\text{опт}} = 4,0$  г/л, при которой наблюдается четкая картина перемещения вихревых структур в канале, как в работе [6] при течениях среды между вращающимся внутренним конусом и стационарным внешним конусом.

При  $C_{\text{опт}} = 4,0$  г/л получены картины течения в зависимости от частоты вращения мешалки (рис. 1).



**Рис. 1.** Картины течения при  $C_{\text{опт}} = 4,0$  г/л при:  
 а —  $n = 1200$  об/мин; б —  $n = 800$  об/мин; в —  $n = 500$  об/мин; г —  $n = 200$  об/мин

Для получения адекватных результатов исследования течения в кольцевом канале гидродинамического фильтра при проведении эксперимента необходимо соблюдать следующие условия:

- во избежание разбрызгивания концентрата резервуар должен быть закрытым, а подача алюминиевой пудры должна осуществляться в объем жидкости, а не на ее поверхность;
- рекомендуемая частота перемешивания концентрата от 800 до 1000 об/мин.
- съемку необходимо проводить в режиме «Макросъемка» не менее чем через 1 мин после установления частоты вращения вала, т. е. при установившемся режиме.

## Литература

- [1] Девисилов В.А., Львов В.А., Мягков И.А., Шарай Е.Ю. Аналитическая модель процесса разделения суспензий в гидродинамическом фильтре с вращающейся перфорированной перегородкой. *Безопасность в техносфере*, 2014, № 5, с. 32–41.
- [2] Девисилов В.А., Мягков И.А., Шарай Е.Ю. Исследование гидродинамического вибрационного фильтрования и разработка конструкции фильтра. *Известия Самарского научного центра Российской Федерации*, 2012, т. 4, № 1 (3), с. 866–876.
- [3] Ван-Дайк М. *Альбом течений жидкости и газа* / Пер. с англ. Москва, Мир, 1986.
- [4] Аржаник А.Р., Михайличенко Ю.П., Сотириади Г.Н. Постановка демонстраций ячеек Бенара и вихрей Тейлора. *Физическое образование в вузах*, 2000, т. 6, № 4.
- [5] Ксенофонтов Б.С., Виноградов М.С., Бурков А.В., Ершов А.Л. Исследование процесса кондиционирования сточных вод на лабораторной установке. *Естественные и технические науки*, 2017, № 4 (106), с. 184–187.
- [6] Wimmer M. Taylor vortices at different geometries. *Physics of rotating fluids*, 2000, vol. 549, pp. 194–212.

## Visualization of vortex structures as a method of experimental investigation of flow in a hydrodynamic filter

© | Kiselyova D.A.  
Sharay E.Y.

kiselyova.darya.andreevna@gmail.com  
e9.sharay@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The results of an experimental research of the applicability of aluminum powder as a tracer are presented. The Stokes number is calculated for the justification of the choice of aluminum powder for visualization of the vortex structures, when the flow is rotating in the gap.*

**Keywords:** *vortex structures, aluminum powder, hydrodynamic filter.*

УДК 620.952

## Культивирование водорослей с целью получения сырья для производства биотоплива

© | Климов Евгений Игоревич  
Кустикова Марина Александровна

eklimov80@gmail.com

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, 197101, Россия

*Работа посвящена вопросам, связанным с исследованием процессов культивирования водорослей с целью получения сырья для производства биотоплива. В исследовании были рассмотрены виды систем культивирования водорослей и представлены полезные продукты, которые можно получить в зависимости от выбора системы. Пред-*

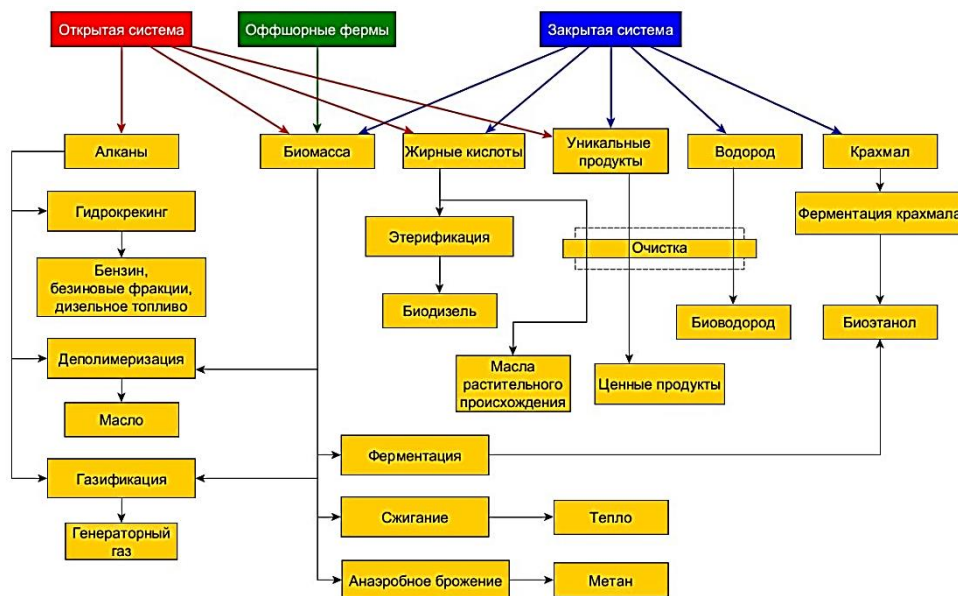
ложена конструкция фотобиореактора для культивирования водорослей и биологической очистки фильтрата полигонов твердых бытовых отходов.

**Ключевые слова:** водоросли, система культивирования, биотопливо, биодизель, фильтрат полигонов ТБО, фотобиореактор.

Последние несколько десятилетий внимание ряда научных коллективов приковано к проблеме получения и использования биотоплива. Данная тенденция обусловлена как ограниченным запасом ископаемых энергоносителей, так и вопросами их добычи и преобразования.

Основной источник сырья для производства биотоплива — биомасса растительного происхождения. Интересным является направление использования водных культур, в особенности водорослей, в целях получения сырья для производства биотоплива, так как они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими энергетическими культурами.

Существует несколько видов систем для культивирования водорослей. Традиционно выделяют три вида: оффшорные, открытые и закрытые системы. Выбор системы культивирования водорослей зависит от ресурсов производителя и его целей. Продукты, которые можно получить в зависимости от выбранной системы культивирования, показаны на схеме (рис. 1).



**Рис. 1.** Полезные продукты, получаемые в результате использования различных видов культивирования водорослей [1]

Из указанных на схеме полезных продуктов нас привлекает в первую очередь биодизель. Дизельное топливо является одним из наиболее популярных энергоносителей. Согласно аналитическому обзору Московского нефтяного центра, ожидается увеличение спроса на моторное топливо, в том числе на дизель и биодизель [2].



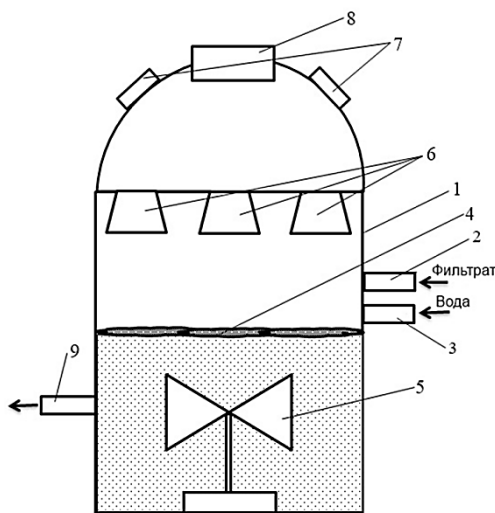
Для культивирования водорослей необходимы определенные условия, обеспечивающиеся несколькими вводными. К таким вводным относят: излучение, водную среду, питательные вещества, диоксид углерода и температурный режим. Для каждого штамма водорослей нужны свои конкретные условия, а для получения биомассы с высоким содержанием липидов необходимо создавать стрессовые условия. Таким образом, если мы ставим себе цель получать биомассу водорослей с высоким содержанием липидов, то нам нужно использовать закрытые системы культивирования водорослей.

Известно [1], что с целью экономии ресурсов чистой воды в процессе культивирования водорослей можно использовать сточные воды, к примеру, фильтрат полигонов твердых бытовых отходов (ТБО).

Свалочный фильтрат — это жидкость, образующаяся в результате прохождения осадков через слои отходов и брожения органических отходов в теле полигона ТБО. Фильтрат, образующийся в теле полигона, является токсичным раствором с минерализацией до нескольких десятков грамм на литр, содержанием ионов аммония, хлора и других макрокомпонентов до нескольких грамм на литр, высокими концентрациями тяжелых металлов (цинк, свинец, никель, хром, кадмий и др.) и органических соединений [3].

Использование фильтрата полигонов ТБО для культивирования водорослей является относительно интересной идеей, так как в данном случае мы одновременно получаем питательные вещества и производим очистку загрязненной водной смеси. Стоит отметить, что в данном случае транспортировка смеси является экономически невыгодной, что приводит к необходимости расположения культиватора вблизи полигона ТБО. Однако из этого обстоятельства также можно получить выгоду, так как воздух вблизи полигонов ТБО обогащен диоксидом углерода, который входит в состав свалочного газа.

Опираясь на изложенные рассуждения, было принято решение разработать конструкцию фотобиореактора, которая позволит выполнять биологическую очистку фильтрата полигона ТБО и получать биомассу с высоким содержанием липидов. Общий вид предложенной установки показан на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема конструкции фотобиореактора: «Отстойник для биологической очистки фильтрата с применением водорослей» (RU 160 907 U1)

Представленная на рис. 2 установка будет работать следующим образом: поступающие в резервуар 1 фильтрат и вода, по трубопроводам 2 и 3 соответственно, перемешиваются посредством лопастной мешалки 5 для снижения концентрации веществ, которые могут нанести вред водорослям 4 осуществляющих очистку водной смеси. Для обеспечения оптимальных условий, при которых будет происходить очистка водной смеси и обеспечиваться процесс активного образования биомассы водорослей с высоким содержанием липидов, в установке размещены источники искусственного освещения 6 и вентиляция 7. При переизбытке биомассы водорослей возможно ее удаление через технический люк 8. Водная смесь, прошедшая очистку, удаляется из установки посредством трубопровода 9.

Таким образом использование данной установки позволит производить частичную очистку фильтрата полигонов ТБО и получать биомассу водорослей с высоким содержанием липидов. Мы не можем сказать с уверенностью насколько эффективной окажется данная установка и какого качества биотопливо на ней можно получить, так как для этого стоит провести ряд лабораторных исследований.

Кратко представим дальнейшие задачи исследования: определение химического состава фильтрата полигонов ТБО Санкт-Петербурга; проведение серии экспериментов для проверки гипотезы об использовании фильтрата полигонов ТБО с целью культивирования водорослей; выбор штаммов водорослей для дальнейшего изучения.

### Литература

- [1] *ALGAE-BASED BIOFUELS: A Review of Challenges and Opportunities for Developing Countries* (2009) [Электрон. ресурс] <http://www.fao.org/3/a-ak333e.pdf> (дата обращения 22.06.2016).
- [2] *Прогноз развития энергетики мира и России 2016* / под ред. А.А. Макарова, Л.М. Григорьева, Т.А. Митровой. Москва, ИНЭИ РАН — АЦ при Правительстве РФ, 2016, 196 с.
- [3] Багрецова Ю.В., Воронина А.Г., Гейде К.Г., Шафикова А.М. Проектирование полигонов ТБО: мероприятия по обращению с фильтратом. *Справочник эколога*. Москва, Профсоюзное издательство, 2014, вып. 10 (22).

## Cultivation of Algae in Order to Obtain Raw Materials for Biofuel Production

© Klimov E.I.  
Kustikova M.A.

eklimov80@gmail.com

ITMO University, St. Petersburg, 197101, Russia

*This article is devoted to the questions connected with research of processes of algae cultivation with the purpose of reception of raw materials for manufacture of biofuel. The study has examined the types of algal cultivation systems and has presented useful products which can be obtained depending on the choice of the system. At the end of the article a photobioreactor was proposed for the cultivation of algae and biological purification of the leachate of municipal solid waste landfills.*

**Keywords:** *algae, cultivation system, biofuel, biodiesel, leachate, photobioreactor.*

УДК 614.8 + 656.1

## Производственный и дорожно-транспортный травматизм промышленного центра

© | Кожевников Алексей Дмитриевич  
Паткин Илья Романович

mr.aleks-jurist@yandex.ru  
patkin.ilya98@mail.ru

Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева,  
Ковров, 601910, Россия

*Проанализирована динамика производственного и дорожно-транспортного травматизма, исследованы виды производственных травм, проанализированы факторы, влияющие на дорожно-транспортный травматизм.*

**Ключевые слова:** травматизм, виды травм, факторы травматизма, производство, дорожное движение.

Сегодня, в двадцать первом веке, проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности человека входят в круг приоритетных проблем любого современного государства. Уровень решения этих проблем может служить комплексным критерием оценки экономического развития и стабильности этого государства. В вопросах безопасности проблема травматизма приобрела особую остроту в последнее десятилетие, так как связана с непростой демографической ситуацией, при которой жизнь, здоровье и безопасность каждого человека приобретают статус проблем государственной важности.

Первый этап наших исследований посвящен анализу производственного и дорожно-транспортного травматизма в промышленном центре г. Коврове с численностью населения 139 280 человек (2016 г.) и Ковровском районе с численностью населения 32 340 человек (2016 г.). Анализ проведен на основе данных за период 2012–2016 гг., предоставленных ГБУЗ ВО «Центральная городская больница г. Коврова» о пострадавших, доставленных с травмами в стационар. За исследуемый период было зарегистрировано около 2000 случаев травматизма разного происхождения (производственного, бытового, школьного, дорожного), из которых зафиксировано 1066 случаев дорожно-транспортного травматизма и 63 случая производственного травматизма.

Анализ производственного травматизма позволяет сделать такие выводы. В целом, показатели производственного травматизма снижаются с 23 случаев, зарегистрированных в 2012 г. до 9 случаев в 2016-м. Возможно, это связано с совершенствованием законодательства в области охраны труда и промышленной безопасности. За соблюдением требований производственной безопасности несут ответственность службы охраны труда, которые успешно работают на крупных предприятиях города. В то же время как на предприятиях среднего и малого бизнеса вопросам охраны труда уделяется недостаточное внимания, это подтверждается нашими данными. Основными пострадавшими на производстве являются работники предприятий среднего и малого бизнеса. Основные виды травм — сотрясение головного мозга, переломы и травмы с вовлечением нескольких областей тела [1]. Причинами таких травм являются падения человека, связанные с состоянием рабочих мест

(скользкие полы, уборка территории) и человеческим фактором (несоответствующая обувь, невнимательность хождения по лестницам). Для предупреждения производственного травматизма проводятся различные мероприятия: разработка локальных нормативных документов, инструкций, проведение инструктажей, тестов по правилам безопасности труда, учеба по охране труда, беседы со специалистами по охране труда и промышленной безопасности.

Из всех видов травматизма наибольшую опасность представляет дорожно-транспортный травматизм, более 50 % общего числа зарегистрированных в стационаре травм, и это не считая количество ДТП со смертельным исходом. Наблюдался спад тяжелых последствий и травм при ДТП с 267 случаев в 2014 г. до 123 в 2016 г., что объясняется введением новых правил проведения экзаменов для получения водительских прав в ГИБДД (постановление № 1097), улучшением городской транспортной инфраструктуры (установка светофоров на опасных участках дороги, контроль за состоянием и безопасностью уличной сети: разметка, знаки, освещение), а также вступлением в силу закона об обязательном экзамене на право управления скутерами и мопедами.

Причины ДТП различны: невнимательность; превышение скорости; нарушение правил дорожного движения всеми участниками, в том числе и пешеходами, плохое состояние проезжей части. Но так же, аварии случаются в результате управления транспортным средством в нетрезвом виде [2]. Из 1066 случаев тяжелых травм 66 из них получены в ДТП, совершенных в состоянии алкогольного опьянения.

Выявление факторов, значимо влияющих на риск дорожно-транспортного происшествия при решении задачи повышения безопасности на дорогах, должно рассматриваться как приоритетная задача. Это позволит принимать решения, которые действительно смогут устранить прямые и сторонние причины ДТП. В нашем исследовании были выделены несколько признаков, а именно: статус человека, возраст и местожительство.

Местожительство влияет на риск совершения ДТП. Больше количество ДТП совершается жителями городов, в которых уровень автомобилизации выше, чем в сельской местности. Однако анализ данных указывает на определенную социальную проблему: дорожный травматизм у сельских жителей в большой степени связан с состоянием алкогольного опьянения. В трезвом состоянии доля травм у сельских жителей составляет 22,3 % от общего числа травм, в состоянии алкогольного опьянения эта доля увеличивается до 45,5 %. К тому же численность тяжело пострадавших в ДТП городских жителей составляет в среднем 0,1 % от общего числа жителей города Коврова, сельских жителей — 0,14 % от численности Ковровского района, а в состоянии алкогольного опьянения эти доли составляют 0,006 % для города и 0,02 % для района.

Статус человека напрямую влияет на риск совершения ДТП, в виду того, что не все люди сознательно подходят к данному вопросу. На основе проанализированных данных, были составлены гистограммы, показывающие, как статус человека влияет на дорожно-транспортный травматизм (рис. 1, 2). На основе данных гистограмм можно сделать вывод, что наиболее частыми участниками ДТП являются работающие люди, но в состоянии алкогольного опьянения более травмируются неработающие люди (56 % от общего числа травм в нетрезвом виде). Возможно, эти данные отражают еще одну социальную проблему нашего общества.

Возраст водителя тоже оказывает большое влияние на вероятность попадания в ДТП. Данные представлены на рис. 3. Установлено, что в разном возрасте причины попадания в ДТП различны. У молодых водителей — это недостаточное владение

навыками управления транспортным средством, недооценка опасности, отвлечение внимания, неверное мнение о состоянии дорожного движения. У водителей со стажем факторами, способствующими ДТП, являются недооценка собственного неправильного поведения, ошибочный прогноз поведения других участников дорожного движения. У водителей старше 60 лет основные ошибки совершаются из-за ухудшения у них функции восприятия и ориентации [3].

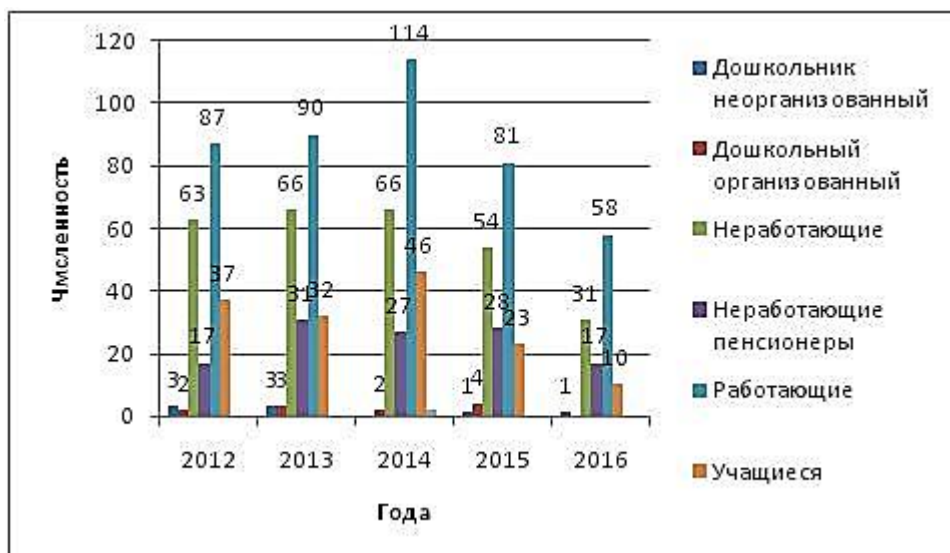


Рис. 1. Гистограмма 1 влияния статуса человека на дорожно-транспортный травматизм

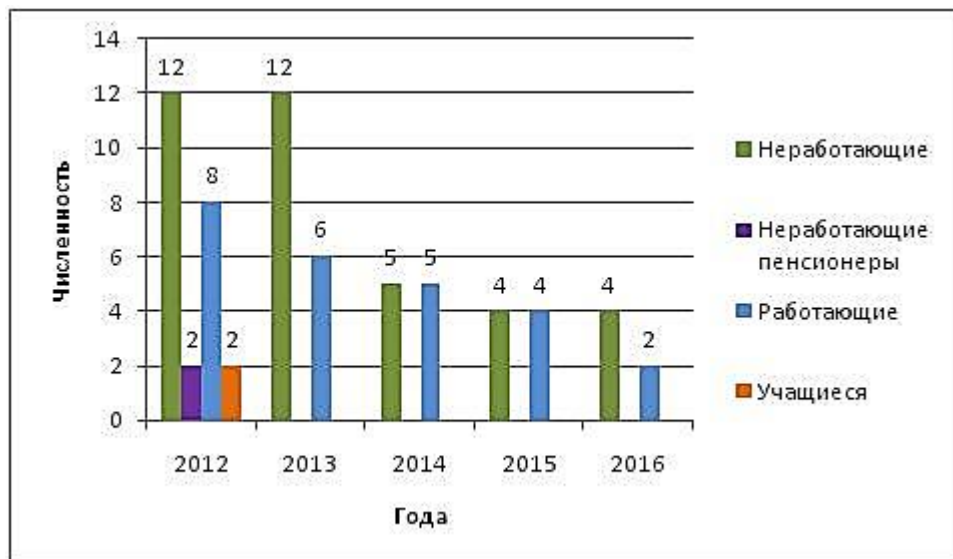


Рис. 2. Гистограмма 2 влияния статуса человека на дорожно-транспортный травматизм

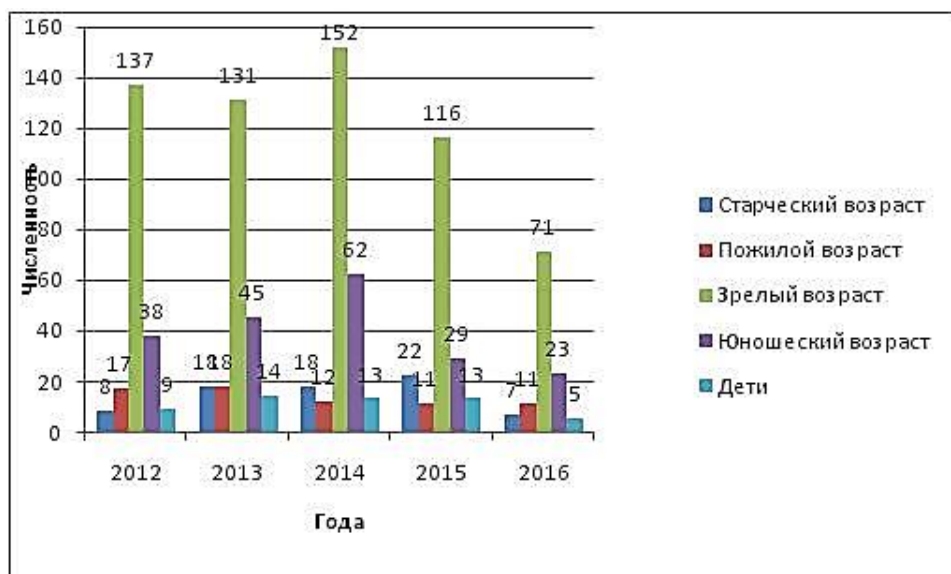


Рис. 3. Гистограмма влияния статуса человека на дорожно-транспортный травматизм

Подводя итоги нашего исследования, следует отметить: первое — снижение общего травматизма за период 2012–2016 гг. (как производственного, так и дорожно-транспортного); второе — были проанализированы некоторые факторы, влияющие на дорожно-транспортный травматизм, и обозначены социальные проблемы с ним связанные.

### Литература

- [1] Корнилов Н.В. *Травматология и ортопедия*. Москва, Гиппократ, 2008, 510 с.
- [2] Бабков В.Ф. *Дорожные условия и безопасность движения*. Москва, Транспорт, 2000, 188 с.
- [3] Волошин Г.А., Мартынов В.П., Романов А.Г. *Анализ дорожно-транспортных происшествий*. Москва, Транспорт, 2007, 240 с.

## Operational and Road and Transport Injuries in the Industrial Center

© Kozhevnikov A.D.  
Patkin I.R.

mr.aleks-jurist@yandex.ru  
patkin.ilya98@mail.ru

The Kovrov State Technological Academy after V.A. Degtayrev, Korolev. 601910, Russia

*In the report the analysis of dynamics of operational and road and transport injuries is carried out, types of production injuries are investigated, the factors influencing road and transport traumatism are analyzed.*

**Keywords:** *traumatism, types of injuries, traumatism factors, production, traffic.*



$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(ruh)}{\partial r} = 0 \quad (1)$$

и уравнения движения

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} = -g\delta \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{\tau}{\rho_o h}, \quad (2)$$

где  $h$  — толщина нефтяной пленки;  $t$  — время;  $r$  — радиальная координата;  $u$  — осредненная по толщине пленки скорость движения;  $g$  — ускорение свободного падения;  $\delta = (\rho_w - \rho_o)\rho^{-1}_o$ ;  $\rho_w, \rho_o$  — плотность воды и нефти соответственно;  $\tau$  — касательное напряжение на нижней границе пленки.

Поскольку процесс распространения нефтяной пленки происходит медленно, можно пренебречь ускорением движения в ней и упростить уравнение движения. Тогда, полагая

$$\tau = \mu u/h,$$

из уравнения (2) получаем

$$u = -\frac{\rho_o \delta g h^2}{\mu} \frac{\partial h}{\partial r},$$

где  $\mu$  — вязкость нефти.

Подставляя полученное выражение для  $u$  в уравнение (1), находим

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\alpha}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial h^4}{\partial r} \right), \quad (3)$$

где  $\alpha = \rho_o \delta g / (4\mu)$ .

Начальное распределение пленки представим в виде сосредоточенного мгновенного источника:

$$h(r, 0) = 0 \text{ при } r \neq 0, \quad 2\pi \int_0^{\infty} h(r, 0) r dr = V_0 \quad (4)$$

( $V_0$  — начальный объем разлитой нефти). Примем следующее граничное условие:

$$h(\infty, t) = 0, \quad t > 0. \quad (5)$$

Анализ размерностей, выполненный в [3], показывает, что решение задачи (3)–(5) является автомодельным и зависит от величин  $t, r, \alpha, V_0$ . Решение задачи (3)–(5) имеет вид

$$h(r, t) = \psi(t) f(\xi), \quad \xi = r/\varphi(t). \quad (6)$$

Подставляем выражения (6) в (3):

$$\frac{\varphi^2 f}{\alpha \psi^4} \frac{d\psi}{dt} - \frac{\varphi' \varphi \xi}{\alpha \psi^3} \frac{df}{d\xi} = \frac{1}{\xi} \frac{d}{d\xi} \left( \xi \frac{df^4}{d\xi} \right). \quad (7)$$



Из анализа размерностей следует

$$\psi(t) = \left( \frac{V_0}{2\pi\alpha t} \right)^{1/4}; \quad \varphi(t) = \left( \frac{V_0^3 \alpha t}{8\pi^3} \right)^{1/8}.$$

Из уравнения (7) получаем обыкновенное дифференциальное уравнение относительно функции  $f(\xi)$ :

$$\frac{d^2 f^4}{d\xi^2} + \frac{1}{\xi} \frac{df^4}{d\xi} + \frac{\xi}{8} \frac{df}{d\xi} + \frac{f}{4} = 0. \quad (8)$$

Умножая обе части уравнения на величину  $\xi$ , находим уравнение в полных дифференциалах:

$$\frac{d}{d\xi} \left( \xi \frac{df^4}{d\xi} + \frac{\xi^2}{8} f \right) = 0. \quad (9)$$

Из соотношения (4) следует, что

$$2\pi \int_0^{\infty} h(r, t) dr = \text{const} = V_0 \quad (10)$$

при любом значении  $t$ . С учетом условий (4), (6) из выражения (10) получаем

$$\int_0^{\infty} \xi f(\xi) d\xi = 1, \quad f(\infty) = 0. \quad (11)$$

Интегрируем уравнение (9) на отрезке  $(0, \xi)$ :

$$\xi \frac{df^4}{d\xi} + \frac{\xi^2}{8} f = 0,$$

с учетом второго условия (11) имеем общее решение

$$f(\xi) = \begin{cases} \left( \sqrt[3]{\frac{3}{4}} \right) (\xi_0^2 - \xi^2)^{1/3}, & \xi \leq \xi_0, \\ 0, & \xi \geq \xi_0. \end{cases}$$

Используя первое условие в (11), определим константу

$$\frac{\sqrt[3]{3}}{4} \int_0^{\xi_0} \xi (\xi_0^2 - \xi^2)^{1/3} d\xi = 1.$$

Отсюда  $\xi_0 = \frac{4}{\sqrt[8]{162}}.$

Таким образом, решение задачи можно представить в окончательном виде:

$$h(t) = \begin{cases} \frac{\sqrt[3]{3}}{4} \left( \frac{V_0}{2\pi\alpha t} \right)^{1/4} \left( x_0^2 - \frac{r^2}{\left( \frac{V_0^3 \alpha t}{8\pi^3} \right)^{1/4}} \right)^{1/3}, & r \leq r_k(t), \\ 0, & r \geq r_k(t). \end{cases} \quad (12)$$

Из решения (12) следует, что в каждый момент времени нефтяная пленка имеет конечный радиус  $r_k(t)$ , определяемый соотношением

$$r_k(t) = \xi_0 \left( \frac{V_0^3 \alpha t}{8\pi^3} \right)^{1/8}. \quad (13)$$

Для нефтяной пленки максимальной толщины получаем выражение

$$h(0, t) = \frac{\sqrt[3]{3}}{4} \left( \frac{V_0}{2\pi\alpha t} \right)^{1/4} \xi_0^{2/3}. \quad (14)$$

Таким образом, уравнения (12)–(14) можно использовать для прогнозирования размеров и положения нефтяной пленки, образующейся при аварийных разливах нефти в ВС.

#### Литература

- [1] Fay J. A. Physical processes in the spread of oil on a water surface. *Proc. of the Joint conf. prevention and control oil spills*. Washington, Amer. Petrol. Inst., 1971, pp. 463–467.
- [2] Fay J. A. The spread of oil slicks on a calm sea. *Oil on the sea*. N.Y., Plenum Press, 1969, p. 53–63.
- [3] Монин А.С., Красицкий В.П. *Явления на поверхности океана*. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1985.
- [4] [Электрон. ресурс] <http://www.sibran.ru> (дата обращения 23.06.2016).

## Development of Mathematical Model of Distribution of Spilled Oil in the Aquatic Environment

© | Kozhin D.G.  
Novikov V.K.

kozhin.danila@yandex.ru  
vknovikov@yandex.ru

FSFEI HE «MSAWT», Moscow, 117105, Russia

*The report analyzes the approaches for modeling of spreading of oil slicks on the sea surface. A mathematical model with which help it is possible to predict the size and position of the oil slick resulting from the accident.*

**Keywords:** *mathematical model, oil film, water environment, emergency.*

УДК 622.691.4.004 (571.56)

## Необходимость средств снижения риска при эксплуатации магистрального нефтепровода в сложных климатических условиях

© Койда Анжела Григорьевна  
Акатьев Владимир Андреевич

kag22\_94@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлено обоснование необходимости внедрения усовершенствованных технологий, повышающих надежность магистральных нефтепроводов (МН) в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов, посредством анализа существующих методов и средств по снижению риска при эксплуатации магистральных нефтепроводов. Предложено применение средств инженерной защиты, устойчивых к изменениям характеристик грунтов.*

**Ключевые слова:** магистральные нефтепроводы, многолетнемерзлые грунты, риски, надежность нефтепроводов.

При сооружении и эксплуатации трубопроводов в сложных геокриологических условиях возникает ряд вопросов в части определения устойчивости грунтов основания при их взаимодействии с горячими подземными трубопроводами.

В случае, когда трубопровод с горячим продуктом проходит по многолетнемерзлым грунтам (ММГ), происходит их оттаивание и осадка, т. е. перемещение этих грунтов. Таким образом, исходные данные для прочностного расчета постоянно меняются, а сам трубопровод постоянно меняет свое положение в результате перемещений грунта. Скорость и степень таких перемещений определяются теплотехническим расчетом, однако их последствия нигде не оцениваются [1].

Необходимо учитывать, что коэффициент теплопроводности мерзлых грунтов не постоянен и зависит от множества факторов, в частности от температуры. Общепринятые методики позволяют корректно определять коэффициент теплопроводности грунтов не во всем диапазоне температур [2]. Правильное определение теплофизических свойств обеспечивает высокую точность исходных данных и правильность результатов теплотехнических расчетов.

Проведение расчетов важно для оценки влияния возникающих в результате оттаивания осадок на напряженно-деформированное состояние трубопровода и, как следствие, на надежность его эксплуатации [3].

Для возведения сооружений на многолетнемерзлых грунтах необходимо проводить теплотехнические расчеты, с целью выбора режима работы сооружения [4] и, в случае необходимости, выработки защитных мероприятий.

Средства инженерной защиты прежде всего должны удовлетворять трем требованиям: надежности, эффективности и управляемости. В качестве одного из возможных вариантов можно рассмотреть системы температурной стабилизации грунтов (ТСГ). Основным критерием при проектировании систем ТСГ является обеспечение устойчивости нефтепровода как в процессе строительства, так и при эксплуатации. Особое внимание важно уделять надежности сохранения ММГ при возможном выходе систем из работы. В связи с этим должно быть также рассчитано время эксплуа-

тации нефтепровода до достижения им потери устойчивости, в течение которого должны быть восстановлены охлаждающие устройства [5].

### Литература

- [1] Анисимов О.А., Анохин Ю.А., Лавров С.А., Малкова Г.В., Мяч Л.Т., Павлов А.В., Романовский В.А., Стрелецкий Д.А., Холодов А.Л., Шикломанов Н.И. Континентальная многолетняя мерзлота. *Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем* / под ред. С.М. Семенова. Москва, Росгидромет, 2012, с. 301–359.
- [2] СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
- [3] Особенности строительства трубопроводов на вечномёрзлых грунтах. [Электрон. ресурс] [http://cozyhomestead.ru/Stroitelstvo\\_16903.html](http://cozyhomestead.ru/Stroitelstvo_16903.html). (дата обращения 15.05.2017).
- [4] СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах.
- [5] *Системы температурной стабилизации грунтов оснований в криолитозоне: Актуальные вопросы исследований, расчетов, проектирования, производства, строительства, авторского надзора и мониторинга* / науч. ред. Г.М. Долгих; НПО «Фундамент-стройаркос». Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014, 217 с.

## Need of Means of Lowering of Risk in Case of Operation of the Trunk oil Pipeline in Difficult Climatic Conditions

© | Koyda A.G.  
Akatiev V.A.

kag22\_94@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In article reasons for need of implementation of the advanced technologies increasing reliability of trunk oil pipelines in zones of distribution of frozen soil, by means of the analysis of the existing methods and means on lowering of risk in case of operation of trunk oil pipelines are provided. Application of means of the engineering protection steady against changes of characteristics of soil is offered.*

**Keywords:** *trunk oil pipelines, frozen soil, risks, reliability of oil pipelines.*

УДК 502.3 Н-73

## Методика расчета выбросов угольной пыли при перевалке угля в порту

© | Коннов Глеб Владимирович  
Новиков Василий Константинович

gleb@sudo.ru  
vknovikov@yandex.ru

Московская государственная академия водного транспорта — филиал ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, Москва, 117105, Россия

*Предложен метод расчета выбросов угольной пыли в ходе перевалки угля с последующей его модификацией при создании компьютерной программы, способной выполнять расчеты выбросов пыли на территории портово-транспортных терминалов.*

**Ключевые слова:** угольная пыль, перевалка угля, портово-транспортный терминал, метод расчета, компьютерная программа.

Перевалка в морских и речных портах угля сопровождается выбросами в атмосферу твердых аэрозолей (пыли), что приводит к загрязнению прилегающей к портам окружающей среды (ОС). Интенсивность загрязнения ОС зависит от объемов и физико-химических свойств перегружаемого угля, используемого оборудования и технологии, применяемых способов и методов перевалки угля. Наиболее интенсивным запылением сопровождается перевалка угля открытым способом с применением грейферной погрузки, прямой погрузки «вагон — трюм судна», что приводит к повышенному загрязнению атмосферного воздуха твердыми аэрозолями, которые в последующем оседают на прилегающей акватории и почве, создавая угрозу здоровью людей, приводя к деградации растительного и животного мира и т. д.

Угольная пыль при длительном воздействии на организм человека приводит к возникновению хронических пылевых заболеваний легких, оказывает угнетающее воздействие на нервную, сердечно-сосудистую, пищеварительную системы, приводит к нарушению обмена веществ и снижению защитных функций организма.

Все это обуславливает актуальность необходимости проведения специальных исследований по оценке степени загрязненности ОС в порту и прилегающей к нему территории и разработке практических рекомендаций по снижению выбросов пыли в ходе перевалки угля в порту. Первым этапом таких исследований является разработка методики количественной оценки выбросов пыли, чему и посвящен настоящий доклад.

Существуют различные способы расчетов пыления при перегрузке, транспортировке и хранении пылящих грузов, в том числе угля [1–4], каждый из способов учитывает определенные факторы, влияющие на образование и распространение угольной пыли, однако единая система расчета объемов выбросов пыли пока не разработана.

Перевалка угля в порту представляет собой комплексный вид услуг и работ по его перегрузке с одного вида транспорта на другой, в том числе перемещение угля в границах порта и его технологическое накопление, при этом основными причинами образования и выбросов угольной пыли являются следующие технологические процессы (источники пылевыведения) [5, 6]:

- выгрузка угля в порту, например из вагонов ( $M_B$ );
- транспортировка угля конвейерами на территории терминала ( $M_T$ );
- выдувание мелких частиц в процессе хранения ( $M_{\text{выд}}$ );
- погрузка угля на судно ( $M_{\text{п}}$ ).

Общий объем пылевыведения от всех перечисленных источников ( $M_0$ ) может быть рассчитан по следующему соотношению:

$$M_0 = M_B + M_T + M_{\text{выд}} + M_{\text{п}}. \quad (1)$$

Для расчета общего объема выбрасываемой пыли необходимо иметь соответствующий математический аппарат, позволяющий выполнять практические расчеты от каждого из перечисленных источников.

Так на этапе выгрузки угля порталным краном, например из вагона, массу выделяемой пыли можно рассчитать как

$$M_B = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_7 K_8 K_9 B G_{\text{ч}} \cdot 10^6 / 3600, \quad (2)$$

а для валовых выбросов:

$$\Pi_{\text{в}} = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 K_8 B G, \quad (3)$$

где  $K_1$  — весовая доля пылевой фракции в материале. Определяется путем отмывки и просева средней пробы с выделением фракции пыли размером от 0 до 200 мкм;

$K_2$  — доля пыли (от всей весовой пыли), переходящая в аэрозоль. Проверка фактического дисперсного состава пыли и уточнение значения  $K_2$  осуществляется отбором проб запыленного воздуха на границах пылящего объекта (склада) при скорости ветра 2 м/с, дующего в направлении точки отбора пробы.

$K_3$  — коэффициент, учитывающий местные метеоусловия;

$K_4$  — коэффициент, учитывающий местные условия, степень защищенности узла от внешних воздействий, условия пылеобразования;

$K_5$  — коэффициент, учитывающий влажность материала. Под влажностью материала понимается влажность его пылевой и мелкозернистой фракции ( $d \leq 1$  мм);

$K_6$  — коэффициент, учитывающий крупность материала;

$K_7$  — поправочный коэффициент для различных сыпучих материалов в зависимости от типа грейфера;

$K_8$  — поправочный коэффициент при мощном залповом сбросе материала при разгрузке автосамосвала. Принимается равным 0,2 при сбросе угля массой до 10 т, и 0,1 — свыше 10 т.

$K_9$  — выбирают равным 1 для неорганизованных источников;

$B$  — коэффициент, учитывающий высоту пересыпки;

$G_{\text{ч}}$  — суммарное количество перерабатываемого материала в час;

$G_{\text{год}}$  — суммарное количество перерабатываемого материала в течение года. Определяется на основе фактически переработанного материала или планируемого на год.

Масса выбрасываемой пыли при транспортировке угля конвейерами на территории порта можно рассчитать по зависимости

$$M_{\text{п}} = K_3 K_4 K_5 B q_{\text{уд}}^{\text{п}} \Pi_{\text{п}} (1 - \eta) \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где  $q_{\text{уд}}^{\text{п}}$  — удельное выделение твердых частиц с тонны отгружаемого (перегружаемого) угля (принимается равным 3,0 г/т);

$\Pi_{\text{п}}$  — количество отгружаемого (перегружаемого) угля;

$\eta$  — степень улавливания твердых частиц в пылеулавливающей установке, доля единицы — определяется по данным фактических измерений. Если средства пылеподавления не используются, то коэффициент  $\eta$  следует выбрать равным нулю.

Суммарная масса пыли, сдуваемой при транспортировании угля открытым ленточным конвейером, определяется по формуле

$$M_{\text{к}} = 3,6 K_3 K_5 W_{\text{к}} L l \gamma T (1 - \eta), \quad (5)$$

где  $W_{\text{к}}$  — удельная сдуваемость твердых частиц с ленточного конвейера (принимается равной  $3 \cdot 10^{-5}$  кг/(м<sup>2</sup> · с));  $L$  — ширина конвейерной ленты;  $l$  — длина конвейера;  $\gamma$  — коэффициент измельчения горной массы (принимается равным 0,1);  $T$  — годовое количество рабочих часов.

На этапе хранения угля в порту масса выделяемой пыли может быть рассчитана по зависимости

$$M_{\text{хр}} = K_4 K_5 K_6 K_7 q F_{\text{раб}} + K_4 K_5 K_6 K_7 \cdot 0,11 q (F_{\text{пл}} - F_{\text{раб}}) (1 - \eta), \quad (6)$$

а для расчета валовых выбросов:

$$P_{xp} = 0,11 \cdot 8,64 \cdot 10^{-2} K_4 K_5 K_6 K_7 q K_{пл} (1 - \eta) (T - T_d - T_c), \quad (7)$$

где  $M_{xp}$  — удельный выброс вредного вещества (пыли) в процессе хранения материала;  $P_{xp}$  — валовый выброс вредных веществ (пыли) в процессе хранения материала;  $K_6$  — коэффициент, учитывающий профиль поверхности складываемого материала, определяется как отношение  $K_6 = F_{\max}/F_{пл}$ ;  $F_{пл}$  — поверхность пыления в плане;  $F_{\max}$  — фактическая площадь поверхности складываемого угля при максимальном заполнении склада;  $F_{\text{раб}}$  — площадь в плане, на которой систематически производятся погрузочно-разгрузочные работы (не реже 1-го раза в неделю);  $q$  — максимальная удельная сдуваемость пыли, подчиняется степенному закону;  $T$  — общее время хранения угля за рассматриваемый период времени;  $T_c$  — число дней с устойчивым снежным покровом;  $T_d = 2T_d(\text{час})/24$  — число дней с дождем, где  $T_d(\text{час})$  — суммарная продолжительность осадков в виде дождя за рассматриваемый период.

Максимальная удельная сдуваемость пыли ( $q$ ) рассчитывается по соотношению:

$$q = av^b, \quad (8)$$

где  $v$  — скорость ветра;  $a, b$  — эмпирические коэффициенты, зависящие от типа перегружаемого угля.

На этапе загрузки угля на судно масса выделяемой пыли может быть рассчитана по соотношениям (2) и (3).

Изложенный перечень основных математических зависимостей (уравнений) для расчета объема пыли, выделяющейся в ходе перевалки угля в порту, в связи с колоссальным количеством материала, требующего обработки в процессе вычислений, подлежит дополнению и разработки специальной программы, способной существенно облегчить расчеты и повысить достоверность получения конечных результатов.

Такая программа должна включать собственную базу данных, состоящую из стандартных общеизвестных рассчитанных коэффициентов, выбор которых будет зависеть от значений, вводимых в программу данных, а также «постоянных» величин. Данное направление является предметом наших следующих исследований.

### Литература

- [1] Госгортехнадзор России НТЦ «Промышленная безопасность» правила безопасности при обогашении и брикетировании углей (сланцев) ПБ 05-580-03.
- [2] ГОСТ 12.1.016-79. Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ.
- [3] Берлянд М.Е. *Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы*. Ленинград, Гидрометеоздат, 1985, 272 с.
- [4] Берлянд М.Е. *Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы*. Ленинград, Гидрометеоздат, 1975, 448 с.
- [5] Бицадзе А.В. *Уравнения математической физики*. — М.: Наука, 1976, 296 с.
- [6] Типовая инструкция по охране труда при погрузке и разгрузке каменного угля, цемента и других сыпучих материалов ТИ Р М-012-2000.

## The Calculation Methods of Coal Dust Emission of Coal Transshipped and Stored on the Territory of Port and Transport Terminals

© Konnov G.V.  
Novikov V.K.

gleb@sudo.ru  
vknovikov@yandex.ru

FSFEI HE "MSAWT", Moscow, 117105, Russia

*The calculation methods of coal dust emission proposed to use the calculation methods with subsequent modification when creating a computer program capable of performing calculations of emissions during coal transshipment and storage in the territory of port-transport terminals.*

**Keywords:** coal dust, coal handling and storage, port-transport terminal, calculation method, computer program.

УДК 504.53.06

## Разработка блока классификации суспензий для очистки загрязненных почв и донных отложений

© Краева Евгения Максимовна  
Крохина Алина Вадимовна

emkraeva@bstu.ru  
a.krokhina@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*В настоящее время очистка загрязненных почв является важным направлением промышленной экологии. Существует большое количество методов очистки почв. В данной статье проведен анализ основных методов и предложена технологическая схема для очистки загрязненных почв.*

**Ключевые слова:** методы очистки почв, фракционное разделение, охрана почв, флотация, гидроциклон-классификатор.

Проблема поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, в частности в почву, становится все более значимой в условиях производства и использования огромного числа химических веществ. Почвы являются объектом охраны окружающей среды [1]. В связи с этим очистка почв является одним из важных направлений современной промышленной экологии. Основные загрязнители почв на территории России в 2015 г.: тяжелые металлы, фтор, нефтепродукты, сульфаты, нитраты, бенз(а)пирен [2].

По месту обработки почвы или другого загрязненного материала принято различать методы on site (рядом с местом загрязнения, требует изъятие), ex situ (транспортировки на полигоны или специальные площадки и очистные сооружения), in situ (без изъятия загрязненного материала).

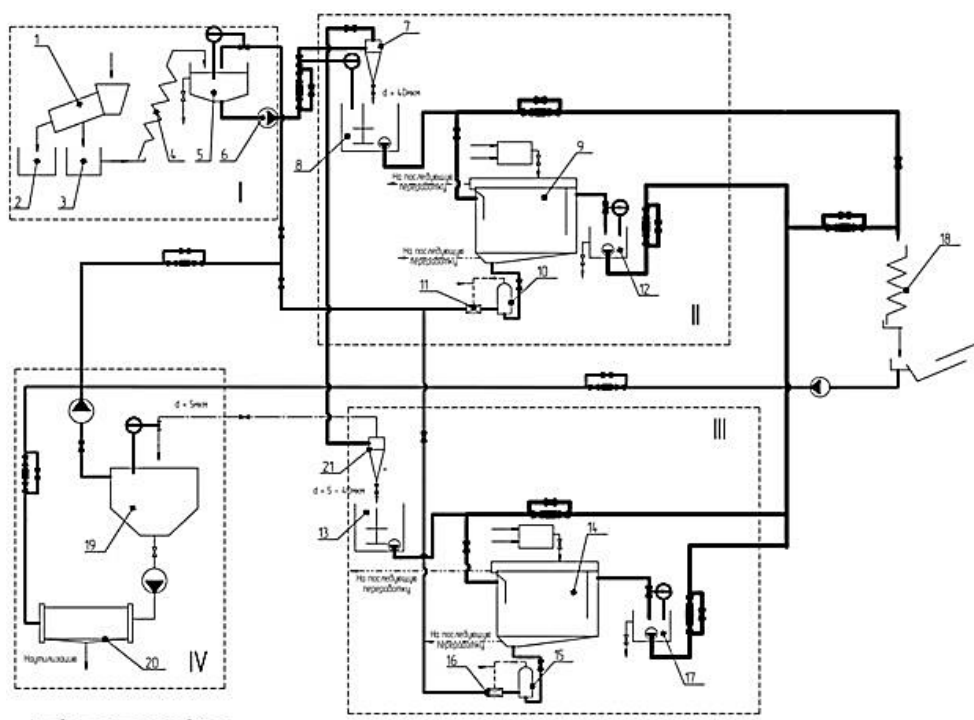


Метод *in situ*, как правило, проще в реализации, однако наиболее оптимальные условия для удаления загрязнений могут быть обеспечены при использовании способа *ex situ* [3].

Поскольку все виды почв являются полидисперсной системой, имеющиеся в ней загрязнения различного характера распределяются неравномерно, для очистки почвы от загрязнений необходимо провести фракционное разделение.

Были рассмотрены и проанализированы существующие схемы очистки почв [3–6]. Исходя из перечисленных недостатков схем, был предложен блок классификатора суспензий для очистки загрязненных почв и донных отложений (см. рисунок):

- в основе каждой схемы лежит один метод очистки, в реальных условиях в качестве метода очистки не может быть использован какой-либо один метод, необходимо использование комплексного подхода;
- не все схемы содержат этап фракционного разделения;
- почти все установки направлены на очистку только от одного вида загрязнения.



Технологическая схема блока для очистки почвы и донных отложений:

*I* — модуль механического разделения и выгрузки крупной породы; *II* — модуль предварительной классификации и выгрузки низкодисперсной фракции; *III* — модуль флуктуационной очистки; *IV* — фильтрация и выгрузка высокодисперсной фракции; 1 — грохот, 2 — емкость для крупной породы, 3 — емкость для очищаемой породы, 4 — шнековый транспортер, 5 — вертикальный аппарат с перемешивающим устройством, 6 — насос, 7 — гидроциклон, 8 — бак-усреднитель, 9 — напорный флотатор, 10 — сатуратор, 11 — инжектор, 12 — бак-накопитель, 13 — обезвоживание разделенной фракции, 14 — отстойник, 15 — пресс-фильтр

После загрузки исходной фракции в грохот *I* проводится ее механическое разделение с удалением крупной породы. Оставшаяся часть поступает на приготовление суспензии *5* в мешалку. После суспензия поступает в секцию гидроциклонов-классификаторов *7* модуля предварительной классификации *II*. Наиболее тяжелая фракция размером более 40 мкм направляется на флотационную секцию *9*, после прохождения, которой поступает на обезвоживание *18*, а дисперсионная среда возвращается для повторного использования. Мелкодисперсная фракция направляется классификаторами в секцию гидроциклонов. Разделяемая суспензия направляется как в секцию флотационной очистки *14* с диаметром частиц более 5 мкм, так и модуль фильтрования и выгрузки высокодисперсной фракции *IV* с диаметром частиц менее 5 мкм.

### Литература

- [1] *Федеральный закон «Об охране окружающей среды»* от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ. АО «Кодекс», 2002.
- [2] *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году»* от 28 декабря 2016 г.
- [3] Кузнецов А.Е., Чеботаева М.В., Энгельхарт М., Градова Н.Б., ЛУшников С.В., Вайссер Т. *Прикладная экобиотехнология: учеб. пособие*. Москва, БИНОМ, Лаборатория знаний, 2013.
- [4] Jungyo J., wan Hyup K., Kangsuk K., Junghee Ch. *System and method for remediating contaminated soil by separation of highly contaminated coarse soil*, United States Patent Application 20140321916, B09C1/02. Publ. date 30.10.2014.
- [5] Михейкин С.В., Зезин А.Б., Рогачева В.Б. *Способ очистки почв и грунтов от радионуклидов и тяжелых металлов*. Пат. 2275974 РФ. Заявл .20.01.2004. Оpubл 10.05.2006. Бюл № 13, 14 с.
- [6] Ксенофонтов Б.С. *Способ очистки почвы и грунтов*. Пат. № 2326748 РФ. Заявл. 10.10.2007. Оpubл. 20.06.2008. Бюл № 17, 5 с.

## Development of Mobile Classification Unit Suspensions for the Purification of Contaminated Soils and Sediments

© Krokhhina A.V.  
Kraeva E.M.

emkraeva@bstu.ru  
a.krokhhina@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Multipurpose plant is designed and constructed to effectively purify soils contaminated with heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and oil products. The principle of the method utilizes the difference in grain sizes and density of the materials and separates the different fractions by means of screens, hydro cyclones classification. The capacity of the plant is 2-3 m<sup>3</sup>/hr.*

**Keywords:** soil treatment, wastes, fractionation, hydrocyclone, flotation machine.

УДК 628.16

## Проектирование обратноосмотической установки модульного типа

© | Краснова Наталья Андреевна  
Гречушкин Андрей Николаевич

krassnova.n@gmail.com  
e9@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Предложен вариант модульной обратноосмотической установки, которая позволяет упростить и ускорить процесс проведения монтажных работ. В конструкцию установки включены линии подмеса и рециркуляции, предусмотрен ввод ингибитора и кислоты.*

**Ключевые слова:** *обратноосмотическая установка, модульная установка, мембранная очистка, обратный осмос.*

В настоящее время все более широкое распространение в качестве аппаратов для водоподготовки получают обратноосмотические установки, отличающиеся простотой конструкции аппарата и его монтажа, высокой эффективностью в совокупности с малыми габаритными размерами и относительно малыми энергозатратами, простотой эксплуатации [1].

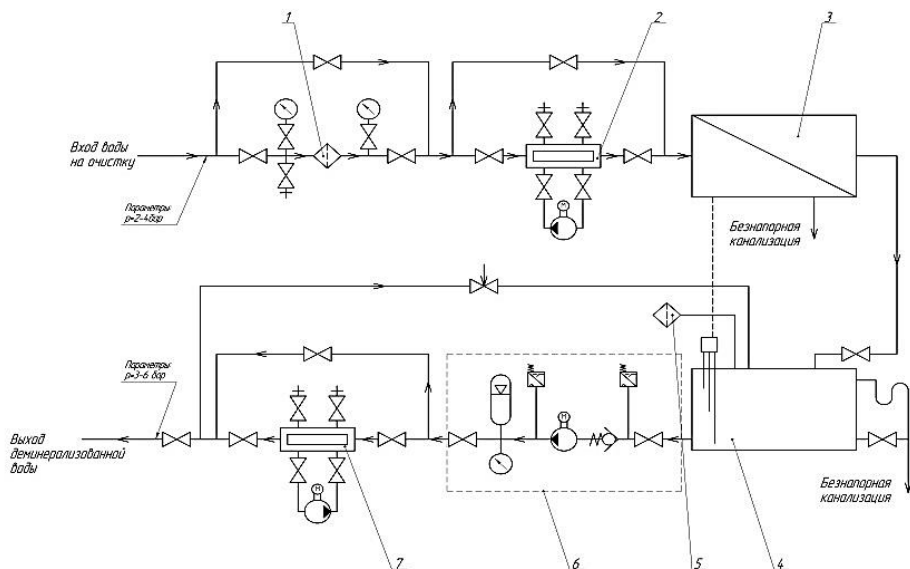
Многие компании предлагают услуги по проектированию систем водоподготовки с использованием обратноосмотических мембран. Однако при монтаже установки очистки воды каждый ее элемент монтируется отдельно, что занимает достаточно длительное время. В связи с этим неизбежно возник вопрос об усовершенствовании конструкционного оформления установки для упрощения и ускорения процесса проведения монтажных работ. Данная проблема может быть решена посредством создания установки модульного типа, которая представляет из себя раму с уже предустановленным оборудованием, необходимым для очистки воды.

В данной работе разработана система очистки воды от ионов фтора (концентрация в исходной воде — 2,67 мг/л) для снабжения поселка питьевой водой производительностью не менее 0,8 м<sup>3</sup>/ч (суточная производительность не менее 16 м<sup>3</sup>/сут). Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 максимально допустимое содержание фторидов в воде составляет 1,5 мг/л [2]. Оптимальное содержание фторидов в питьевой воде колеблется от 0,6 до 1,2 мг/л [3].

Учитывая небольшое превышение норматива по фторид-ионам, достаточно малый расход обрабатываемой воды, нейтральный рН очищаемой воды, в качестве аппарата очистки выбрана обратноосмотическая установка с высокоселективными мембранами.

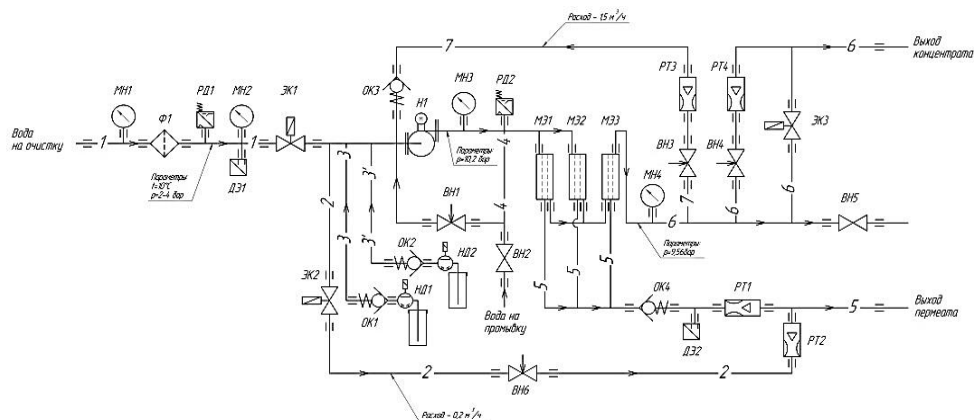
Чтобы обеспечить бесперебойную работу мембран перед подачей воды на обратноосмотическую установку, воду пропускают через сетчатый фильтр для удержания крупных частиц (например, окалины) и через систему ультрафиолетового обеззараживания (рис. 1). По показаниям манометров, установленных до фильтра и после него, можно судить о степени загрязнения сетчатого фильтра. После прохождения через обратноосмотическую установку вода подается в резервуар чистой воды (РЧВ), который оснащен аварийным переливом с коленом, сливом для промывки РЧВ, воз-

душным фильтром для исключения возможности попадания пыли, системой контроля уровня воды. После РЧВ с помощью насосной станции после прохождения через систему ультрафиолетового обеззараживания, вода подается потребителю.



**Рис. 1.** Схема водоподготовки:

1 — сетчатый фильтр (фильтр предварительной очистки); 2, 7 — установка ультрафиолетового обеззараживания воды; 3 — обратноосмотическая установка; 4 — резервуар чистой воды; 5 — воздушный фильтр; 6 — насосная станция



**Рис. 2.** Схема обратноосмотической установки:

1-1 — очищаемая вода; 2-2 — линия подмеса, 3-3 — ввод ингибитора; 3'-3' — ввод соляной кислоты HCl; 4-4 — подача воды на промывку; 5-5 — выход пермеата; 6-6 — выход концентрата; 7-7 — рециркуляция

Дефторирование проводят в обратноосмотической установке (рис. 2), которая состоит из картриджного фильтра, трех мембранных элементов с высокоселективными мембранами, электронасоса. Так как обратный осмос удаляет из воды и полезные

вещества, крайне необходимые для здоровья человека, например, соли кальция, магния, натрия и проч., организована линия подмеса 2–2, благодаря которой пермеат ( $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) смешивается с частью исходной воды ( $0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Для увеличения скорости на входе в мембранные элементы, спроектирована линия подмеса части концентрата ( $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Для того чтобы снизить скорость осадкообразования на мембранах, предусмотрен ввод ингибитора и соляной кислоты  $\text{HCl}$  20 % ( $0,391 \text{ л/ч}$ ). Для размещения насосов-дозаторов в раме предусмотрены специальные площадки. Показания приборов выводятся на приборную панель в передней части установки (рис. 3).

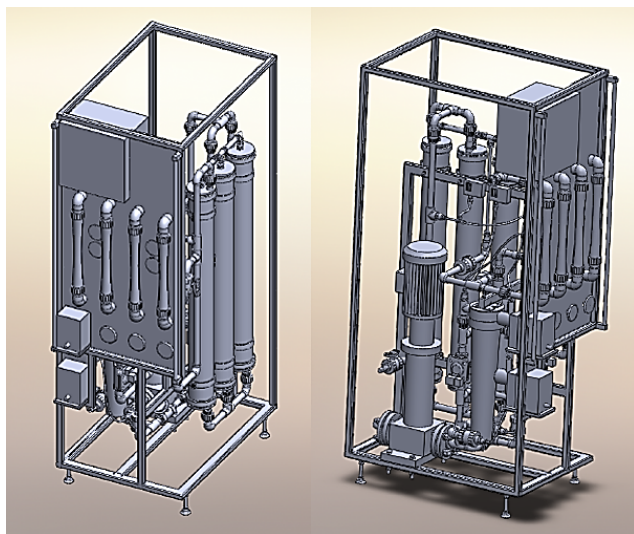


Рис. 3. Внешний вид установки

Все оборудование монтируется в единую раму так, чтобы оно не заходило за ее границы, что обеспечивает его сохранность при транспортировке. Монтаж установки будет заключаться в установке рамы на месте и подключении оборудования к системе водоснабжения, что значительно сократит время и упростит процесс выполнения монтажных работ.

#### Литература

- [1] Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: учеб. пособие для вузов. Москва, Издательство Моск. ун-та, 1996, 680 с.
- [2] Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества», Москва, 2002.
- [3] Водоподготовка: справочник. Под ред. С.Е. Беликова. Москва, Аква-Терм, 2007, 240 с.

## Designing Modular Reverse Osmosis Unit

© Krasnova N.A.  
Grechushkin A.N.

krassnova.n@gmail.com  
e9@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In this article, a variant of a modular reverse osmosis unit is proposed. The unit makes it possible to simplify and speed up the installation process. The structure of the unit includes the lines of admixture and recirculation, also inhibitor and acid inputs are provided.*

**Keywords:** reverse osmosis unit, modular unit, reverse osmosis, membrane technology.

УДК 699.81

## Обзор технических решений по обеспечению пожарной безопасности высотных сооружений

© Кузнецова Полина Вадимовна  
Акатьев Владимир Андреевич

polly.vadimovna@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены некоторые технические решения по обеспечению пожарной безопасности уникальных высотных сооружений. Предложены меры по обеспечению пожарной безопасности высотных зданий.*

**Ключевые слова:** обеспечение пожарной безопасности, высотные здания, высотки.

К высотным зданиям в Российской Федерации принято относить здания высотой более 75 м (25 этажей и выше) [1]. Высотные здания в мегаполисах возводятся в виде комплексов сооружений. Такие комплексы позволяют решить проблему нехватки свободной земли под застройку в крупных городах и дают возможность инвесторам получить максимальную прибыль с минимальной территории, но создают новую проблему, связанную с обеспечением противопожарных разрывов и эвакуационных подъездов.

Одной из главных проблем является обеспечение пожарной безопасности высотных зданий. За период с 2011 по 2015 г. в России зарегистрировано 90 пожаров в «высотках», 44 из которых приходятся на жилые высотные здания [2]. Основные причины возникновения пожаров — неосторожное обращение с огнем и нарушение правил установки и эксплуатации электрооборудования, а основные причины гибели людей — воздействие высокой температуры при пожаре и отравление токсичными продуктами горения.

Обеспечение пожарной безопасности высотного здания, в соответствии с жизненным циклом здания (комплекса зданий), начинается на этапах его проектирования и строительства. Повышенная пожарная опасность «высоток» характеризуется быст-

рым распространением пожара по вертикали. Вертикальная планировка объекта и естественная тяга воздушных потоков способствуют быстрому развитию пожара с преимущественным распространением его вверх и быстрому возрастанию температуры, способной привести к потере прочности и устойчивости несущих конструкций. Более того, сложность обеспечения эвакуации, по причине блокирования путей эвакуации продуктами горения и самим огнем, трудные условия для действий пожарно-спасательных подразделений, а также дефицит или отсутствие техники для доступа на этажи выше 100 м влекут за собой повышенную вероятность наступления неблагоприятных последствий [3].

В настоящий момент, на федеральном уровне, отсутствует единая нормативная база по обеспечению пожарной безопасности высоток. Основными документами для руководства при проектировании и строительстве зданий служат Федеральный закон № 123 [4], Московские городские строительные нормы (МГСН) 4.19-2005 [5], Свод правил (СП) [6] и стандарты организаций (СТО) [7, 8].

Одной из главных проблем, возникающей при пожарах в «высотках», является низкая огнестойкость конструкций. В соответствии с Федеральным законом [4], степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков, «должна устанавливаться в зависимости от их этажности, класса функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов». Рекомендуется отнести высотные здания к классу I, так как в эту группу входят объекты, являющиеся наиболее безопасными в плане возможности возникновения и распространения пожара. В подтверждение, приводятся основные показатели обстановки с пожарами в Российской Федерации в 2015 г. в зданиях различной степени огнестойкости (рис. 1, 2).

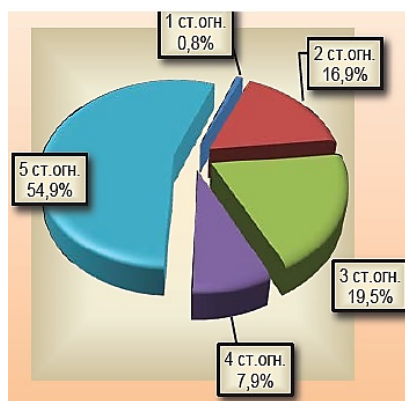


Рис. 1. Количество пожаров в России в 2015 г.

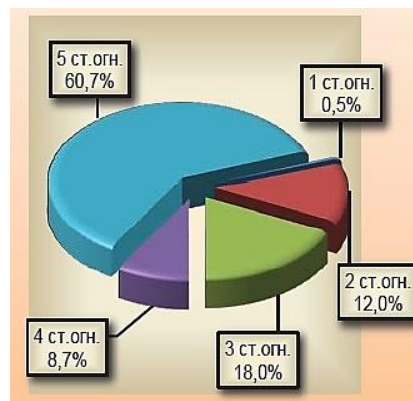


Рис. 2. Количество погибших во время пожаров в 2015 г.

Все внешние стены зданий должны быть выполнены из синтетического или натурального камня, пористого или армированного бетона. Перекрытия должны выполняться из плит или других негорючих материалов. Характерной особенностью при возникновении пожара является большая скорость распространения дыма на верхние этажи по лестничным клеткам, достигающая 7...8 м/мин по данным исследований [9]. Параллельно, под воздействием высоких температур, выходит из строя

система управления лифтами, в результате чего, блокируются пути эвакуации и люди, оказавшись взаперти, погибают от отравления токсичными газами, что подтверждает статистика [2]. Также статистика свидетельствует, что 80 % людей погибает еще до прибытия пожарных подразделений.

Для решения данной проблемы необходимо оборудовать зоны спасения, с пределом ограждающих конструкций не менее 300 м, где могли бы укрыться до прибытия пожарных люди. Данные зоны нужно оборудовать системой дымоудаления и автономными лифтами.

В нормативных документах по обеспечению пожарной безопасности отсутствуют конкретные требования к фасадным системам. В соответствии с Федеральным законом [4] указывается, что «не допускается выполнять отделку внешних поверхностей наружных стен горючими материалами, а фасадные системы не должны распространять горение», но данное требование не связано с этажностью зданий, а также не регламентирует возможность использования всех видов строительных материалов, даже в сочетании с негорючими покрытиями. В данном случае рекомендуется разработка отдельного технического регламента для фасадных систем и включение ранжирования в соответствии с высотными характеристиками зданий.

Недостаточная проработка вопроса обеспечения пожарной безопасности фасадных систем может повлечь за собой тяжелые последствия. Примером служит пожар в Шанхае [10], унесший жизни 58 человек, более 70 оказались пострадавшими. Причиной возгорания на 28-этажной «высотке» стали нарушения при проведении сварочных работ, которые выполняли рабочие, не имеющие лицензии. Искры вызвали случайное воспламенение пенополиуретана, используемого для изоляции наружных стен здания. Вследствие возгорания, произошло быстрое разрушение остекления проемов по всей высоте наружных ограждений здания, распространение пламени по горючим материалам фасадов и через отверстия в перекрытиях. Подобная ситуация произошла в ЖК «Олимп» города Грозный [11], когда во внешней стороне здания загорелся утеплитель. Огонь охватил все этажи «высотки», кроме первого, однако, к счастью, пострадавших не оказалось.

В Федеральном законе [4] представлены требования к способам оповещения людей о пожаре и управлению эвакуацией, но, к сожалению, отсутствует требование к использованию системы обнаружения людей. Даная система предусматривается в МЧСН [5], но, в силу отсутствия единой нормативной базы федерального уровня, не является обязательной. Данная система предназначена для получения информации о наличии людей в различных зонах здания и организации их экстренной эвакуации. Рекомендуется внести данную систему обнаружения в указанный закон [4], в целях сокращения времени на поиски людей и обеспечения возможности экстренной связи, облегчив тем самым работу спасателей и увеличив вероятность сохранения жизни и здоровья людей.

В заключение, необходимо отметить, что именно формирование эффективной нормативной базы по обеспечению пожарной безопасности «высоток» и предложение новых технических решений способствует предупреждению возникновения пожаров и является залогом эффективного проведения спасательных операций на высотных зданиях и сооружениях.

### Литература

- [1] СП 1.13130.2009. Свод правил «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».



- [2] Пожары и пожарная безопасность в 2015 г.: статистический сборник / под ред. А.В. Матюшина. Москва, ВНИИПО, 2016, 124 с.
- [3] Акатьев В.А., Сошенко М.В. *Отчет о НИР* «Разработка научно-технических основ обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях в учебных зданиях повышенной этажности в высотных сооружениях» [Электрон. ресурс] <http://elibrary.ru/item.asp?id=23072703> (дата обращения 27.05.2017).
- [4] Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008. Принят Государственной Думой 4 июля 2008 г., одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г. № 123-ФЗ (последняя редакция).
- [5] МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве [Электрон. ресурс] <http://docs.cntd.ru/document/1200042296> (дата обращения 01.06.2017).
- [6] СП 253.1325800.2016 «Инженерные системы высотных зданий» (Приказ Минстроя России от 3 августа 2016 г. № 542/пр) [Электрон. ресурс] <http://www.minstroyrf.ru/docs/12541/> (дата обращения 01.06.2017).
- [7] СТО 01422789-001-2009. «Проектирование высотных зданий». Москва, ЦНИИЭП жилища.
- [8] СТО НОСТРОЙ 2.35.73–2012. «Инженерные сети высотных зданий. Системы обеспечения комплексной безопасности высотных зданий и сооружений». Москва, Издательство «БСТ», 2014.
- [9] Гвоздев Е.В., Ключев Е.А. Совершенствование мероприятий тушения пожаров в зданиях повышенной этажности. Научные и образовательные проблемы гражданской защиты [Электрон. ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-meropriyatiy-tusheniya-pozharov-v-zdaniyah-povyshennoy-etazhnosti> (дата обращения 01.06.2017).
- [10] 2010 Shanghai fire [Электрон. ресурс] [https://en.wikipedia.org/wiki/2010\\_Shanghai\\_fire](https://en.wikipedia.org/wiki/2010_Shanghai_fire) (дата обращения 01.06.2017).
- [11] В Грозном сгорел самый высокий небоскреб Чечни [Электрон. ресурс] [http://www.topnews.ru/news\\_id\\_57268.html](http://www.topnews.ru/news_id_57268.html) (дата обращения 01.06.2017).

## Overview of Recommendations on Ensuring Fire Security of High-Rise Buildings

© | Kuznetsova P.V.  
Akatiev V.A.

[polly.vadimovna@gmail.com](mailto:polly.vadimovna@gmail.com)

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article deals with some technical solutions in ensuring fire safety of unique high-rise buildings. The article puts forward measures for fire safety of tall buildings.*

**Keywords:** *ensuring fire safety, high-rise buildings, skyscrapers.*

УДК 574:621.311.22.002.5:621.18

## Система очистки артезианской воды с обеспечением питьевого качества

© Куран Александра Михайловна  
Макальский Леонид Михайлович

K\_aleksandra95@mail.ru

Национальный исследовательский университет  
«Московский энергетический университет», Москва, 111116, Россия

*Рассмотрен новый подход к системе очистки воды и обеспечению питьевого качества, который позволит на выходе получить воду, пригодную для хозяйственного водопользования, сохраняющую свои полезные элементы, но в то же время не будет содержать вредных веществ, бактерий и инфекций. Описана система очистки, состоящая из трех этапов. Показаны преимущества использования такой системы.*

**Ключевые слова:** артезианская вода, скважина, ионный обмен, смола, газовый разряд, бактерии, фильтр, система очистки.

В загородном доме при обработке воды из скважины система очистки должна быть компактной и максимально эффективной. Самые перспективные методы очистки воды — ионообменный и газоразрядный.

Мы рассматриваем систему очистки, состоящую из двух установок: ионообменный фильтр со встроенным механическим фильтром и электроразрядная установка. Система очистки с ионообменным фильтром происходит в два этапа:

*первый* — механическая очистка воды от крупных взвешенных твердых примесей диаметром больше 20 мкм с использованием картриджного фильтра;

*второй* — вода проходит через слой запатентованного ионообменного фильтрующего материала (ионообменная смола), который обладает способностью эффективно очищать воду одновременно от жесткости, железа, марганца и некоторых других загрязнений.

Принцип обеззараживания с помощью газоразрядных методов следующий. При электрическом разряде в среде паров воды и кислорода образуются радикалы  $\text{OH}^-$  и  $\text{H}^+$ , а также озон. Радикалы  $\text{H}^+$  превращаются в радикалы  $\text{OH}^-$ , и в газовой фазе формируют радикалы  $\text{OH}^-$  и  $\text{HO}_2$ , которые взаимодействуют с озоном, превращаются один в другой. Основную роль при взаимодействиях с примесями воды играют гидроксильные радикалы.

При электрическом разряде в среде кислорода или воздуха в газовой фазе создается большая концентрация озона, так что активные частицы, образующиеся при электрическом разряде, взаимодействуют с водой и ее включениями, от взаимодействия атомов водорода с озоном образуются радикалы  $\text{OH}^-$ , поэтому в присутствии кислорода в разряде образуются только окислительные частицы, которые влияют на водородный показатель экспериментального раствора [1–3].

Применяют также излучения. Ультрафиолетовое и сверхвысокочастотное излучения способствуют появлению озона  $\text{O}_3$ , гидроксила  $\text{OH}$ , перекиси водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , которые очищают воду от вредных бактерий органических и неорганических включений.

Преимущество лавино-стримерного разряда перед простым озонированием состоит в том, что установка использует только электрическую энергию от сети 220 В, потребляет малую мощность (менее 1 кВт) и процессы очистки воды протекают непрерывно. Показано, что вред от присутствия озона, излучений можно свести к минимальному. Лавинно-стримерный разряд является комплексным приемом обеззараживания воды.

Авторами был выбран ионообменный фильтр, где реагентом выступает обычная таблетированная поваренная соль, работающий эффективно, имеющий минимальные стоимостные показатели.

#### Литература

- [1] [Электрон. ресурс] <http://profilters.ru/printcip-raboty> (дата обращения 11.06.2016).
- [2] Смирнов Б.М. *Введение в физику плазмы*. Москва, Наука, 1982, 176 с.
- [3] Максимов А.И. Хлюстова А.В., Трошенкова С.В. Влияние тлеющего разряда на кислотность растворов электролитов. *Электронная обработка материалов*, 2004, № 6, с. 31–35.

## The System of Purification of Artesian Water of Potable Quality

© | Kuran A.M.  
Makalskiy L.M.

K\_aleksandra95@mail.ru

Federal State Budgetary educational institution of higher professional education national Research University "MPEI", Moscow, 111116, Russia

*This paper considers a new approach to water purification system and ensuring potable quality that will allow the output to obtain water, suitable for domestic water uses, which will save your useful items, but at the same time, will not contain harmful substances, bacteria and infections. The report describes the purification system, consisting of three stages. Advantages of using such a system.*

**Keywords:** artesian water, wells, ion exchange resin, gas discharge, bacteria, filter cleaning system.

УДК 620.262

## Анализ риска эксплуатации объектов транспортировки сжиженного природного газа

© | Лебская Татьяна Алексеевна  
Таранов Роман Александрович

Tatiana95@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Проблема обеспечения безопасности объектов транспортировки сжиженных газов на сегодняшний день актуальна в связи с увеличением аварий, происходящих в процессе перевозки и хранения опасных грузов, которые влекут за собой тяжелые по-*

следствия. В работе проведен анализ риска аварий и чрезвычайных ситуаций при эксплуатации контейнер-цистерны для транспортировки сжиженного природного газа, и показана необходимость разработки методов повышения безопасности рассматриваемого объекта.

**Ключевые слова:** авария, риск, контейнер-цистерна, сжиженный природный газ.

Объекты нефтегазового комплекса, в том числе и контейнер-цистерны для транспортировки сжиженного природного газа (далее — СПГ), являются опасными производственными объектами, так как это связано с присутствием пожаровзрывоопасных продуктов, а значит, представляют значительную угрозу для населения и окружающей природной среды [1].

Все это указывает на необходимость оценки рисков с целью обеспечения высокого уровня надежности и безопасности объектов транспортировки сжиженных газов и разработки эффективных методов по предотвращению возникновения аварий, чрезвычайных ситуаций (далее — ЧС), а также несчастных случаев, в том числе со смертельным исходом и ликвидации их последствий.

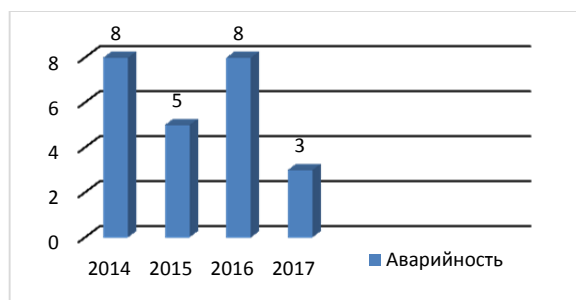
В соответствии со стандартом [2] СПГ относится ко 2-му классу опасности, хранится и транспортируется при сверхнизких температурах при атмосферном давлении в герметичных сосудах, цистернах и изотермических хранилищах, обеспечивающих минимальные потери продукта [3].

Главная угроза и возможность нанесения максимального ущерба объектами транспортировки газа для прилегающих производственных объектов, работающего персонала и населения связаны, прежде всего, с перекачкой газа в цистерны на площадках добычи, с процессом транспортировки газа, а также на станциях регазификации.

Основными причинами возникновения аварий и ЧС могут послужить:

- ошибки персонала при выполнении регламентных и аварийных действий;
- отказы сигнализации и блокировок, а также средств локализации аварий (сбросных клапанов);
- брак строительно-монтажных работ;
- коррозионные разрушения стенок сосудов и трубопроводов;
- природные явления.

Следует отметить, что на протяжении последних лет процент аварийности при эксплуатации контейнер-цистерн остается на высоком уровне, что отражает приведенная статистика (рис. 1).



**Рис. 1.** Статистика количества аварий в период с 2014 по 2017 г. при эксплуатации контейнер-цистерн

Были определены основные факторы, приводящие к отказу системы, соответственно, и к авариям:

- выход параметров за критические значения;
- коррозионный, механический износ, внешние повреждения аппаратуры;
- воздушная ударная волна;
- тепловое излучение от настильной струи горящего газа;
- тепловое излучение горящих разлитий и огненного шара.

Основной вклад в аварийность на рассматриваемых объектах вносят механические повреждения контейнер-цистерн, большинство из которых связано с организационными причинами. Такие повреждения происходят по вине организаций и лиц, не связанных с эксплуатацией контейнер-цистерн, и обусловлены низким уровнем организации эксплуатации, выражающимся в отсутствии контроля над техническим состоянием цистерн и дополнительного оборудования, некачественным техническим обслуживанием.

На основе анализа произошедших аварий и литературы [4, 5] составлено «дерево отказов» для резервуара (рис. 2).

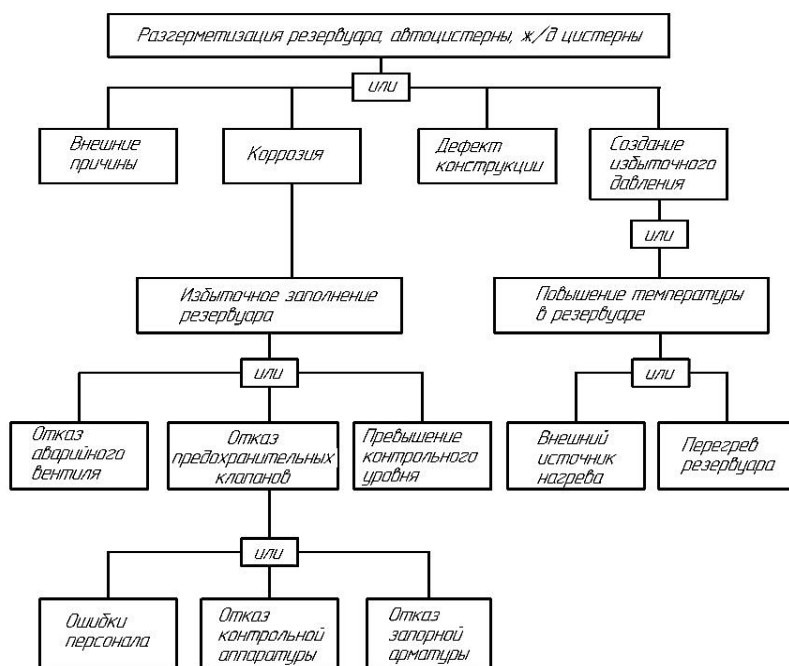


Рис. 2. «Дерево отказов» на станции заправки, связанное с разгерметизацией контейнер-цистерны

С использованием «дерева отказов» была оценена вероятность отказа системы, которая составила  $10^{-4}$  в год. Вероятность аварии на станции заправки составила  $10^{-5}$ . Далее было построено «дерево исходов», моделирующее возможные сценарии возникновения аварийной ситуации, построенного для случая разгерметизации автоцистерны в момент заправки СПГ (рис. 3).

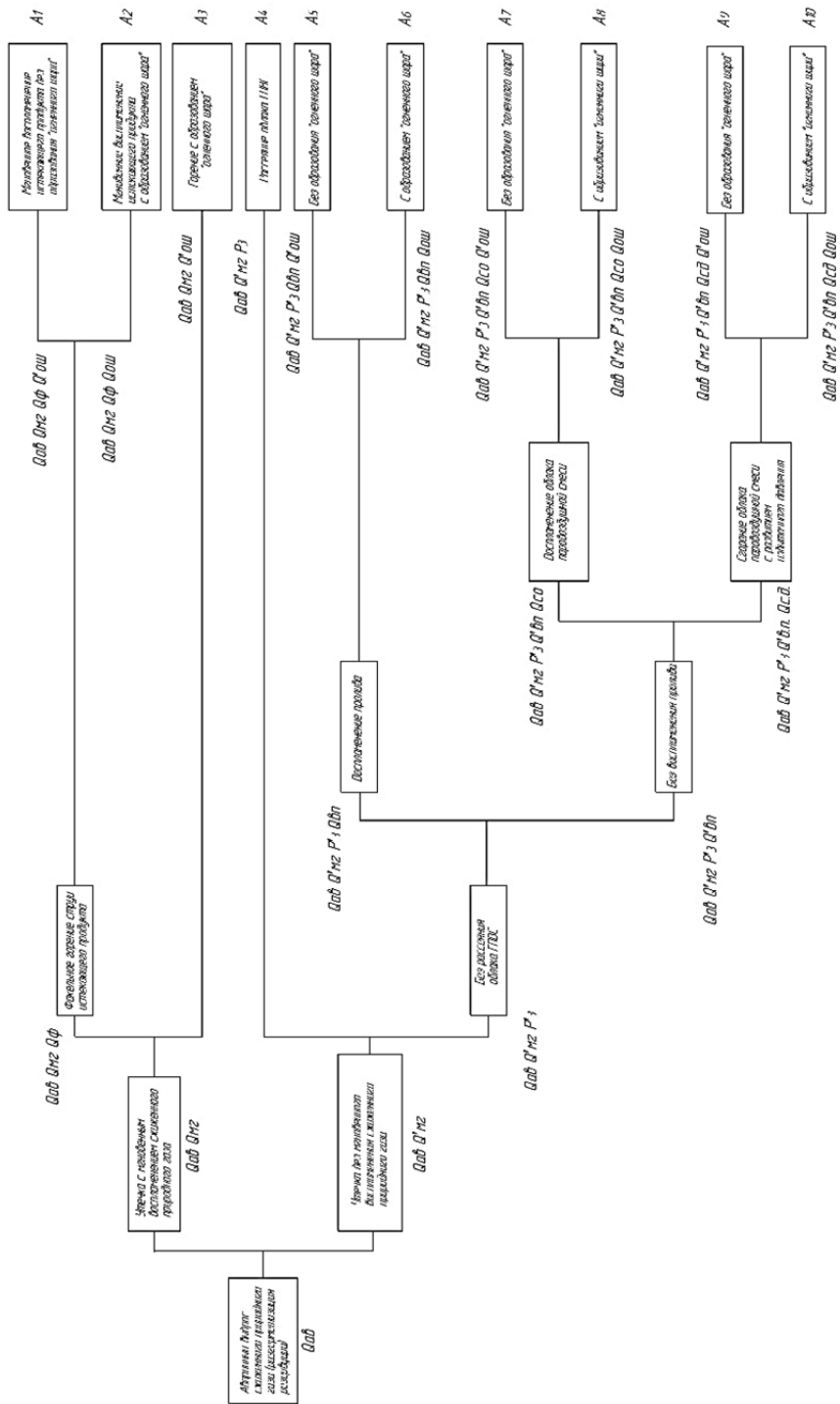


Рис. 3. «Дерево событий» при разгерметизации автоцистерны в момент заправки СПГ

По результатам расчета вероятностей каждого сценария развития аварии на основании приказа МЧС России от 10.07.2009 № 404 [6] наиболее опасным является сценарий, когда авария происходит с мгновенным выбросом продукта и образованием «огненного шара» ( $A_3$ ). Вероятность составляет  $Q(A_3) = 0,0025 \text{ год}^{-1}$ .

С учетом полученных результатов можно сделать вывод о необходимости обеспечения более высокого уровня безопасности и надежности контейнер-цистерн путем принятия мер по снижению вероятности отказа объекта, недопущению развития определенного сценария аварийной ситуации, которая может повлечь за собой поражение людей и загрязнение окружающей среды.

### Литература

- [1] Махутов Н.А. Оценки и прогнозирование стратегических рисков в техногенной сфере. *Управление рисками. Специальный выпуск*, 2002, с. 59–65.
- [2] *ГОСТ 19433–88*. Грузы опасные. Классификация и маркировка.
- [3] Акатьев В.А. *Основы взрывопожаробезопасности*: учеб. пособие. Москва, Изд-во РГСУ, 2008, 552 с.
- [4] Шебеко Ю.Н., Шевчук А.П., Колосов В.А., Смолин И.М., Брилев Д.Р. Оценка индивидуального и социального риска аварий с пожарами и взрывами для наружных технологических установок. *Пожаровзрывобезопасность*, 1995, т. 4, № 1, с. 21–29.
- [5] Белов П.Г. *Управление рисками, системный анализ и моделирование: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры*. Москва, Издательство Юрайт, 2014, 728 с.
- [6] Приказ от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах». *Собрание законодательства Российской Федерации*, 2009, № 52, ст. 1752.

## Risk Analysis of Liquefied Natural Gas Transportation Facilities

© | Lebskaya T.A.  
Taranov R.A.

Tatiana95@mail.ru

BMSTU, Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The problem of ensuring the safety of liquefied natural gas transportation facilities is particularly actual today, due to the increase in accidents during the transportation and storage of dangerous goods, which have serious consequences. The article analyzed the risk of accidents and emergencies during the operation of a tank container for the transport of liquefied natural gas, and the author present and explain the need to develop methods to improve the safety of the object in question.*

**Keywords:** *accident, risk, tank container, liquefied natural gas.*

УДК 621.644.07

## Показатели аварийности на Российских и Европейских нефтегазопроводах

© Лисанов Александр Михайлович  
Лисанов Михаил Вячеславович

alexlisanov@safety.ru

Автономная некоммерческая организация «Агентство исследований промышленных рисков», Москва, 105082, Россия

*Предметом доклада является аварийность на магистральных трубопроводах нефти и газа. В целях разработки мер по предупреждению аварий и обеспечению безопасности необходимо проводить анализ аварийности. Доклад посвящен сравнению отечественных и зарубежных данных по аварийности на магистральных трубопроводах нефти и газа. По результатам работы были разработаны такие предложения, как проведение более детального сбора и анализа данных по аварийности путем расширения количества причин и факторов, в том числе указание общего числа пострадавших, диаметра, толщины стенки трубопровода, объема утечки, и потерь перекачиваемого продукта (включая врезки), срок эксплуатации, месторасположение трубопровода.*

**Ключевые слова:** *трубопровод, нефть, газ, аварийность, инцидент, анализ риска, ущерб, объем утечки, разлив, выброс.*

Трубопроводный транспорт является наиболее экономически выгодным и эффективным видом транспорта нефти и газа. Трубопроводы могут быть безопасными и экологичными, если их эксплуатируют в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов по безопасности. Однако, в случае отклонений от установленных режимов работы и нарушений национальных и международных стандартов по безопасности, они могут приводить к авариям, представляющим большую угрозу для населения, окружающей среды и имущества. Наиболее распространенными причинами аварий на трубопроводах являются коррозия, внешние воздействия и ошибки персонала.

Анализ аварийности является одной из основных процедур анализа причин аварий и инцидентов в целях разработки мер по предупреждению аварий, а также совершенствования методов анализа риска. В работе были проанализированы данные аварийности на сухопутных нефтегазовых трубопроводных системах России [1] и Европы, содержащаяся в отчетах трех зарубежных организаций:

- Европейской группы по сбору данных об авариях на газопроводах — EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group ([www.egig.nl](http://www.egig.nl))) [2];
- Ассоциации операторов магистральных сухопутных газопроводов Великобритании — UKOPA (United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association ([www.ukopa.co.uk](http://www.ukopa.co.uk))) [3];
- Ассоциации операторов западно-европейских магистральных нефтепроводов — CONCAWE (CONservation of Clean Air and Water in Europe, <https://www.concawe.eu/publications>) [4].

Зарубежные базы данных учитывают значительно больше факторов аварийности, например такие, как диаметр трубопровода, размер аварийного отверстия, рабо-



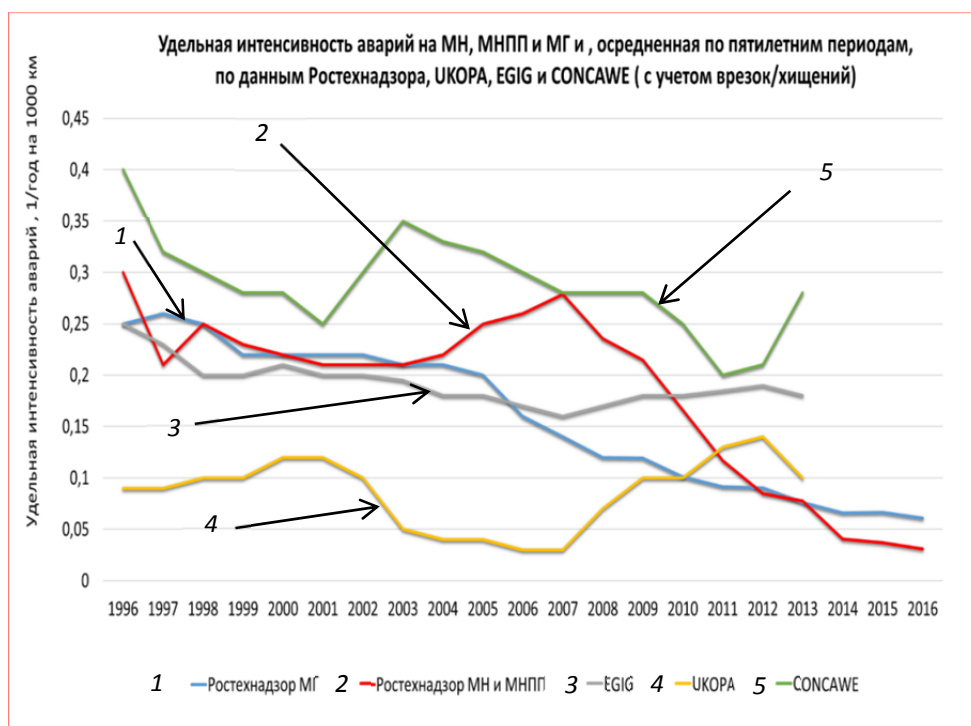
чее давление в трубопроводе, толщина стенки, год строительства, местность прокладки трубопровода, глубина заложения.

Отметим, что в США при анализе аварийности на трубопроводах выделяют так называемые существенные инциденты, т. е. инциденты, которые включают любые из следующих условий [5]:

- инцидент со смертельным исходом или с травмой, которая требует госпитализации пациента;
- \$ 50,000 или более общих расходов, которые были соотнесены к уровню инфляции с 1984 г.;
- сброс жидких веществ с высокой летучестью 5 баррелей или более, или же другие сбросы жидких веществ 50 баррелей или более;
- сброс жидких веществ, в результате которого произошел непреднамеренный пожар или взрыв.

Основными показателями аварийности на магистральных трубопроводах являются число аварий в год и интенсивность аварий  $\lambda$  (удельная аварийность), выражаемая количеством аварий за год на единицу длины трассы (на 1000 км), а также количество несчастных случаев, связанных с эксплуатацией трубопроводов.

На рисунке представлены сравнения удельных интенсивностей аварий по данным Российских и зарубежных отчетов с 1996 по 2016 г.



Удельная интенсивность аварий  $\lambda$  по данным Ростехнадзора, UKOPA, EGIG и CONCAWE

В целом можно сделать вывод, что показатели аварийности на магистральных трубопроводах в России и в Европе находятся примерно на одинаковом уровне. Ос-

новой причиной аварий являются внешние воздействия, особенно в последние годы обострилась проблема врезок в трубопроводы с целью хищения нефти. Актуальной проблемой является то, что Ростехнадзор учитывает недостаточное количество факторов, влияющих на аварийность, по сравнению с зарубежными базами данных, особенно следует обратить внимание на учет врезок в трубопроводы и потерь перекачиваемого продукта.

На основании исследования в целях развития риск-ориентированного подхода в надзоре за объектами трубопроводного транспорта предлагается в рамках сбора и анализа данных по аварийности расширить количество учитываемых факторов аварийности, в том числе указание общего количества пострадавших, диаметра, толщины стенки, размера дефектного отверстия, объема утечки и потерь перекачиваемого продукта, количества аварий по причине врезок с целью хищения нефти срока эксплуатации, месторасположения трубопровода.

### Литература

- [1] *Годовые отчеты* о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: [http://www.gosnadzor.ru/osnovnaya\\_deyatelnost\\_otchetny](http://www.gosnadzor.ru/osnovnaya_deyatelnost_otchetny) (дата обращения 23.06.2016).
- [2] *9th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group* (period 1970 — 2013), February 2015 [Электрон. ресурс] [www.egig.nl](http://www.egig.nl) (дата обращения 24.06.2016).
- [3] *Report of the UKOPA Fault Database Management Group* [Электрон. ресурс] [www.ukopa.co.uk](http://www.ukopa.co.uk) (дата обращения 23.07.2016).
- [4] *Performance of European cross-country oil pipelines*. Statistical summary of reported spillages in 2014 and since 1971 [Электрон. ресурс] <https://www.concawe.eu/publications> (дата обращения 23.06.2016).
- [5] [Электрон. ресурс] <https://www.phmsa.dot.gov/pipeline/library/data-stats> (дата обращения 23.04.2016).

## The Accident Rates in the Russian and European Oil and Gas Pipelines

© | Lisanov A.M.

[alexlisanov@safety.ru](mailto:alexlisanov@safety.ru)

| Lisanov M.V. еславович

Autonomous nonprofit organization "Agency for research of industrial risks",  
Moscow, 105082, Russia

*The subject of the report is the number of accidents on trunk pipelines of oil and gas. In order to develop measures for the prevention of accidents and security necessary to carry out analysis of accidents. The report focuses on the comparison of domestic and foreign data on accident rates in main pipelines of oil and gas. The results of the work have been developed such proposals, as conduct more detailed collection and analysis of data on accident risks by expanding the number of reasons and factors, including specifying the total number of victims, diameter, wall thickness, amount of leakage and loss of product being pumped (including the frame), period of operation, the location of the pipeline.*

**Keywords:** pipeline, oil, gas, accident, incident, hazard analysis, damage, leakage, spill, emission.

УДК 504.75.05

## Влияние климатических изменений на состояние здоровья населения города Москвы

©	Локтионов Олег Александрович	LoktionovOA@yandex.ru
	Чувирова Светлана Андреевна	salvation_01@mail.ru
	Щербачева Ольга Сергеевна	Sherbacheva92@mail.ru
	Кондратьева Ольга Евгеньевна	KondratyevaOYe@mpei.ru

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, 111250, Россия

*Наблюдаемый положительный тренд выбросов парниковых газов оказывает серьезное влияние на состояние здоровья населения города Москвы. В данной работе рассмотрено воздействие факторов климатической среды на показатель смертности населения, а также описаны возможные отклонения в состоянии здоровья людей. Проведенный анализ позволит в дальнейшем разработать перечень адаптационных мероприятий, снижающих воздействие факторов климатической природы.*

**Ключевые слова:** промышленная экология, выбросы парниковых газов, климатические изменения, здоровье населения, показатель смертности.

В настоящее время проблема здоровья людей, связанная с изменением климата, рассматривается на одном уровне с традиционными факторами риска индустриальной эпохи, такими как загрязнение атмосферного воздуха и питьевой воды, курение, наркотические вещества и др. [1]. Человеческая деятельность оказывает серьезное воздействие на глобальный климат.

На территории Москвы в 2016 г. функционировало свыше 470 предприятий, на которых зарегистрировано более 30 тыс. стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, причем более 50 % массы всех выбросов приходится на предприятия по производству и распределению электроэнергии, газа и воды. Аналогичная ситуация наблюдается и по всей стране, в среднем за последние 5 лет в России на энергетическую промышленность и промышленное производство пришлось ~71 % всех выбросов парниковых газов (61 и 10 %), транспортный сектор имеет вклад ~17 %, а другие отрасли производства 12 %. Выбросы CO<sub>2</sub> от сектора энергетики преобладали и составили 68,4 %, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O в эквиваленте CO<sub>2</sub> составили 31,3 и 0,3 % соответственно [2].

Климатические изменения оказывают комплексное влияние на человека. Проведенные в работе исследования наличия взаимосвязей между климатическими факторами и здоровьем населения показали, что первостепенное воздействие спровоцировано экстремальностью климата, а именно:

- увеличением числа дней с экстремально высокими и низкими температурами;
- увеличением количества дней с резкими перепадами температур;
- увеличением количества дней с опасными и неблагоприятными метеорологическими явлениями.

Второстепенное воздействие связано с увеличением частоты повышенных уровней загрязнения воздуха при аномальных метеоусловиях и стабильным положительным трендом среднегодовой температуры.

Приведенные выводы основаны на статистических данных: все больше людей умирает во время периодов чрезмерной жары, примером выступает соотношение между количеством дней с экстремальными температурами летом 2010 г. (июль — август) и аномальной жарой летом данного года. В связи с продолжительной волной «жары» в регионе, которая составила почти 60 % по времени (37 из 62 дней), общая смертность выросла, в среднем, на 11 %, или 10,5 тыс. случаев. Согласно [3], увеличение максимальной среднесуточной температуры на 10 % по сравнению с климатической нормой приводит к росту общей смертности на 8 %. Кроме того, высокий вклад на состояние людей оказывают местные изменения в температуре и количестве осадков, которые изменили характер распространения некоторых болезней, передаваемых через воду и переносчиков инфекции. Интенсивные кратковременные колебания погоды воздействуют на здоровье, вызывая тепловой стресс или чрезмерное охлаждение. Все указанные факторы повышают риск смертности от любых типов заболеваний.

В результате проведенного в работе анализа было выявлено, что наибольшему риску подвержены следующие группы населения:

- дети младшего возраста;
- люди пенсионного возраста;
- лица, профессиональная деятельность которых связана с пребыванием на открытом воздухе;
- люди, живущие и работающие в «островах тепла».

Таким образом, для оценки влияния климатических изменений на здоровье человека необходима разработка интегрального показателя, позволяющего учитывать влияние совокупности факторов климатического характера. Воздействия связанных с климатом экстремальных явлений включают изменение экосистем, причинение ущерба инфраструктуре и населенным пунктам, увеличение показателя смертности, возникновение с высокой вероятностью увечий и болезней, а также последствия для психического здоровья и благосостояния людей.

### Литература

- [1] Ревич Б.А. Климатические изменения как новый фактор риска для здоровья населения российского севера, Экология человека, 2009, № 06, с. 11–16.
- [2] Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по городу Москве. Население. Основные показатели [Электрон. ресурс] [http://moscow.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/moscow/ru/statistics/population/](http://moscow.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/moscow/ru/statistics/population/) (дата обращения 30.03.2017).
- [3] Ревич Б.А. Изменение здоровья населения России в условиях меняющегося климата. *Проблемы прогнозирования*, 2008, № 3, с. 140–150.

## The impact of CLIMATE change on the Health of the Population of Moscow

© | Loktionov O.A.  
Chuvirova S.A.  
Scherbacheva O.S.  
Kondrateva O.E.

LoktionovOA@yandex.ru  
salvation\_01@mail.ru  
Sherbacheva92@mail.ru  
KondratyevaOYe@mpei.ru

National Research University "MPEI", Moscow, 111250, Russia

*The observed positive trend of greenhouse gas emissions has a serious impact on the health of the population of Moscow. In this paper, the impact of climate environment factors on*

*the mortality rate of the population is considered, and possible deviations in the state of human health are described. The analysis will allow to develop in the future a list of adaptation measures that reduce the impact of climatic factors.*

**Keywords:** *industrial ecology, greenhouse gas emissions, climate changes, population health, mortality rate.*

УДК 614.8.027

## **Анализ опасностей на предприятиях по производству авиационных двигателей**

© | Мартынова Евгения Владимировна<sup>1</sup>      Martynova\_jane@mail.ru  
| Калайдов Александр Николаевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> Академия государственной противопожарной службы МЧС РФ, Москва, 129366, Россия

*Процесс производства авиационных двигателей несет в себе ряд опасностей. В статье приведен обзор процесса, с последующим рассмотрением рисков.*

**Ключевые слова:** *опасность, двигатель, авиация, производство, безопасность, риск.*

По состоянию на начало 2017 г. разработкой и серийным производством авиадвигателей занимаются более 20 российских предприятий, расположенных главным образом в крупных промышленных центрах [1].

На сегодняшний день в законодательно-правовой базе государства существует для отрасли авиационного машиностроения Специальный технический регламент, в котором прописаны не только технические требования к выпускаемой продукции, но и требования к обеспечению безопасности персонала.

Разработчики и изготовители авиационной техники должны внедрять системы производственного контроля безопасности условий труда и оценки рисков причинения вреда жизни и здоровья человека для авиационного персонала при разработке, производстве, ремонте и испытаниях авиационной техники и согласовать системы контроля с органами государственного надзора в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [2].

Производство авиационного двигателя — это науко- и трудоемкий процесс. В него входят литейное производство, химико-термическая обработка, механическая обработка, процесс сборки, процесс испытания.

Процесс литья происходит в специально оборудованных цехах, на этом этапе получают заготовки деталей или же сами детали заливкой расплавленного металла в рабочую полость литейной формы. Далее металл в форме затвердевает и охлаждается. В итоге формируются геометрическая форма, размеры, качество поверхности, микроструктура, а также главные физико-механические свойства изделия.

Одновременное термическое и химическое воздействие на металл происходит с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя обрабатываемо-

го материала, которому подвергаются изделия из различных сортов металла для получения упрочнения поверхностных слоев этих материалов, изменения физико-химических и других свойств.

Есть два варианта механического воздействия. Первый из них заключается в снятии верхнего слоя с рабочей поверхности, а во втором варианте материал никак не повреждается при первичном воздействии, его можно лишь прессовать, штамповать, ковать, прокатывать. Основные виды механической обработки металлов для придания необходимого размера и формы изделию — это работы по точению, фрезерованию, строганию, шлифованию и сверлению.

Технологический процесс сборки — заключительный и наиболее ответственный этап производства авиационного двигателя. От качества сборки зависит успешность испытаний, надежность при эксплуатации, ресурс машины. В сборочном цехе отдельные детали и узлы становятся цельным двигателем. Собранные на разных участках цеха крупные модули стыкуются сборщиками в единое целое. На стапелях устанавливают модули компрессорной части двигателя (высокого и низкого давлений), к ним присоединяют модуль турбины. Конечным этапом сборки является установка редукторов с топливо-регулирующими агрегатами, коммуникаций, электрооборудования и навесных агрегатов.

Испытание авиационного двигателя — заключительный и очень важный этап в процессе производства. В специальном цехе происходят испытания на стендах, которые оснащены передовыми автоматизированными системами управления технологическими процессам. По итогам испытаний все сведения поступают в компьютерную базу данных для последующего хранения. Данная процедура может занимать по времени несколько суток.

Исходя из перечисленных выше процессов производства авиационных двигателей, можно сказать, что они могут привести к ряду чрезвычайных ситуаций.

В цехах химико-термической обработки происходит нитроцементация стали (процесс насыщения поверхности стали одновременно углеродом и азотом при 700...950 °С в газовой среде, состоящей из науглероживающего газа и аммиака) и цианирование (процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали одновременно углеродом и азотом при температурах 820...950° С в расплаве цианида натрия). При несоблюдении правил техники безопасности или износе оборудования может произойти выброс паров аммиака в окружающую среду.

Аммиак относится к группе веществ, у которых критическая температура выше, а температура кипения ниже температуры окружающей среды. При разгерметизации емкостей с жидкостями данной категории процесс образования газовых облаков зависит от условий хранения аварийно химически опасных веществ (АХОВ). Аммиак хранят в жидкой фазе в емкости под высоким давлением и при температуре выше температуры кипения, но ниже температуры окружающей среды, т. е. при разгерметизации емкости часть веществ испарится, образуя первичное облако паров АХОВ [3].

Следующую опасность представляет цех по испытанию авиационного двигателя. В связи с неисправностью рабочего оборудования, нарушением технологического процесса, а также человеческой ошибки может произойти взрыв двигателя. Самым сильным поражающим фактором взрыва является воздушная ударная волна. Ее источник — высокое давление и температура в точке взрыва. Самое опасное в ударной волне — это огромная скорость перемещения воздуха, превышающая 100 м/с.

В заключение можно сказать, что в ходе работы была обнаружена недостаточность анализа возможных рисков на предприятиях по производству авиационных

двигателей, которые несут в себе опасность не только для сотрудников, но и для всех жителей близлежащих домов, из-за отсутствия санитарной зоны вокруг завода. Исходя из этого необходимо обосновать комплекс мер, который будет предусматривать повышение безопасности предприятий по производству авиационных двигателей.

### Литература

- [1] Специальный технический регламент «Об обеспечении безопасности авиационной техники при ее разработке, производстве, ремонте и испытаниях» [Электрон. ресурс] <http://www.cntd.ru/458202817.html> (дата обращения 23.05.17).
- [2] *Научный вклад в создание авиационных двигателей* / под ред. В.А.Скибина, В.И. Солонина. Москва, Машиностроение, 2000, 725 с.
- [3] Красногорская Н.Н., Цвиленева Н.Ю., Хамитов Р.З. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях техногенного характера: учеб. пособие. Уфа, УГАТУ, 1998, 107 с.

## Hazard Analysis at the Enterprises for Production of Aircraft Engines

© | Martynova E.V.<sup>1</sup>  
Kalaidov A.N.<sup>2</sup>

Martynova\_jane@mail.ru

<sup>1</sup>BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup>Academy of state fire service of EMERCOM RF, Moscow, 129366, Russia

*The process of production of aircraft engines carries a number of dangers. The article made an overview of the process, with subsequent consideration of risk.*

**Keywords:** *danger, jet, aviation, manufacturing, safety, risk.*

УДК 504.4.054

## Оценка жизненного цикла диклофенака в акватории озера Кадагно

| Маюрова Александра Сергеевна  
Кустикова Марина Александровна

Shushka96@gmail.com  
marinakustikova@mail.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, 197101, Россия

*Рассмотрены различные естественные процессы вымывания диклофенака из меромиктического озера Кадагно. Было рассчитано время полураспада диклофенака в летнее время с использованием модели поведения органических соединений в меромиктических озерах. Озеро Кадагно является редким примером креногенного меромиксиса.*

**Ключевые слова:** *диклофенак, озеро Кадагно, биологически активные вещества, фотолит, постоянная скорости первого порядка.*

В последнее десятилетие возрастает беспокойство по поводу сбросов биологически активных веществ из очистных сооружений. Широкое распространение этих соединений достигается за счет медицинского использования человеком и попадания в водоемы со стоками сельскохозяйственных, промышленных и муниципальных вод (в том числе очищенных) [1]. Концентрации лекарственных препаратов (ЛП) в водной среде зависят от многих факторов, таких как количество потребляемого вещества, скорость метаболизма человека, его биоразлагаемость и физико-химические свойства [2]. Иногда концентрация ЛП слишком мала, чтобы ее можно было обнаружить, но это не означает, что этим пренебречь.

Лекарственные вещества создаются для того, чтобы оказывать влияние на живые организмы, и они часто не разлагаются при вторичной обработке стандартных очистных сооружений. Фармацевтический препарат диклофенак (2-[(2,6-дихлорфенил)амино]бензолуксусная кислоты) часто обнаруживается в реках и озерах в Швейцарии. Доказано, что он попадает в воду из очистных сооружений после использования людьми в медицинских целях [3]. Озеро Кадагно находится в итальянской части Швейцарии, и является одним из нескольких меромиктических озер в Европе. Из-за строгого разделения гипolimниона и эпилимниона озеро является объектом множества научных исследований. Концентрация диклофенака в этом озере составляет 12 нг/л [3].

Целью данной работы является расчет времени полураспада диклофенака в озере Кадагно, которое имеет следующие основные характеристики озера Кадагно:

- концентрация диклофенака в озере — 12 нг/л;
- общий объем воды — 2,420,000 м<sup>3</sup>;
- средняя глубина — 9,3 м;
- максимальная глубина — 21 м;
- объем эпилимниона — 1,800,000 м<sup>3</sup>;
- объем гипolimниона — 620,000 м<sup>3</sup>;
- высота термоклина — 8 м;
- площадь термоклина — 145,800 м<sup>2</sup>;
- коэффициент турбулентной диффузии — 1 м<sup>2</sup>/д;
- площадь поверхности — 260,000 м<sup>2</sup>;
- фракция органического углерода — 0,41;
- соотношение фаз твердых частиц и воды — 4,9 мг/л.

Основные характеристики диклофенака приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Основные характеристики диклофенака**

Молярная масса, г/моль	Коэффициент равновесия вода — воздух	Коэффициент сорбции органического углерода, м <sup>3</sup> · кг <sup>-1</sup> <sub>ос</sub>	Коэффициент равновесия октанола и воды	Коэффициент распределения растворов коллоидного и органического углерода, м <sup>3</sup> · кг <sup>-1</sup> <sub>doc</sub>
296,14	-9,3428(log)	3,5943(log)	3,87(log)	3,3478(log)

Для расчета времени полураспада диклофенака необходимо рассчитать постоянную скорости первого порядка для всех процессов, которые могут происходить в меромиктическом озере: седиментация, переход из воды в воздух, вымывание, турбулентный обмен, фотолит и гидролиз, реакции замещения и элиминации [3]. Все процессы рассматриваются для двухуровневой модели меромиктического озера.



Известно, что фотолиз является наиболее подходящим процессом для удаления диклофенака из воды [4]. В данной работе фотолиз рассчитывали для глубины воды 1 м в течение летнего периода. Данные оценки приведены в табл. 2 для различных длин волн, подходящей для диклофенака.

Таблица 2

Данные из оценки времени полураспада диклофенака

$\lambda$ , нм	$W_0$ (24h), мЭ см <sup>2</sup> · сут	$W$ (24h), мЭ см <sup>2</sup> · сут	$I_0$ , мкВт см <sup>2</sup> · м	$I$ , мкВт см <sup>2</sup> · м	$\alpha$ , см <sup>-1</sup>	$\alpha_D$ , см <sup>-1</sup>	$S$	$k_{a0}$ , Э моль · сут	$k_a$ , Э моль · сут
290	1,17E-02	1,07E-04	0,05	0,001	0,0340	0,0408	0,2113	2,2205	0,4692
295	1,19E-02	2,01E-04	0,06	0,002	0,0295	0,0355	0,2411	3,3357	0,8044
300	1,21E-02	5,11E-04	0,7	0,05	0,0229	0,0275	0,3028	5,6440	1,7090
305	1,23E-02	7,78E-04	2	0,2	0,0200	0,0240	0,3395	5,3703	1,8230
310	1,25E-02	1,29E-03	10	1,5	0,0165	0,0198	0,3946	5,1499	2,0323
315	1,27E-02	1,85E-03	15	3	0,0140	0,0168	0,4432	4,3324	1,9202
320	1,29E-02	2,68E-03	26	7	0,0114	0,0137	0,5041	2,5890	1,3052
325	1,31E-02	5,20E-03	32,5	15	0,0067	0,0081	0,6523	0,0000	0,0000

Расчет времени полураспада диклофенака:

$$\Phi = 0,22;$$

$$\alpha = \frac{I_0}{I} \cdot 1 \text{ м};$$

$$\alpha_D = \alpha \cdot 1,2;$$

$$S = \frac{1 - 10^{-(1,2)\alpha(\lambda)z_{\text{mix}}}}{2,3 \cdot 1,2 \cdot z_{\text{mix}} \alpha(\lambda)};$$

$$k_{a0} = 2,3W_0 \cdot 1,2 / W;$$

$$k_a = k_{a0}S;$$

$$k_p = \sum k_a \Phi = 2,213 \text{ сут}^{-1};$$

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k_p} = 0,31 \text{ сут} = 7,5 \text{ ч},$$

где  $\lambda$  — длина волны;  $W$  и  $I$  — интенсивность излучения при разных  $\lambda$  в разных единицах измерения;  $\alpha$  — коэффициент поглощения при разных  $\lambda$ ,  $\alpha_D$  — диффузный коэффициент поглощения при разных  $\lambda$ ;  $S$  — экранирующий фактор;  $k_{a0}$  — приповерхностная удельная скорость поглощения света;  $k_a$  — удельная скорость поглощения света;  $z_{\text{mix}}$  — глубина;  $\Phi$  — квантовый выход;  $k_D$  — постоянная скорости первого порядка;  $\tau_{1/2}$  — время полураспада.

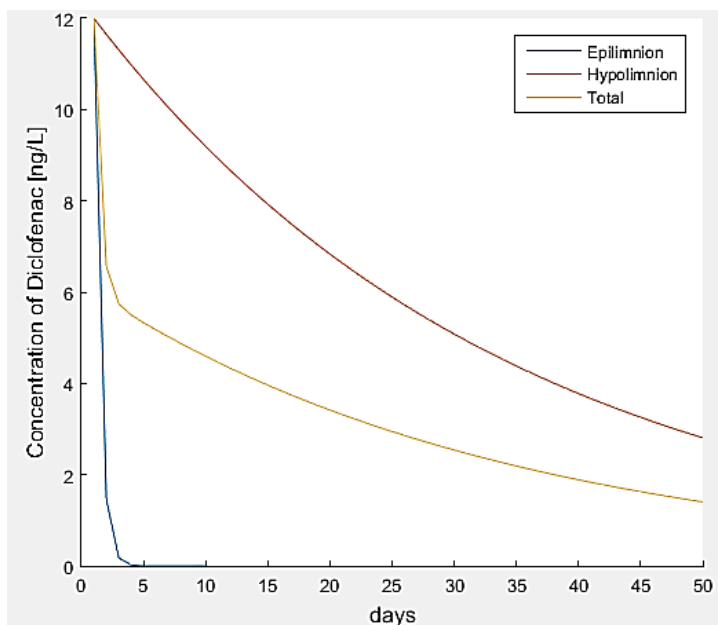
Таким образом, время полураспада диклофенака летом составляет 7,5 ч. В данной работе также были оценены постоянные скорости первого порядка для всех процессов. Результаты приведены в табл. 3.

Модель вымывания диклофенака из озера Кадагно представлена на рисунке.

Таблица 3

**Постоянные скорости первого порядка для всех процессов**

Процесс	$\tau_{1/2}$ сут
Седиментация	1464,5
Переход из воды в воздух	84 000 000
Вымывание	37,7
Турбулентный обмен	46,6
Фотолиз	0,3



Модель вымывания диклофенака из озера Кадагно

Реакции замещения и элиминации невозможны в случае с диклофенаком, так как химическая формула данного вещества не позволяет выделить замещаемую группу. Гидролиз также можно не рассматривать, так как молекула уже содержит гидроксильную группу.

Вымывание диклофенака путем естественной деградации зависит также от нескольких дополнительных параметров, таких как глубина воды и эвтрофикация.

**Литература**

- [1] Dietrich D.R., Webb S.F., Petry T. *Hot spot pollutants: pharmaceuticals in the environment*. Academic Press Inc, 2004, 325 p.

- [2] Некрасова Л., Русских Я. Одновременное определение ряда лекарственных соединений методом жидкостной хроматографии — масс-спектрометрии высокого разрешения. *Научно-технический журнал «Аналитика»*, 2012, вып. 3, с. 38–44.
- [3] Schwarzenbach R.P., Gschwend P.M. *Environmental Organic Chemistry*, 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2003, 1285 p.
- [4] Poiger T., Buser H.-R. Photodegradation of the pharmaceutical drug diclofenac in a lake: Pathway, field measurements, and mathematical modeling. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, vol. 20, no. 2, pp. 256–263.

## Assessment of Dichlofenac Life-Cycle in the Lake Cadagno

Maiurova A.S.  
Kustikova M.A.

Shushka96@gmail.com  
marinakustikova@mail.ru

ITMO University, Saint-Petersburg, 197101, Russia

*Various natural processes of diclofenac elimination from the meromictic Lake Cadagno are considered in the work. The half-life of diclofenac in summer was calculated using the behavior model of organic compounds in meromictic lakes. Lake Cadagno is a rare example of a cryogenic meromixis.*

**Keywords:** *diclofenac, Lake Cadagno, biologically active substances, photolysis, first-order rate constant.*

УДК 614.8

## Вопросы оптимизации укрытия населения в условиях современного города

© Загребина Екатерина Ильдусовна  
Миназетдинов Тагир Фаридович

iei2004@mail.ru  
tagir.minazetdinov@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева — КАИ, Казань, 420111, Россия

*Рассмотрена актуальность и важность проведения инженерных мероприятий при организации защиты населения в чрезвычайных ситуациях. Предложен вариант оптимизации укрытия в мирное время.*

**Ключевые слова:** *безопасность, защита, опасность, оптимизация, укрытие.*

Анализ различной литературы в рамках ранее проведенного исследования показал, что в последние годы уделяется недостаточно внимания такому способу защиты населения от современных военных средств поражения, от крупномасштабных чрезвычайных ситуаций, вызванных авариями на химически и радиационно опасных объектах, взрывами и пожарами, как укрытие персонала предприятий и населения городов в защитных сооружениях [1].

На сегодняшний день в целях сокращения стоимости строительства из проектов исключаются или выполняется в сокращенном виде специальный раздел по инженерно-техническим мероприятиям гражданской обороны. Практически не ведется строительство защитных сооружений гражданской обороны.

С целью совершенствования и оптимизации инженерной защиты, в первую очередь, стоит уточнить все вопросы, связанные с построением списка показателей безопасности и риска конкретного объекта, территории. Необходимо учитывать, что аспекты безопасности каждого региона или города имеют свои специфические особенности. Оптимизация, в отличие от обычного сравнения вариантов, предполагает рассмотрение всех решений, попадающих в область допустимых значений параметров.

Правильный выбор критериев обеспечения безопасности играет существенную роль в выборе оптимального решения. Главная идея метода оптимизации критериев состоит в том, что комбинирование лучших сторон известных альтернатив может привести к более эффективному решению. Это актуально для принятия решения в ситуациях, где традиционные методы выработки альтернатив не дают или же не могут дать приемлемых результатов.

Во-первых, применение метода оптимизации критериев дает полный перечень желаемых конечных результатов, т. е. критериев, называемых «критериями для конструирования» [2]. Критерии для конструирования альтернатив создают стимулы и задают направления для креативного выдвижения идей. Например, укрытие населения — на 100 %, затраты на переоборудование — приемлемые для бюджета, расстояние до укрытия — минимальное.

Во-вторых, рассматривается по очереди каждый критерий и конструируются «идеальные» решения по достижению конечного желаемого результата. На данном этапе не оценивается никакая альтернатива, руководствуются принципом — какова альтернатива, которая идеально отвечает данному критерию? Такой процесс повторяется для каждого критерия до тех пор, пока не будут определены оптимальные критерии (идеи). Свобода выработки идей повышает вероятность выдвижения компонентов, которые войдут в окончательное инновационное решение. Например:

- укрытие населения на 100 % — переоборудование подвальных и других заглубленных помещений, оповещение населения о местах укрытий;
- затраты на переоборудование — приемлемые для бюджета — рациональное рассредоточение населения в укрытиях (выяснится необходимость переоборудования или не переоборудования подвальных и других заглубленных помещений), выделение финансовых средств из нескольких источников;
- минимальное расстояние до укрытия — переоборудование подвальных и других заглубленных помещений вблизи мест проживания населения (идеальный вариант — это в каждом жилом доме) [3].

После того как подготовлен список оптимальных идей по каждому из критериев, необходимо оценить эти идеи и попытаться сконструировать на их основе комплексную альтернативу. Приступая к комбинированию оптимальных идей по отдельным критериям в окончательную альтернативу, необходимо проверить их на взаимную совместимость, так как если идеи по двум критериям противоречат друг другу, то необходимо определить, какую из них включить в комбинированный вариант.

Если при оптимизации критериев удалось получить несколько альтернатив, то можно провести их сравнение. Например, максимально укрыть население при мини-

мальных затратах вряд ли получится, поэтому будем считать, что укрытие население на 100 % можно при заданной себестоимости.

Следующий шаг — это сравнение каждой из оптимальных идей на предмет их взаимной поддержки. Они могут оказаться комбинациями, которые взаимно усиливают, дополняют друг друга. Такие комбинации должны немедленно связываться и использоваться в качестве основы для будущей окончательной альтернативы. Например, переоборудование — минимальная пешеходная доступность.

Конечным результатом всей работы должна стать такая комбинация идей, которая превратилась бы в эффективный защитный механизм, а итогом самого этого защитного механизма, должна будет стать «Рассылка сообщений» населению, оказавшемуся в зоне чрезвычайной ситуаций, с дальнейшими мерами, и в случае необходимости — транспортировка на эвакуационный пункт.

Таким образом, основным должен стать заблаговременный принцип защиты населения на всей территории от опасностей, произошедших в результате чрезвычайных ситуациях современного города. Наличие заблаговременно подготовленных заглубленных укрытий, размеченный план доступа к ним, удобный способ оповещения, в конечном счете, дадут возможность получить максимальное количество укрываемых за короткий промежуток времени и при минимальном расстоянии при переходе от места пребывания до места наличия укрытия.

### Литература

- [1] Миназетдинов Т.Ф., Загребина Е.И. Оптимизация способов защиты населения в чрезвычайных ситуациях. «Безопасность — 2017»: Матер. докл. XXII Всерос. студенческой науч.-практ. конф. с междунар. участием «Проблемы экологической и промышленной безопасности современного мира». Иркутск, Изд-во ИРНИТУ, 2017, с. 266–268.
- [2] Казиева З.М. Методические основы принятия эффективных решений в процессе проектирования. *Транспортное дело России*, 2008, № 5, с. 25–28.
- [3] Шульгин В.Н. *Инженерная защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени*: учебник для вузов / под ред. В.А. Пучкова. Москва, Академический проект, Екатеринбург, Деловая книга, 2010, 684 с.

## Questions of Optimization of Shelter of the Population in the Conditions of a Modern City

© | Zagrebina E.I.  
Minazetdinov T.F.

iei2004@mail.ru  
tagir.minazetdinov@mail.ru

KNRTU—KAI, Kazan, 420111, Russia, Tatarstan

*In article relevance and importance of holding engineering actions at the organization of protection of the population in emergency situations is considered, the option of optimization of the shelter in peace time is offered.*

**Keywords:** security, protection, danger, optimization, shelter.

УДК 628.316.12

## Разработка технологии очистки ливневого стока с площадки промышленного предприятия машиностроительного профиля

© Мусина Светлана Айратовна  
 Нафикова Эльвира Валериковна  
 Красногорская Наталия Николаевна

Уфимский государственный авиационный технический университет,  
 Республика Башкортостан, Уфа, 450008, Россия

*Рассмотрены основные загрязняющие компоненты ливневого стока с площадки промышленного предприятия машиностроительного профиля и источники их поступления в окружающую среду. Определено, что тяжелые металлы, взвешенные вещества и нефтепродукты являются приоритетными загрязнителями в ливневом стоке, что обусловлено особенностью работы металлообрабатывающего и гальванического производств. Предложено использовать сорбционные фильтры как заключительную стадию доочистки ливневых стоков. Разработана технологическая схема очистки, состоящая из ливнеотстойника, песколовки, нефтеловушки, сорбционного фильтра.*

**Ключевые слова:** ливневый сток, тяжелые металлы, адсорбция, кривая сорбции, технологическая схема очистки.

Поверхностный сток с площадок промышленных предприятий является одним из интенсивных источников загрязнения окружающей среды различными примесями природного и техногенного происхождения.

Поверхностные сточные воды промышленных предприятий имеют примерно одинаковый качественный состав загрязнений, однако концентрации загрязняющих веществ меняются в широком диапазоне в зависимости от видов и особенностей технологических процессов. Территории машиностроительных предприятий, как правило, загрязнены специфическими веществами с токсичными свойствами (тяжелые металлы, нефтепродукты, взвешенные вещества и др.), обусловленные особенностью работ металлообрабатывающего и гальванического производства (табл. 1).

Таблица 1

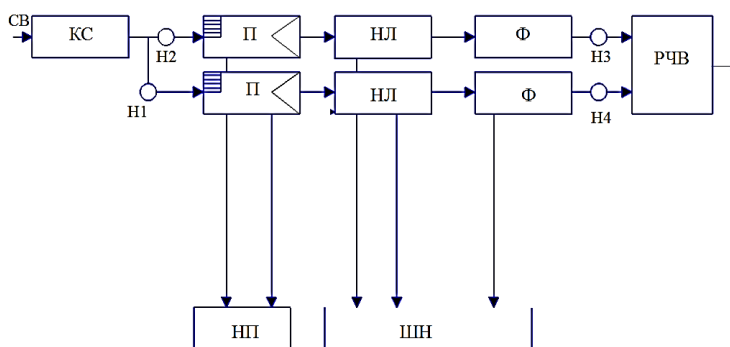
**Средняя концентрация загрязняющих веществ в ливневой канализационной сети машиностроительного предприятия**

Показатель	Концентрация до очистки, мг/л	ПДК <sub>рыбхоз</sub> [1]
Взвешенные вещества	979,89	79,75
Нефтепродукты	62,30	0,05
Железо	6,68	0,10
Алюминий	1,78	0,04
Кадмий	0,89	0,005
Медь	0,70	0,001
Марганец	2,89	0,01
Никель	1,50	0,01
Цинк	4,45	0,01
Хром (3+)	5,55	0,07

В табл. 1 через ПДК обозначен предел допустимых концентраций.

Согласно действующему природоохранному законодательству и нормативно-правовым актам [2] поверхностные сточные воды с территорий промышленных зон перед сбросом в централизованные системы дождевой или общесплавной канализации поселений, а также в водный объект должны подвергаться очистке в полном объеме на локальных очистных сооружениях. Как правило, на машиностроительных предприятиях осуществляется очистка промливневых вод (рисунок 1). Однако в последние годы экологические требования к нормативным значениям показателей очищенных сточных вод постоянно ужесточаются, регулярно возникает необходимость в модернизации очистных сооружений. Следовательно, разработка технологии очистки ливневого стока с площадки промышленного предприятия машиностроительного профиля является актуальной.

Анализ проб воды после очистки на существующих очистных сооружениях машиностроительного предприятия показал, что концентрации тяжелых металлов остаются недопустимыми для сброса в водный объект или для организации оборотного водоснабжения (допустимые значения в среднем в 2 раза превышали ПДК для рыбхоза и в 4–5 раз для оборотного водоснабжения). В качестве метода доочистки предлагается использовать адсорбцию, исходя из требований к качеству очищенной воды при ее использовании для повторного и оборотного водоснабжения и сбросе в водоем, мощности водоема-приемника, наличия районных или городских очистных сооружений.



**Рис. 1.** Типовая схема очистки ливневых сточных вод на машиностроительном предприятии:  
 СВ — сточная вода; Н1-4 — насосы; КС- камера смешивания; П — песколовка; НЛ — нефтеловушка;  
 Ф — фильтр; РЧВ — резервуар чистой воды; НП — накопитель песка; ШН — шламонакопитель

На основании литературного обзора были подобраны 3 марки адсорбентов (КФГМ-7, глинт, глауконит), которые могут использоваться в качестве загрузки в сорбционные фильтры. Для оценки эффективности извлечения тяжелых металлов в лабораторных условиях были определены статические обменные емкости адсорбентов КФГМ-7, глинт, глауконит в однокомпонентных растворах, содержащих никель — 1,5 мг/л, хром (3+) — 5,5 мг/л (табл. 2).

Как следует из табл. 2, время перемешивания в 30 мин является наиболее предпочтительным, что подтверждается и работами других исследователей [3, 4], согласно которым быстрое извлечение ионов металлов происходит в первые 1...5 мин (более 70 %), а в течение 30-минутного времени контакта адсорбируется более 98 %

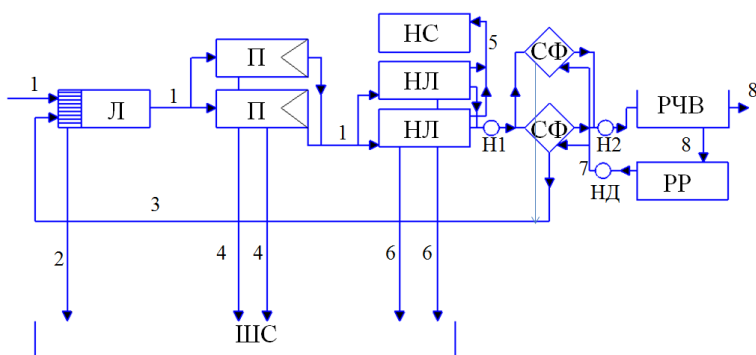
загрязнений. Наиболее эффективным адсорбентом, среди анализируемых, для очистки ливневых сточных вод от ионов тяжелых металлов признан адсорбент — глинт.

Таблица 2

**Эффективность извлечения ионов Cr (3+) и Ni на адсорбентах КФГМ-7, глинт, глауконит в зависимости от времени перемешивания**

Адсорбент	Время, мин	Степень извлечения Cr (3+), %	Степень извлечения Ni, %
КФГМ-7	30	97,3	99,3
	60	93,5	98,7
	90	90,3	95,3
	120	99,8	98,7
	1440	99,8	99,3
Глинт	30	99,8	99,3
	60	99,8	97,3
	90	99,8	97,3
	120	99,8	96,7
	1440	99,8	98,0
Глауконит	30	86,4	99,3
	60	82,5	99,3
	90	79,6	99,3
	120	81,3	88,0
	1440	84,9	98,7

В процессе изучения сорбционных свойств КФГМ-7, глинт, глауконит разработана схема доочистки ливневых сточных вод машиностроительного предприятия (рис. 2).



**Рис. 2.** Усовершенствованная схема очистки ливневых сточных вод машиностроительного предприятия:

Л — ливнеприемник с решеткой на входе; П — пескоуловитель; НЛ — нефтеловушка; НС — нефтесборник; Н1, Н2 — насосы; СФ — сорбционный фильтр; НД — насос дозатор; РЧВ — резервуар чистой воды; РР — резервуар с раствором для регенерации адсорбента; ШС — шламособорник; 1 — точная вода; 2 — грубые отходы на вывоз; 3 — промывная вода; 4 — тяжелые мелкие минеральные частицы; 5 — нефтепродукты; 6 — шлам; 7 — 4 %-ный содовый раствор; 8 — очищенная вода



Усовершенствованная схема очистки промливневых стоков машиностроительного предприятия предусматривает несколько ступеней очистки ливневых сточных вод, в процессе прохождения которых происходит осаждение взвешенных веществ, выделение масел и нефтепродуктов из стоков, глубокая доочистка от тяжелых металлов.

Разработанная схема позволит снизить концентрацию основных загрязнений ливневого стока промышленного предприятия машиностроительного профиля до требуемых значений для сброса в поверхностные водные объекты или организации оборотного водоснабжения гальванического производства.

### Литература

- [1] Приказ Минсельхоза России № 552 от 13.12.2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах объектов рыбохозяйственного значения».
- [2] СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
- [3] Demis J., Pulford I.D., Thomas S. Sorption of Cr (III) and Cr (VI) by natural bone charcoal. *Environmental Geochemistry and Health*, 2001, vol. 23, pp. 291–295.
- [4] Droste F. Ronald L. *Theory and practice of waste and wastewater treatment*. John Wiley and Sons, New York, USA, 1997, pp. 485–507.

## Development of Technology of Clean Storm Water from the Site of an Industrial Enterprise in Mechanical Engineering

© Musina S.A.  
Nafikova E.V.  
Krasnogorskaya N.N.

Ufa state aviation technical University, Republic Of Bashkortostan, Ufa, 450008, Russia

*Describes the main components of polluting stormwater runoff from sites of industrial enterprises of machine-building profile and the sources of their release into the environment. Determined that heavy metals, suspended solids and petroleum products are priority pollutants in the storm drain, due to the feature of the metal-working and electroplating. It is proposed to use the sorption filters as the final stage of tertiary treatment of stormwater. Developed technological scheme of purification, consisting of livanates, sand traps, oil traps, sorption filter.*

**Keywords:** *rainfall runoff, heavy metals, adsorption, sorption curve, technological scheme of purification.*

УДК 621.039.009.2

## Генерирующие мощности и безопасность АЭС

© | Мухамеджанова Елена Рамилевна muk-lena46@yandex.ru  
| Акатьев Владимир Андреевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Статья посвящена основным темпам развития атомной энергетики. Особое внимание уделено обзору мощностей в мире и в России. Также рассмотрены организационные меры и нормативные документы в области радиационной безопасности на мировом и государственном уровне.*

**Ключевые слова:** темпы, атомная энергетика, мировые мощности, нормативные документы, радиационная безопасность.

**Введение.** Выработка электроэнергии на атомных электростанциях (АЭС) является важным источником энергии в мире. В соответствии с Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) 441 ядерных реакторов были объединены в одну общую сеть к концу 2010 г.

Атомная энергетика до катастрофы на Чернобыльской АЭС считалась надежной и перспективной. Она очень быстро развивалась и достигла пика приблизительно в 1980–1985 гг. Однако все перечеркнули печально-известные события в Чернобыле в 1986 г. Впоследствии темп развития атомной энергетики замедлился. По состоянию на конец 2011 г. общий объем произведенной электроэнергии с 1951 г. составил 69 760 млрд кВт·ч. Суммарное время работы АЭС до конца 2012 г. составило 15 080 лет. Однако в связи с недавней аварией на АЭС Фукусима-1 в Японии вопрос о новом пересмотре политики развития ядерной энергетики во многих странах встал особенно остро, что повлияло на принятие решений о продолжении национальных программ для производства энергии [1].

Цель работы — предоставить обновленную информацию для обсуждения вопроса о будущем атомной энергетики в мире.

**Атомная энергетика в мире и в России.** Лидируют в области использования атомной энергетики США, где в эксплуатации находится 109 энергоблоков общей электрической мощностью 105,4 ГВт. Во Франции работает 56 энергоблоков мощностью 61 ГВт. Далее следует Япония — 52 энергоблока общей мощностью 44 ГВт, и Германия с 20 энергоблоками мощностью 23,5 ГВт [1]. Исключение составляет Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР), где многие активно развивающиеся, но ограниченные в запасах топлива и гидроресурсов государства уделяют большое внимание национальным программам по ядерной энергетике. Из 53 строящихся энергоблоков 20 сооружается в Азии и на Дальнем Востоке. Здесь будут действовать более трети всех АЭС мира [2].

В России в настоящее время работают 10 АЭС с 35 энергоблоками и реакторами разных типов. Четыре энергоблока выведены из эксплуатации. В 2012 г. на долю АЭС пришлось около 17,1 % от общего производства электроэнергии в России — 177,3 млрд кВтч. Доля атомной генерации в общем энергобалансе России — около 18 %. Высокое значение атомная энергетика имеет в европейской части России и

особенно на северо-западе, где выработка на АЭС достигает 42 %. В России АЭС обеспечивают электроснабжением 35 субъектов федерации и являются основой единой энергетической системы страны в нескольких крупных ее регионах, особенно в энергозонах Северо-Запада и Центра, поскольку мощные АЭС определяют структуру высоковольтных линий электропередач.

В настоящее время Россия находится на среднем мировом уровне использования атомной энергии, ее вклад в общий энергетический котел составляет, в среднем, 17...18 % (в европейской части страны — до 30 %). Заглядывая на 3–4 десятилетия вперед, можно реально оценить потребности России в атомной энергетике: ее долю нужно увеличить как минимум на 25 %, а то и больше.

**Безопасность на АЭС.** Основной международной организацией в области радиационной безопасности является МАГАТЭ, которое, согласно положениям своего устава, уполномочено устанавливать при консультации с ООН и другими специализированными организациями нормы безопасности. Так, требования к радиационной безопасности изложены в сборнике «Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения». Существуют различные нормы для регулирования ядерной энергетики. Например, правила эксплуатации АЭС регулируются нормой: «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [3]. Надзор за безопасностью российских АЭС осуществляет Ростехнадзор. Охрана труда регламентируется СТО 1.1.1.02.001.0673-2006 [4], ядерная безопасность регламентируется НП-001-15 [5], ПБЯ РУ АС-89 (ПНАЭ Г-1-024-90) [6].

**Заключение.** В целом картина развития атомной энергетики на ближайшие 30 лет выглядит не очень динамичной. У разных государств, уже имеющих АЭС, есть свои причины, тормозящие интенсивное развитие этой индустрии. Одна из них — атомная энергетика требует огромного капитала. Стоимость АЭС с энергоблоком в 1000 МВт составляет 2 млрд долларов. Большинство стран разрабатывает национальные программы и различные документы для обеспечения безопасности населения и окружающей среды.

#### Литература

- [1] Пономарев-Степной Н.Н. Роль атомной энергетики в структуре мирового энергетического производства XXI века. *Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы»*, август 2006, № 8.
- [2] *Сайт МАГАТЭ* [Электрон. ресурс] <http://www.iaea.org.at/programmes/a2/> (дата обращения 23.08.2016).
- [3] *SSR-2-1 (NS-R-1)*. Безопасность атомных электростанций: проектирование. Конкретные требования безопасности. МАГАТЭ, Вена, 2012, 107 с.
- [4] *СТО 1.1.1.02.001.0673-2006*. Правила охраны труда при эксплуатации тепломеханического оборудования и тепловых сетей атомных станций ФГУП концерн Росэнергоатом.
- [5] *НП-001-15*. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2016.
- [6] *ПБЯ РУ АС-89*. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. Госпроматомнадзор СССР, Москва, 1991.

## Generating Capacity and Safety of Nuclear Power Plants

© Mukhamedzhanova E.R.  
Akatiev V.A.

muk-lena46@yandex.ru

<sup>1</sup>BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article is devoted to the basic rates of development of nuclear energy. Particular attention is given to the review of the world powers and Russia. Organizational measures and normative documents in the field of radiation safety at the world and state level are also considered.*

**Keywords:** rates, nuclear energy, world powers, normative documents, radiation safety.

УДК 534.8

## Акустические характеристики резонатора Хершеля — Квинке

© Николаева Вероника Аркадьевна  
Комкин Александр Иванович

vernik90@bk.ru  
akomkin@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Исследовано влияние геометрических параметров на акустическую эффективность резонатора Хершеля — Квинке. Показано, что резонансные пики спектра потери передачи в аналитической модели имеют смещение относительно результатов численного расчета, вследствие чего, в аналитическую модель необходимо вводить корректирующие поправки на длину труб резонатора для выполнения условия тождественности.*

**Ключевые слова:** резонатор Хершеля — Квинке, потеря передачи, резонансные пики, ширина полосы затухания, аналитический метод расчета, численный метод расчета, конечно-элементное моделирование.

Конфигурация резонатора Хершеля-Квинке [1, 2] представляет собой параллельное соединение двух труб (рис. 1), где  $A_1$  — площади поперечных сечений,  $l_2$  и  $l_3$  — средние длины, соответственно, части основной трубы и ответвления,  $d$  — диаметр труб.

В качестве акустической эффективности резонатора использовали потери передачи, определяемые через отношение амплитуд падающей на резонатор и прошедшей через резонатор звуковых волн [3]:

$$TL = 10 \log_{10} \left| \frac{A_2 \alpha_2 + A_3 \alpha_3}{A_1} - \frac{(A_1 - A_2 \phi_2 - A_3 \phi_3)^2}{4 A_1 (A_2 \alpha_2 + A_3 \alpha_3)} \right|^2. \quad (1)$$

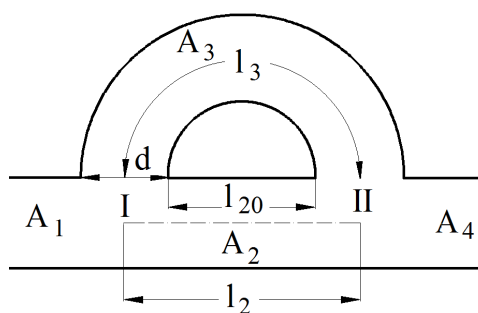


Рис. 1. Конфигурация резонатора Хершеля — Квинке

Для выявления условия тождественности аналитической и численной моделей [4] был проведен расчет, для следующей конфигурации:  $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 1,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ,  $l_2 = 0,447 \text{ м}$ ,  $l_3 = 0,894 \text{ м}$ , в среде MathCAD 14 и COMSOL Multiphysics, соответственно, и получены потери передачи, графически представленные на рис. 2 и 3 соответственно.

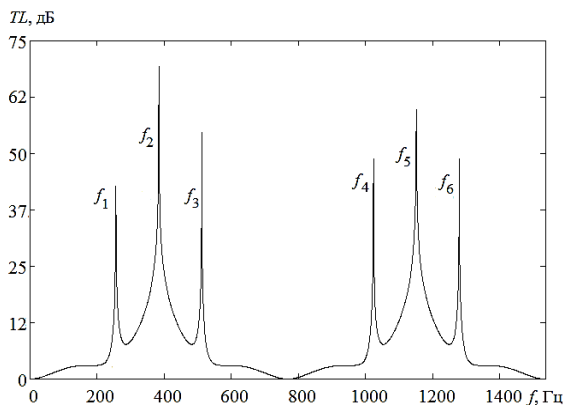


Рис. 2. Аналитическая оценка потерь передачи резонатора Хершеля — Квинке

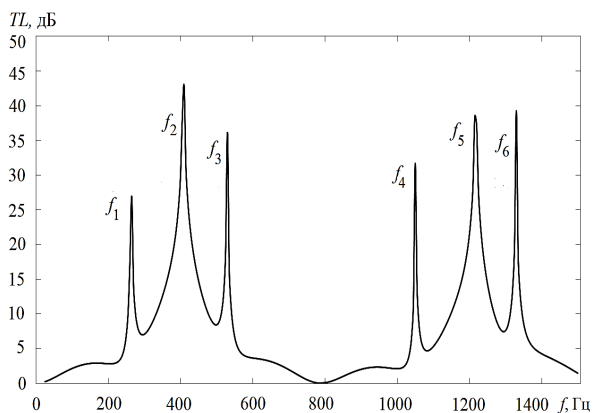


Рис. 3. Численная оценка потерь передачи резонатора Хершеля — Квинке

Формы потерь передачи аналитической (см. рис. 2) и численной (см. рис. 3) моделей практически идентичны, однако, имеются небольшие смещения резонансных пиков. Для того чтобы устранить эти смещения, необходимо ввести соответствующие поправки  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  (табл. 1) к длинам  $l_2$  и  $l_3$ .

Таблица 1

Зависимость поправок  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  от отношения длин труб

$l_3 / l_2$	$\Delta_2$ , мм	$\Delta_3$ , мм
1,5	9,0	33,6
2,0	9,0	37,8
2,5	8,5	32,0

На рис. 4 приведены спектры потерь передачи для разных отношений длин, где можно заметить, что величина  $l_3 / l_2$  оказывает существенное влияние на форму кривой потерь передачи резонатора.

Далее рассматривалась зависимость диаметра труб резонатора на потери передачи, при условии, что отношение длин  $l_3 / l_2 = 1,5$ . Из рис. 5 следует, что при увеличении диаметра труб происходит смещение резонансных пиков в сторону низких частот, при этом ширина полосы затухания остается примерно одинаковой.

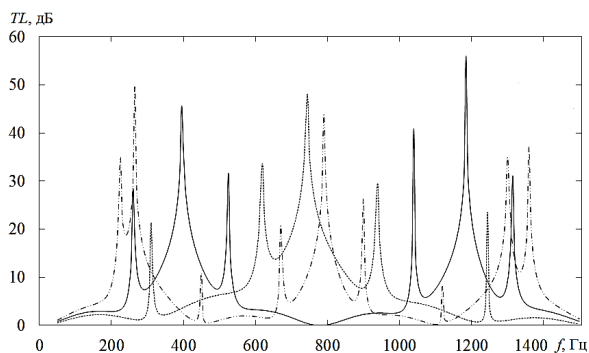


Рис. 4. Потери передачи резонатора в зависимости от отношения  $l_3/l_2$ :  
(.....) — 1,5; (—) — 2,0; (- · -) — 2,5

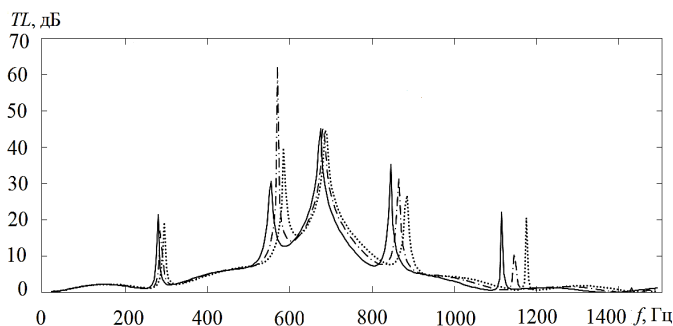


Рис. 5. Потери передачи резонатора в зависимости от отношения  $d$ :  
(.....) — 1,5; (—) — 2,0; (- · -) — 2,5

В качестве исходных данных при выборе параметров резонатора служат: частота  $f_0$ , на которую настраивается резонатор; ширина полосы заглушения резонатора  $\Delta f$  в окрестности частоты  $f_0$ ; уровень заглушения  $TL_{\min}$  в этой полосе частот.

Предполагая, что частоты  $f_0$  и  $f_2$  равны, из I типа резонансов имеем

$$f_0 = f_2 = c / 2(l_3 - l_2). \quad (2)$$

Ввиду того, что ширина полосы заглушения  $\Delta f$ , соответствующая одиночному резонансному пику, на графике потерь передачи очень узкая (рис. 6), ее можно расширить, если вблизи частоты  $f_0 = f_2$  будет располагаться еще одна резонансная частота  $f_1$  из II типа резонансов. При этом:

$$f_1 = c / (l_3 + l_2). \quad (3)$$

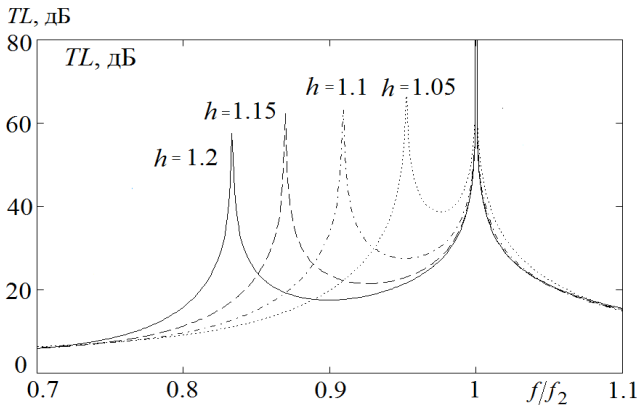


Рис. 6. Зависимость потери передачи резонатора Хершеля — Квинке от параметра  $h$

Вводя обозначение  $h = f_2 / f_1$  и учитывая (2) и (3), получим выражения, которые определяют длины труб резонатора основной и ответвления соответственно:

$$l_2 = \frac{c}{4f_2} (2h - 1); \quad (4)$$

$$l_3 = \frac{c}{4f_2} (2h + 1). \quad (5)$$

Таблица 2

Влияние параметра  $h$  на потери передачи и ширину полосы заглушения

$h = f_2 / f_1$	$TL_{\min}$ , дБ	$\Delta f / f_2$
1,05	38,8	0,07
1,10	27,6	0,13
1,15	21,5	0,20
1,20	17,6	0,27
1,30	12,6	0,41
1,50	7,7	0,74

Отсюда следует выражение для отношения длин труб резонатора:

$$\frac{l_3}{l_2} = \frac{2h+1}{2h-1}, \quad (6)$$

что при  $h \rightarrow 1$  получим  $l_3 / l_2 = 3$ , а при  $h \rightarrow 1,5$  получим  $l_3 / l_2 = 2$  (табл. 2).

Таким образом, параметры резонатора Хершеля — Квинке, а именно отношение длин  $l_3 / l_2$  и диаметры труб  $d$  можно подобрать так, что наибольшая область затухания будет совпадать с интересующим частотным диапазоном.

### Литература

- [1] Herschel J.F.W. On the absorption of light by colored media, viewed in connection with the undulatory theory. *Philos. Mag.*, 1833, vol. 3, pp. 401–412.
- [2] Quincke G. Ueber interferenzeapparate fur schallwellen. *Ann. Phys. Chem.*, 1833, vol. 128, pp. 177–192.
- [3] Комкин А.И., Юдин С.И. Камерные глушители шума. *Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности»*, 2005, № 11, с. 2–7.
- [4] Комкин А.И., Воробьева Л.С. Особенности конечно-элементного моделирования глушителей шума. *Транспортное и энергетическое машиностроение*, 2012, № 4, с. 50–54.

## Acoustical Characteristics of the Herschel-Quincke Resonator

© | Nikolaeva V.A.  
Komkin A.I.

vernik90@bk.ru  
akomkin@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In the article influence of geometric parameters of the Herschel-Quincke resonator on the acoustic efficiency is investigated. It is shown that the resonant models are related to the results of quantitative calculation. Afterwards corrections for the tubes length of the resonator are introduced into the analytical model to fulfill the identity conditions.*

**Keywords:** *Herschel-Quincke resonator, transmission loss, resonance peaks, attenuation, analytical calculation method, numerical calculation method, finite element modeling.*



УДК 629.7

## Исследование геофизического и гелиофизического воздействия на деятельность человека

© | Пожелуева Злата Владиславовна  
| Николайкин Николай Иванович

pozhelueva.zlata@mail.ru

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА),  
Москва, 125493, Россия

*Исследовано влияние возмущений показателей гелио-геофизических факторов окружающей среды на физико-химические свойства воды. Приведены примеры авиационных происшествий и их причины по материалам официальных расследований. Сделан вывод о наличии возможного влияния гелио-геофизических факторов на деятельность человека.*

**Ключевые слова:** безопасность полетов, авиационное происшествие, человеческий фактор, гелиофизические и геофизические факторы.

На фоне роста воздушного движения в СНГ последние 10 лет наблюдается рост авиационных происшествий (АП). Проведенный анализ этих происшествий показал, что основной причиной аварийности являлся человеческий фактор (ЧФ) [1]. Термином ЧФ характеризуют людей в той обстановке, в которой они живут и трудятся, взаимодействуя с машинами, процедурами и окружающей обстановкой, а также взаимодействуют между собой.

В авиации ошибку человек может допустить не только при управлении летательным аппаратом, но и на любом этапе подготовки воздушного судна на земле. В наши дни в наибольшей степени изучено несколько факторов, по-другому называемых «грязной дюжиной» [2], влияющих на возникновение ошибок человека. Среди них выделяются: недостаточность взаимодействия; неслаженность в командной работе; самодовольство; самоуверенность и отсутствие уверенности в себе; отвлечение. Данные факторы не могут не быть связаны с состоянием здоровья и можно предположить [1], что эти факторы зависят от центральной нервной системы человека: происходит торможение реакций, снижается концентрация внимания, происходит помутнение сознания или симптомы сходные с ним: ступор, торможение речи и действий; нарушение ориентации на местности и в пространстве; заторможенное мышление; невозможность ясно думать; неспособность быстро думать; снижение качества памяти.

По данным результатов расследования авиационных происшествий МАК [3] в ряде случаев причиной произошедшего в 2016 г. с воздушными судами являлись такие причины как потеря командром воздушного судна (КВС) контроля за высотой полета; потеря экипажем пространственной ориентировки; отвлечение внимания КВС.

В работе была выдвинута гипотеза, подтвержденная в НИИ Медико-биологических проблем РАН, о существовании гео-гелиофизического воздействия на свойства воды, которое характеризуется изменением водородного показателя pH, электрического тока и окислительно-восстановительного потенциала. Для исследования степени биотропности воздействия гео-гелиофизических факторов используют метод, применяемый в электрохимической амперометрии.

Объяснением такого явления может быть то, что электрические токи в водной электрохимической ячейке задаются скоростью окислительно-восстановительных реакций, протекающих на электродах. Значение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) определяется энергетическим состоянием и конфигурацией электронных оболочек молекул воды и в конечном счете влияет на контактную разность потенциалов (КРП) между водой и любой фазовой поверхностью, помещенной в водную среду. Например, КРП образуется на оболочках клеток организма [4].

При постоянстве химического состава и температуры воды изменения состояния электронных оболочек молекул воды могут вызываться электромагнитными излучениями окружающего пространства, к воздействию которых вода имеет известную высокую чувствительность и лабильность физико-химических свойств [5]. Благодаря этому живые организмы обладают возможностью реагировать на внешние воздействия.

Отмечено, что возмущения в гео- и гелио- обстановке, вызываемые, например, солнечным затмением, магнитосферными бурями, извержениями вулканов с более магнитудой 6,5 балла могут вызывать изменения окислительного статуса воды, часто достигающие 10 %.

Важно, что вода является основным (по количеству) химическим компонентом организма человека. Деятельность мозга зависит от получаемых нервных сигналов, от питания и обмена веществ, и в неменьшей степени от химического состава тканевой жидкости, окружающей нервные клетки. Изменение ОВП, pH, электрического потенциала и иных подобных свойств воды не может не сказаться на прохождении нейро-гуморальных сигналов в организме человека. Таким образом, понятно наличие зависимости процессов высшей нервной деятельности человека от стабильности или, наоборот, от изменчивости свойств воды.

Таким образом, необходимо всемерно снижать воздействие человеческого фактора на безопасность полетов в гражданской авиации. Описанные физико-химические процессы воздействия на воду и водные растворы в организмах людей [1], могут привести к любым внешне малообъяснимым изменениям в поведении. Очевидно, необходим метод фиксации подобных событий в окружающей среде, воздействующих на человека, и следует их учитывать.

## Литература

- [1] Николайкин Н.И., Цетлин В.В., Савчуков С.А., Пожелуева З.В., Старков Е.Ю. О необходимости и возможности снижения воздействия человеческого фактора на безопасность полетов. *МИАЖ «Credo Experto: транспорт, общество, образование, язык»*, 2017, № 2 [Электрон. ресурс] <http://ce.if-mstuca.ru/index.php/2017-2> (дата обращения 26.05.2017).
- [2] Кузнецов А.А. Оценка влияния ошибок инженерно-технического персонала на безопасность полетов, обусловленных человеческим фактором. Дисс. ... магистра, МГТУ ГА, 2017,— 83 с.
- [3] *Расследование авиационных происшествий на воздушном транспорте. Расследования МАК*, 2016. [Электрон. ресурс]. <http://mak-iac.org/rassledovaniya/> (дата обращения 15.02.2017).
- [4] Захарьевский М.С. *Окредметрия* / Под ред. Б.П. Никольского и В.В. Пальчевского. Ленинград, Химия, 1967, 120 с.
- [5] Кисловский Л.Д. Реакции живых систем на слабые адекватные им воздействия. *Электромагнитные поля в биосфере* / Под ред. Н. В. Красногорской. Москва, 1984, т. 2, с. 16–25.

## A study of Geophysical and Heliophysical Impact on Human Activity

© | Pozhelueva Z.V.  
Nikolailin N.I.

pozhelueva.zlata@mail.ru

The Moscow state technical university of civil aviation (MSTU CA), Moscow, 125493, Russia

*Focuses on the influence of Helio-geophysical factors on the disturbance of water physical and chemical properties. Examples of accidents and their causes on an official investigation materials. The conclusion about the existence of possible Helio-geophysical factors on human behavior, possible deviations in his behavior.*

**Keywords:** air safety; aircraft accident; human factor; the cosmic and geophysical factors.

УДК 629.039.58

## Применение программного обеспечения для анализа опасности системы подготовки ультрачистой воды для производства микроэлектроники на этапе проектирования

© | Рахметова Эвелина Радиковна  
Ткаченко Юрий Леонидович

ravelina.r@gmail.com

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены различные методы оценки опасности сложных промышленных систем. С помощью специализированного программного обеспечения проведена оценка опасности сложной промышленной системы — станции водоподготовки для микроэлектронной промышленности.*

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, водоподготовка, компьютерное моделирование, риск, программное обеспечение «АРБИТР».

В соответствии с документами о декларировании промышленной безопасности, а также требованиями международных и государственных стандартов, необходимо проводить анализ опасности всех действующих промышленных систем [1, 2]. Промышленная водоподготовка представляет собой сферу деятельности, которая связана с особенной требовательностью в отношении всех этапов работы, включая разработку и реализацию проекта.

Сертифицированные организации и предприятия, проектирующие системы водоподготовки, обязаны предоставлять оценку их безопасности и надежности в соответствии с теми нормами и требованиями к качеству воды, которые действуют в конкретной отрасли промышленности. Микроэлектронная промышленность, например, предъявляет самые высокие требования к качеству воды, используемой для предотвращения загрязнения производимой продукции и инструментов.

Оценка рисков возможных нежелательных событий систем водоподготовки проводится методами качественного и количественного анализа с использованием всей

доступной информации. В современном проектировании в сфере промышленной водоподготовки при определении рисков наиболее распространен упрощенный метод количественного анализа. Рассматриваемые события или элементы обычно разбивают по величине вероятности, тяжести последствий и риска на несколько групп.

Существует два вида расчета надежности системы: на основании традиционных методов и с применением информационных технологий автоматизированного структурно-логического моделирования. Современные технические системы имеют закономерно возрастающую размерность и высокую структурную сложность, поэтому в настоящее время актуален последний вариант анализа с использованием программных комплексов, в которых применяют типовые средства описания системных структур: блок-схемы, графы связности, деревья отказов и деревья событий.

Рассмотрим расчет сложного, с точки зрения анализа опасности, технического проекта «Станция водоподготовки сверхчистой воды для микроэлектроники» в программном обеспечении «АРБИТР» на основе дерева отказа [3].

Структура проекта представляется в виде графа с функциональными вершинами, обозначающими компоненты системы и головное событие (в данном случае — выход из работы станции водоподготовки), и фиктивными вершинами — составными элементами, характеризующими надежность и безотказность работы. Окончательная расчетная модель станции водоподготовки содержит 163 вершины и 118 элементов, взаимосвязанных логическими функциями «и»/«или» (рис. 1).

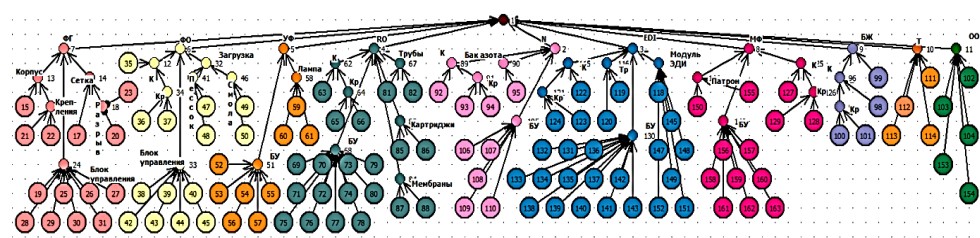


Рис. 1. Схема функциональной целостности для станции водоподготовки

Главным параметром элементов для расчета надежности в данном проекте является значение вероятности отказа работы системы. Расчет производится для временного промежутка — 24 часа, в течение которого должна гарантироваться безотказность непрерывной работы системы водоподготовки. Один раз в сутки предусматривается диагностика всего оборудования для предотвращения аварии и снижения вероятности ее возникновения.

Компонентами системы (функциональными вершинами) в данном проекте являются: фильтр грязевик сетчатый (№ 7); фильтр обезжелезивания (№ 6); блок ультрафиолетового обеззараживания (№ 5), обратноосмотическая установка (№ 4); система хранения очищенной воды с азотной подушкой (№ 2); модуль электродеионизации воды (№ 3); микрофильтр (№ 8); баки хранения жидкости (№ 9); система труб (№ 10); работа оператора установки (№ 11).

Значения вероятностей отказа составных элементов определяют по специализированным справочникам, нормативным документам или паспортам установок системы [4].

Результаты моделирования и расчета представляются в виде диаграмм и графиков (рис. 2, 3), на которых показаны значимости и вклады отдельных элементов в реализа-

цию головного события, т. е. отказа в работе системы водоподготовки. Также программа формирует отчет, в котором представлены точные значения указанных ранее величин для последующего анализа проведенного расчета опасности специалистами.

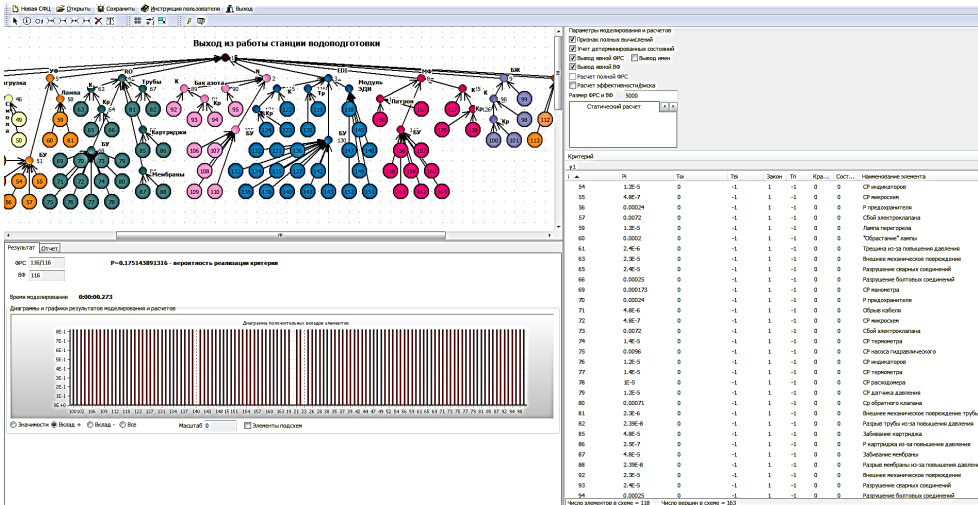


Рис. 2. Моделирование и определение вероятности отказа системы

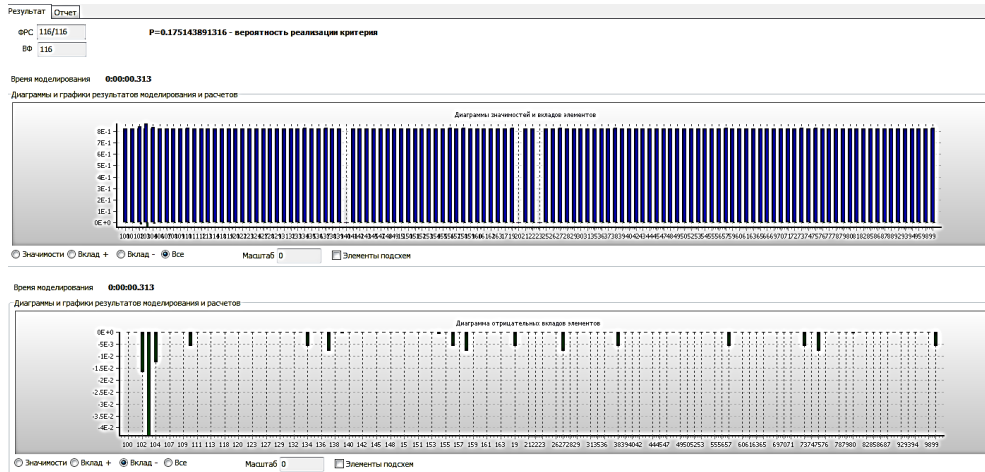


Рис. 3. Результаты анализа опасности станции водоподготовки

Полученное значение вероятности реализации главного критерия (выход из работы системы водоподготовки), равное приблизительно  $17,51 \cdot 10^{-4}$ , соответствует допустимым значениям при указанных ранее условиях эксплуатации.

## Литература

- [1] Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
- [2] Постановление Госгортехнадзора РФ от 10.07.2001 № 30 «Об утверждении Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов» (дата введения 01.10.2001).
- [3] Нозик А.А., Можяев А.С. *Автоматизированные системы управления. Надежность и безопасность. Расчет надежности и безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами и инженерным оборудованием.* Методические рекомендации. Санкт-Петербург, СПИК СЗМА, 2002, 34 с.
- [4] Белов П.Г. *Моделирование опасных процессов в техносфере. Методические рекомендации.* Киев, КМУ ГА, 1999, 128 с.

## Application of Software for the Analysis of the Danger of the System for the Preparation of Ultrapure Water for the Production of Microelectronics at the Design Stage

© | Rakhmetova E.R.  
Tkachenko Y.L.

ravelina.r@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Various methods for assessing the dangers of complex industrial systems are considered. An assessment of the dangers of a complex industrial system a water treatment station for the microelectronic industry was doing.*

**Keywords:** industrial safety, water treatment, computer modeling, risk, ARBITR.

УДК 502.3 Н-73

## Физико-химические основы отмычки загрязненных нефтепродуктами поверхностей с применением композиций экологически безопасных поверхностно-активных веществ

© | Романова Мария Викторовна  
Новиков Василий Константинович

mvromanova82@mail.ru  
vknovikov@yandex.ru

Московская государственная академия водного транспорта — филиал ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, Москва, 117105, Россия

*Изложены факторы, определяющие эффективность зачистки поверхностей емкостей, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, с экологической точки зрения. Приведены особенности загрязнений поверхностей нефтешламами. Рассмотрены принципы взаимодействия поверхностно-активных веществ с загрязнителем и загрязненной поверхностью. Обосновано применение компонентов мощного средства на основе солей пептидов, аминокислот, комплексонов и пептидных производных комплексонов.*

**Ключевые слова:** нефтешламы, загрязнение, зачистка, отмывка, моющее средство, экологическая безопасность.

В результате производственной деятельности при добыче, транспортировке и переработке нефти-сырца происходит образование и постоянное накопление нефтешламов [1].

Структура нефтешламов — это физико-химическая система, включающая в себя нефтепродукты, воду и минеральные добавки (песок, глину, окислы металлов и др.). Главной причиной образования резервуарных нефтешламов является взаимодействие нефтепродуктов в объеме конкретного нефтеприемного устройства с влагой, кислородом воздуха и механическими примесями, а также с материалом стенок резервуара.

При длительном хранении резервуарные нефтешламы разделяются на несколько слоев, для каждого из которых характерны свои особенности.

В верхнем слое находится обводненный нефтепродукт с содержанием до 5 % тонкодисперсных примесей, он относится к классу эмульсий «вода в масле». В состав этого слоя входят 70...80 % масел, 6...25 % асфальтенов, 7...20 % смол, 1...4 % парафинов. Содержание воды не превышает 5...8 %. [1].

Средний, сравнительно небольшой по объему слой представляет собой эмульсию типа «масло в воде». Этот слой содержит 70...80 % воды и 1,5...15 % механических примесей.

Следующий слой целиком состоит из отстоявшейся минерализованной воды с плотностью 1,01...1,19 г/см<sup>3</sup>.

Придонный слой чаще представляет из себя твердую фазу, включающую до 45 % органики, 52...88 % твердых механических примесей, включая окислы железа, с содержанием воды до 25 % [1].

Эффективность зачистки (отмывки) поверхностей, емкостей, загрязненных нефтью и нефтепродуктами с помощью технического моющего средства (ТМС) определяется многими факторами — это полнота удаления загрязнения с поверхности емкостей, безопасность процесса отмывки и способ извлечения реакционных смесей, образующихся при отмывке, направления утилизации и переработки этих смесей, доступность и цена ТМС, возможность для многоразового использования.

Таким образом, оптимальным ТМС являются сложные водные растворы со свойствами смачивателей, диспергирующих и фракционирующих систем. Плотность раствора должна быть больше плотности отложения, а в рецептуру должны входить вещества со следующими свойствами.

Одни из растворов должны иметь большее сродство к металлическим и эмалированным поверхностям, чем загрязнения, проявлять свойства универсальных комплексообразующих реагентов и обладать обезжиривающей способностью. В динамических условиях эти соединения будут внедряться между поверхностью и отложением, и растворять минеральные примеси, приводя к отталкиванию загрязнения от поверхности емкости.

Другие компоненты должны сольватировать парафины, асфальтены и смолы. В динамических условиях они будут вызывать деструкцию отложений и их диспергирование с образованием мицелл, реакционных смесей в виде водных дисперсий (взвесей, суспензий или эмульсий), олигомеров разного состава.

После извлечения реакционной смеси из емкости в статических условиях эта смесь разделится на несколько фракций. Каждая из фракций может быть извлечена и использована в качестве вторичного сырья. В таком случае зачистка поверхностей емкостей, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, может быть безотходной.

Среди известных экологически безопасных соединений, имеющих большее сродство к металлическим и эмалированным поверхностям, чем загрязнители, и высокую обезжиривающую способность, — это композиции натриевых солей аминокислот, композиции солей комплексонов (в частности С-замещенные производные моноамно — и полиамноуксусных кислот) и композиции солей пептидокомплексонов (в частности, пептидные производные моноамно — и полиамноуксусных кислот).

Полиаминокарбоновые кислоты (комплексоны) — молекулы, в которых с атомом азота связано несколько алкилкарбокисильных групп —  $\text{CH}_2\text{COOH}$ , способных одновременно связывать центральный атом комплекса несколькими координационными связями. Комплексоны образуют прочные, растворимые в воде соединения с большинством катионов [2].

Наибольшее распространение среди заменителей фосфатов нашла динатриевая соль этилендиаминотетрауксусной кислоты (ЭДТА, трилон-Б).

По аналогии работают в качестве комплексообразователей, детоксикантов ионов тяжелых металлов и хлорорганических соединений гидраты натриевых солей аминокислот, композиции комплексонов [3].

Комплексоны и пептидокомплексоны связывают в растворимые комплексы ионы тяжелых металлов (железо, кобальт, никель, медь, цинк, кадмий, свинец и т. п.), а также ионы щелочноземельных металлов (магний, кальций, стронций, барий) и растворяют соли этих металлов, в том числе соли жесткости. Соли аминокислот в сочетании с комплексонами гидрофилизуют (обводняют) и обезжиривают поверхность. В случае необходимости их активность в ТМС может быть повышена с помощью таких добавок как триполифосфат ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ), соли оксиэтилендифосфоновой кислоты ( $\text{CH}_3\text{C}(\text{OH})[\text{P}(\text{O})(\text{OH})_2]_2$ ), триэтаноламин ( $(\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ ) [3].

Фосфаты натрия в составе ТМС проявляют множество полезных свойств. Однако практика показала, что их применение не очень желательно. Они загрязняют водоемы, создают в них избыток питательных веществ, что приводит к чрезмерному росту водорослей и плохо отражается на обитателях рек и озер [4].

В качестве агентов, способных вызывать деструкцию отложений и диспергирование, перспективными являются: соли низкомолекулярных пептидов (ди-, три-, тетра- и пентапептидов), соли пептидокомплексонов и соли некоторых аминокислот с углеводородными радикалами (аланин, валин, фенилаланин, пролин, лейцин, изолейцин) и с радикалами с гидроксильной группой (серин, треонин, оксипролин, тирозин) [3].

В условиях ограниченной гидратации неполярные радикалы из пептидов, пептидокомплексонов и аминокислот взаимодействуют с углеводородными цепями парафинов и масел, а также с ароматическими радикалами масел и асфальтенов с образованием молекулярных комплексов, а радикалы гидоксогруппой связываются через атом водорода с донорными атомами азота и серы с образованием комплексов типа «хозяин — гость».

При составлении рецептур ТМС нужно исходить из следующего. В структуре солей аминокислот, пептидов, комплексонов и пептидных производных комплексонов имеются донорные атомы азота, ионногенные карбокисильные группы и ионы натрия, имеющие сродство к молекулам воды, и радикалы, имеющие сродство к неполярным молекулам. В системе молекулы солей — молекулы воды образуются сольватокмплексы, структура которых зависит от прочности связей молекул воды с донорными атомами, ионогенными группами и ионами и от их влияния на прочность водородных связей между молекулами воды. В комплексах солей аминокислот наиболее прочно связаны молекулы, находящиеся в непосредственном контакте с



атомами азота аминогруппы, атомами кислорода карбоксильных групп и ионами натрия, а в комплексах солей пептидов — еще с атомами азота, водорода и кислорода пептидной группы.

Такие молекулы составляют их внутреннюю сферу и, в совокупности, образуют первую сольватную оболочку. Число молекул ограничено числом допустимых донорно-акцепторных взаимодействий.

Суммарное число молекул связывающих анион аминокислоты и т. д., соответствует координационному числу анионов, а число ионов натрия — координационному числу катионов.

Молекулы воды внутренних сфер, вследствие влияния сольватированных ими атомов и катионов, имеют повышенную способность к образованию водородных связей. Каждая такая молекула может связать две другие молекулы воды, которые в совокупности формируют вторую сольватную оболочку. Таким же образом формируется третья и последующие оболочки. В каждой сфере прочность водородных связей приближается к прочности водородных связей между молекулами чистой воды и на определенном этапе процесс формирования сольватокмплексов прекращается. Число молекул воды, окружающих катион и анион, приводящих к полной диссоциации, отвечает значениям сольватных чисел ионов.

В жидкой системе, в которой отношение мольного содержания молекул воды к мольному содержанию солей меньше или равно сумме координационных чисел всех катионов и анионов, будут доминировать сольватокмплексы только с первой оболочкой [3].

Внутренняя сфера молекул солей аминокислот, пептидов, комплексонов и пептидных производных комплексонов не является сплошной. Она состоит из отдельных частей, локализованных только около атомов азота, карбоксильных групп и катионов, и не затрагивающих неполярные и малополярные участки молекул солей. В этих условиях данные участки способны непосредственно взаимодействовать с углеводородами нефти, а сольватированные группы способны вступать в реакции комплексобразования с ионами щелочноземельных и тяжелых металлов.

#### Литература

- [1] Владимиров В.С., Корсун Д.С., Карпунин И.А., Мойзис С.Е. *Технологии: Переработка и утилизация нефтешламов резервуарного типа* [Электрон. ресурс] <http://www.mavr.ru/ogneupor/st/25.doc>.
- [2] Николаев П.В., Козлов Н.А., Петрова С.Н. *Основы химии и технологии производства синтетических моющих средств: учеб. пособие*. Иваново, 2007, 117 с.
- [3] *Исследование по разработке экологически-безопасных рецептур для зачистки (отмывки) поверхностей, емкостей, загрязненных нефтью и нефтепродуктами: отчет о НИР (заключительный)*. 229 /ФГОУ МГАВТ; рук. В.К. Новиков; исп. А.Я. Фридман [и др.] — Москва, Альтаир — МГАВТ, 2009, 70 с.
- [4] Шевердяев О.Н., Белов П.С., Шкитов А.М. *Основы технологии поверхностно-активных веществ и синтетических моющих средств: учеб. пособие*. Москва, МГОУ, 2001, 205 с.

## Physicochemical Bases of Washing, Contaminated with Oil Products Surfaces, Using Compositions of Environmentally Friendly Surfactants

© Romanova M.V.  
Novikov V.K.

mvromanova82@mail.ru  
vknovikov@yandex.ru

FSFEI HE «MSAWT», Moscow, 117105, Russia

*Set out the factors that determine the effectiveness of surface cleaning of tanks contaminated with oil and oil products, from an environmental point of view. The peculiarities of contamination of surfaces by oil sludge. The principles of interaction of the surfactant with the contaminant and the contaminated surface. Given the rationale for the use of components of detergent based on salts of peptides, amino acids, chelators and peptide derivatives of chelators.*

**Keywords:** *sludge, contaminant, cleaning, washing, detergent, environmental safety.*

УДК 599.722

## Основные причины возникновения аварий на тепловых электростанциях

© Савельева Яна Эдуардовна<sup>1</sup>  
Калайдов Александр Николаевич<sup>2</sup>

yanasave@gmail.com

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> Академия государственной противопожарной службы МЧС РФ, Москва, 129366, Россия

*Энергетическое производство связано с повышенным риском возникновения опасности для сотрудников. В данной статье проанализированы возможные аварии, их последствия и факторы, влияющие на возникновение аварий. Приведены возможные пути решения этих проблем.*

**Ключевые слова:** *тепловые электростанции, человек, энергетика, аварии, безопасность, производство, электростанция, эксплуатация.*

В России большое распространение получили тепловые электростанции (ТЭС), их доля в России по выработке энергии на 2015 г. составляет 68 %, а остальная доля приходится на атомные электростанции (АЭС) и гидроэлектростанции (ГЭС) [1]. Тепловая электростанция представляет собой комплекс помещений, состоящий из объектов производства, подсобно-производственных помещений и объектов бытового назначения, соединенных системами коммуникаций. Основным помещением на данном производстве является главный корпус, в нем располагаются почти все производственные мощности для выработки электрической энергии. В российских и многих зарубежных ТЭС для главного корпуса характерна полиблочная компоновка, что предусматривает расположение всех энергоблоков в одном помещении. По-

либлочная система имеет существенный недостаток — отсутствие возможности установки противопожарных перегородок между блоками. Данная конструктивная особенность не обезопасит остальные энергоблоки при возгорании одного.

По статистике 90 % всех аварий на ТЭС вызваны отказом в работе оборудования и сопровождаются пожарами, остальные 10 % являются следствием повреждения строительных конструкций.

Основной и самой распространенной причиной аварий на ТЭС является человеческий фактор, на его долю приходится около 65 % всех аварий на этом производстве [2]. Чтобы уменьшить влияние человеческого фактора на аварийность производства, предлагаются следующие организационные меры:

- улучшение качества подготовки сотрудников — проведение аттестаций и проведение курсов повышения квалификации;
- ужесточение мер наказания за несоблюдение техники безопасности для рабочих и руководящего персонала;
- необходима вневедомственная служба безопасности;
- желательно наладить контакт с ведущими энергетическими высшими учебными заведениями для совместного решения проблем безопасности, связанных с энергетикой.

Персонал — это основа любого производства. Необходимо привлекать к производству только работников с достаточно высокой квалификацией, к сожалению, это очень трудно реализовать на территории России из-за того, что только студенты Москвы и Санкт-Петербурга имеют достаточный доступ к новым технологиям в этой сфере, а эти станции расположены по всей России.

Одна из наиболее актуальных проблем возникновения аварий на электростанциях — физический износ оборудования. Поскольку из-за недостаточного финансирования строительство новых ТЭС невозможно в больших объемах, большинство старых станций приходится ремонтировать и восстанавливать для продления их срока службы. У большинства станций заложенный срок эксплуатации 40 лет, и по истечении этого срока станцию необходимо выводить из эксплуатации, но в нашей стране проводят ремонт оборудования. Не только состояние оборудования может привести к аварии на ТЭС, но и износ несущих конструкций корпусов. Обрушение стен также может подвергнуть опасности работников станции и оборудование, находящееся в корпусе. При решении этой проблемы необходимо формировать для каждой станции собственную ремонтную службу, состоящую из высококвалифицированных специалистов, которые будут проводить контроль состояния ТЭС, следить за своевременным ремонтом и обслуживанием. Данные службы должны быть под контролем не предприятия, а Государственного федерального энергетического надзора.

С развитием информационных технологий появилась возможность удаленного управления системами ТЭС. В связи с этим возникает еще один вопрос безопасности на энергетическом производстве — его информационная защита. Сейчас активно прорабатывается возможность объединения всех энергетических объектов в общую сеть при помощи протокола — Интернет, что, несомненно, упростит контроль и управление технологическими системами, но их внедрение способствует возможным атакам со стороны вредоносного программного обеспечения [3]. Необходимо создать собственную систему защиты объектов от возможных хакерских атак и провести изучение этих угроз. На электростанциях России уже столкнулись с атаками так называемых интеллектуальных червей. Для обеспечения информационной безопасности на ТЭС необходима не только разработка серьезной системы безопасности от информационных атак, но и сохранение блока ручного управления станцией. С развитием в России собствен-

ной спутниковой системы ГЛОНАС рекомендуется также отдать предпочтение именно ей вместо распространенного на данный момент GPS.

Итак, рассмотрены основные причины возникновения аварий на тепловых электростанциях. Для каждой из причин были приведены возможные решения, которые стоит перенести в реальность для обеспечения безопасности. Часть решений предусматривает дополнительное финансирование данной сферы. Однако когда речь идет о снабжении энергией огромного населения и о безопасности сотрудников, финансовые затраты оправдывают вложения в безопасность.

### Литература

- [1] Терентьев И.А., Раев Б.Х., Валитов В.А., Пименова Г.А., Соколова А.С., Цветкова Т.Н. *Анализ пожаров, произошедших на тепловых электростанциях Минтопэнерго РФ за 1992 год*. Москва, СПО ОРГРЭС, 1993, с. 37.
- [2] Острейковский В.А. *Эксплуатация атомных станций*. Москва, Энергоатомиздат, 1999, 928 с.
- [3] Гуревич В.И. Интеллектуальные сети. Новые перспективы или новые проблемы? *Электротехнический рынок*, 2010, № 6 (I часть), с. 62–66; 2011, № 1 (II часть), с. 90–97.

## Causes of Accidents at Thermal Power Plants and Ways to Solve Them

© Saveleva I.E.<sup>1</sup>  
Kalaidov A.N.<sup>2</sup>

yanasave@gmail.com

<sup>1</sup>BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup>Academy of state fire service of EMERCOM RF, Moscow, 129366, Russia

*Energy production is associated with an increased risk of danger to employees. This article analyzes possible accidents, their consequences and the factors that influence their occurrence. Possible ways of solving these problems are given.*

**Keywords:** TPP, human, energy, accident, safety, production, power station, operation.

УДК 502.3 Н-73

## Концептуальные основы обеспечения экологической безопасности комплексного обслуживания судов в порту

© Скворцов Евгений Евгеньевич  
Новиков Василий Константинович

evgeny5405@gmail.com  
vknovikov@yandex.ru

Московская государственная академия водного транспорта — филиал ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, Москва, 117105, Россия

*Приведены концептуальные основы в области источников экологической опасности, приводящие к загрязнению окружающей среды при выполнении работ, осуществляе-*

*мых в ходе комплексного обслуживания судов водного транспорта в порту. Изложены структура концепции обеспечения экологической безопасности при комплексном обслуживанию судов в порту, возможный механизм и мероприятия по ее реализации.*

**Ключевые слова:** *водный транспорт, комплексное обслуживание судов, окружающая среда, загрязнение окружающей среды, экологическая безопасность.*

Речные и морские порты создают локальные зоны загрязнения окружающей среды (ОС) в результате своей производственной деятельности — накопление, хранение и сортировка грузов, их принятие и отправление, выполнение перегрузочных работ и пассажирских операций, комплексное обслуживание судов (КОС), бункеровка судов, обеспечение условий движения судов в акватории порта и их отстоя [1–3]. Все это в совокупности по различным причинам приводит к загрязнению ОС, обуславливает актуальность и необходимость проведения специальных исследований по поиску и разработке соответствующих путей и методов обеспечения экологической безопасности (ЭБ) проводимых при КОС работ.

Под экологической безопасностью комплексного обслуживания судов в порту понимается такое состояние его производственной деятельности по обслуживанию судов, которое не создает угрозы для ОС и человека в морском и речном порту, прилегающей к нему территории, соответствует потребностям системы КОС, исключает любую опасность здоровью человека и будущим поколениям.

Основными источниками экологической опасности при выполнении мероприятий при КОС *в ходе портового (эксплуатационного) обслуживания судов* являются:

- при выполнении грузовых операций — подъемно транспортная техника, сыпучие и наливные грузы, приводящие к загрязнению воздушной среды ОГ и пылью, водной среды — проливами жидкости;
- при выполнении переформировочных и рейдово-маневровых работ — двигатели судов и буксиров, приводящие к загрязнению воздушной среды ОГ и шумом;
- при зачистке судов от остатков груза и биологического обрастания корпусов судов — двигатели судов, танки, сыпучие и наливные грузы;
- ТМС и биологическое обрастание корпусов судов, приводящие к загрязнению воздушной среды ОГ и шумом, водной среды остатками нефти, нефтепродуктов, сыпучих и наливных грузов, микроорганизмами;
- при снабжении судов топливом и смазкой — система бункеровки, приводящая к загрязнению водной среды дизтопливом и смазочными маслами;
- при приеме с судов приоритетных веществ (ПВ) и отработанных масел, сухого мусора и пищевых отходов — двигатели и спецоборудование судов-сборщиков, приводящие к загрязнению воздушной среды ОГ и шумом, водной среды — сточными водами (СВ), ПВ, сухим мусором и пищевыми отходами;

*в ходе технического обслуживания* при проведении плановых технических уходов по всем элементам судна и силовой установке источниками экологической опасности являются спецоборудование и материалы, приводящее к загрязнению водной среды проливами ТМС, сливами смывов, загрязненной ветошью;

*в ходе навигационного ремонта* при организации работ по внеплановому, повторному и аварийному ремонтам силами ремонтно-технических мастерских источниками экологической опасности являются механический цех и сварочный участок, приводящие к загрязнению воздушной среды металлической пылью, оксидами марганца, азота и углерода, ацетиленом.

В этих условиях для успешного обеспечения ЭБ при КОС в порту необходима разработка концепции, регламентирующей цели, направления, задачи и принципы проведения единой политики в области предотвращения загрязнения ОС в ходе его осуществления.

По своему содержанию концепция структурно должна состоять из следующих трех разделов:

1. *Описание проблемной ситуации в сфере ЭБ при КОС, т. е.:*

- перечень потенциальных и реальных угроз загрязнения ОС при КОС;
- источники загрязнения ОС на различных этапах КОС;
- негативные последствия загрязнения ОС при КОС.

2. *Механизм обеспечения ЭБ, предусматривающий:*

• определение объектов защиты ОС порта от загрязнения на различных этапах КОС;

- формулирование политики и стратегии ЭБ;
- принципы обеспечения ЭБ;
- цели обеспечения ЭБ;
- задачи обеспечения ЭБ;
- критерии и показатели ЭБ при КОС;
- обоснование структуры по управлению системой ЭБ (типа АРМ) при КОС.

3. *Мероприятия по реализации мер ЭБ при КОС:*

• формирование структуры подсистемы ЭБ при КОС, как общей системы безопасности (ЭБ) порта;

• разработка перечня и структуры практических мероприятий по обеспечению ЭБ при КОС;

• разработка структуры нормативно-методического документа (типа Наставления...), регламентирующего предотвращение загрязнения ОС при КОС.

Для разработки содержательной части концепции необходимо осуществить математическое моделирование процессов образования и распространения экологически опасных факторов во время проведения работ при КОС, являющееся основой для принятия соответствующих решений в части совершенствования используемой техники, оборудования и технологии их применения, способов выполнения работ.

Также необходимо разработать модуль (подсистему) автоматизированного рабочего места диспетчера службы комплексного обслуживания судна, позволяющего контролировать состояние экологической обстановки при выполнении работ при КОС и принимать соответствующие управленческие решения в целях предотвращения загрязнения ОС и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с экологическими последствиями в случае их появления.

Мероприятия *технического и технологического* характера должны быть направлены на разработку и создание принципиально новых технических средств выполнения работ при КОС с более совершенной технологией.

Сущность *организационных* мероприятий сводится к разработке системы управления ЭБ при КОС, содержащей практические рекомендации по организации и обеспечению ЭБ при проведении всего комплекса работ при КОС.

Таким образом, разработка перечисленных мероприятий содержательной части концепции обеспечения ЭБ при КОС в порту является предметом дальнейших исследований.

## Литература

- [1] Федер. закон от 8 ноября 2007 г. № 261-ФЗ «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
- [2] Мизгирев Д.С. Научное обоснование технических решений и разработка на их основе систем для судов комплексной переработки отходов. Дис. ... д-ра техн. наук. Н. Новгород, 2016, 571 с.
- [3] Порядок обработки судов в порту [Электрон. ресурс] [http://studopedia.ru/3\\_208973\\_poryadok-obrabotki-sudov-v-portah.html](http://studopedia.ru/3_208973_poryadok-obrabotki-sudov-v-portah.html) (дата обращения 20.08.2016).

## Conceptual Basis for Environmental Safety Complex Service of Ships in the Port

© | Skvortsov E.E.  
Novikov V.K.

evgeny5405@gmail.com  
vknovikov@yandex.ru

FSFEI HE "MSAWT", Moscow, 117105, Russia

*The conceptual bases in the field of sources of environmental hazard, leading to environmental pollution in the performance of works carried out in the course of integrated service of ships of water transport in the port, are presented. The structure of the concept of ensuring environmental safety in the integrated service of ships in the port, the possible mechanism and activities for its implementation are outlined.*

**Keywords:** *water transport, integrated vessel services, environment, pollution, environmental safety.*

УДК 502.05

## Разработка системы для контроля температурно-влажностного режима чердачных, подвальных и архивных помещений города Санкт-Петербурга

© | Ступников Александр Вадимович  
Кустикова Марина Александровна

avstupnikov@corp.ifmo.ru  
marinakustikova@mail.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, 197101, Россия

*Изучены проблемы мониторинга температурно-влажностного режима помещений, различные виды первичных преобразователей и датчиков для отслеживания температуры и влажности. Выполнен анализ существующих элементных решений данной проблемы. Определены дальнейшие перспективы по работе в этой области.*

**Ключевые слова:** *температурно-влажностный режим, первичный преобразователь, датчик, мониторинг.*

**Введение.** Температурно-влажностный режим воздуха является одним из основных технологических параметров в жилых и производственных помещениях и в общественных зданиях. Влажность воздуха — это один из факторов, определяющих самочувствие человека и условия комфорта для него. Регулирование влажности воздуха (наряду с другими его параметрами) необходимо во всех установках для создания искусственного климата, начиная с лабораторных камер-гигростатов, вплоть до современных фитотронов. В промышленности актуальны задачи контроля и регулирования влажности воздуха в складских и производственных помещениях, связанных с гигроскопическим сырьем, полуфабрикатами и готовыми изделиями (пищевая, текстильная, бумажная, полиграфическая, кино-фотоматериалов и другие отрасли промышленности), на некоторых машино- и приборостроительных предприятиях (для предотвращения коррозии изделий, создания необходимых условий при сборке и испытаниях приборов), в промышленности полупроводниковых материалов и приборов, электронной и т. д.

Целью работы было разработать автоматизированную систему мониторинга температурно-влажностного режима помещений г. Санкт-Петербурга. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- провести литературный обзор по данной теме;
- изучить существующие методы контроля температурно-влажностного режима помещений, используемые в настоящий момент на территории Санкт-Петербурга;
- разработать рекомендации по выбору технической и элементной базы для системы мониторинга;
- спроектировать систему и представить первоначальную модель.

Температурно-влажностный режим — это один из физических параметров, характеризующих микроклимат помещений. Влажность воздуха в помещении зависит от различных факторов: влажности наружного воздуха; интенсивности воздухообмена; эксплуатационных влаговыделений, а следовательно, и от плотности заселения; влажностного состояния ограждений. Обычно из-за наличия эксплуатационных влаговыделений абсолютная влажность воздуха в помещении больше абсолютного значения у наружного воздуха. Влияние влажности материалов ограждений на влажность воздуха помещений может значительно ослабляться эксплуатационными мероприятиями (отоплением, проветриванием), в особенности при наружных температурах, более высоких, чем расчетные. Относительная влажность жилых помещений колеблется от 30 до 50 %, а абсолютная — от 6 до 8 %.

В данный момент для отслеживания температурно-влажностного режима помещений в Санкт-Петербурге используют ряд приборов и систем, начиная от магнитных термогигрометров и заканчивая автоматизированной системой контроля Hanwell. В большинстве своем данные приборы и системы применяют для мониторинга музейных и архивных помещений. Однако жилищным комитетом Санкт-Петербурга была поставлена задача — разработать подобную систему для мониторинга подвальных и чердачных помещений жилых зданий. Авторами данной статьи был произведен анализ существующей элементной базы датчиков влажности и температуры и были выбраны несколько из них, отвечающих нужным требованиям (см. таблицу).



**Характеристики различных датчиков влажности и температуры**

Характеристика	Тип датчика		
	H200M и H300M	H500M	H600M
Тип чувствительного элемента для определения влажности	Резистивный	Емкостной	Емкостной
Чувствительный элемент для определения температуры	Терморезистор 50 кОм		
Диапазон измеряемой влажности, %	10...95	0...100	0...100
Основная погрешность, %	±5	±4	±4
Напряжение питания, В	5 (5 %)	5 (± 2 %)	5 (± 2 %)
Диапазон выходного напряжения, В	0 ~ 3,0 В	0,38 ~ 0,68 В	0,38 ~ 0,68 В
Ток потребления, не более, мА	5	1,5	1,5
Рабочий диапазон температур, °С	0... +60	0... +50	-20... +70
Габаритные размеры, мм	34×22×13	34,5×22×12	34,5×22×12

Для осуществления дальнейшей работы необходимо провести дополнительные экономические расчеты, а также вычислить параметры системы, отвечающие за коммуникацию и предоставление данных конечному потребителю.

**Литература**

- [1] Берлинер М.А. *Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности*. Москва, Энергия, 1965, 488 с.
- [2] Иванченко О.И., Катушкин В.П. Сорбционно-резистивный термогигрометр. *Научное приборостроение*, 2007, т. 17, № 2, с. 94–95.
- [3] Environmental Condition Sensor. Catalog 15. Micro Switch Honeywell Inc. USA, September 2000, pp. 155.
- [4] Датчики фирмы “Honeywell”. Библиотека электронных компонентов, вып. 15: Изд. «Додэка». Москва, 2000, с. 18–21.

**Development of a System for Monitoring the Temperature-Humidity Regime of the Attic, Basement and Archival Rooms of the City of St. Petersburg**

© | Stupnikov A.V.  
Kustikova M.A.

avstupnikov@corp.ifmo.ru  
marinakustikova@mail.ru

ITMO University, Saint-Petersburg, 97101, Russia

*The paper deals with the problems of monitoring the temperature and humidity conditions of premises, various types of primary transducers and sensors for monitoring temperature*

and humidity. The analysis of existing elemental solutions of this problem is carried out. Further prospects for work in this field have been determined.

**Keywords:** temperature-humidity regime, primary converter, sensor, monitoring.

УДК 537.2.628.353/354.678.02732:677.494

## Применение фильтров Петрянова с конфигурированием волокнистого слоя в противорадиационных убежищах

© Трубникова Анастасия Эдуардовна  
Татаринов Виктор Викторович

trubnikova.anastasiya94@yandex.ru  
viktor.tatarinov@bk.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Описана возможность применения фильтров Петрянова с конфигурированием волокнистого слоя в противорадиационных убежищах с целью уменьшения параметров фильтровентиляционной камеры.*

**Ключевые слова:** атомная электростанция, противорадиационное укрытие, фильтр Петрянова, конфигурационный волокнистый слой.

Атомные электростанции (АЭС) вследствие накопления в процессе эксплуатации значительных количеств радиоактивных продуктов и наличия принципиальной возможности выхода их при авариях за предусмотренные границы представляют собой источник потенциальной опасности или источник риска радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду [1]. По причине малого времени образования радиоактивного облака при выбросе радиационных веществ (порядка 0,3...0,5 ч) существует необходимость спасения и укрытия находящихся в наиболее близкой к очагу воздействия людей, а именно персонала АЭС.

Постановлением правительства РФ от 29 ноября 1999 г. № 1309 введен порядок создания убежищ и иных объектов гражданской обороны [2].

Противорадиационные укрытия создаются для защиты:

- работников организаций, расположенных за пределами зон возможных сильных разрушений и продолжающих свою деятельность в период мобилизации и военное время;
- населения городов и других населенных пунктов, не отнесенных к группам по гражданской обороне, а также населения, эвакуируемого из городов, отнесенных к группам по гражданской обороне, зон возможных сильных разрушений организаций, отнесенных к категории особой важности по гражданской обороне, и зон возможного катастрофического затопления [3].

Для описания возможности использования противорадиационных укрытий при реализации наиболее критичного сценария аварии на АЭС рассмотрена Курская АЭС.

К помещениям, приспособляемым под противорадиационные укрытия, предъявляются следующие требования:

- наружные ограждающие конструкции зданий или сооружений должны обеспечивать необходимую кратность ослабления гамма-излучения;

- проемы и отверстия должны быть подготовлены для заделки их при переводе помещения на режим укрытия;
- помещения должны располагаться вблизи мест пребывания большинства укрываемых [3].

Исходя из вышесказанного, а также из анализа вероятной зоны загрязнения при наиболее опасной аварии на Курской АЭС [1], укрытие следует разместить в зоне автостоянки, поскольку данная территория будет подвержена минимальному заражению в соответствии со среднестатистическим направлением ветра (рис. 1).

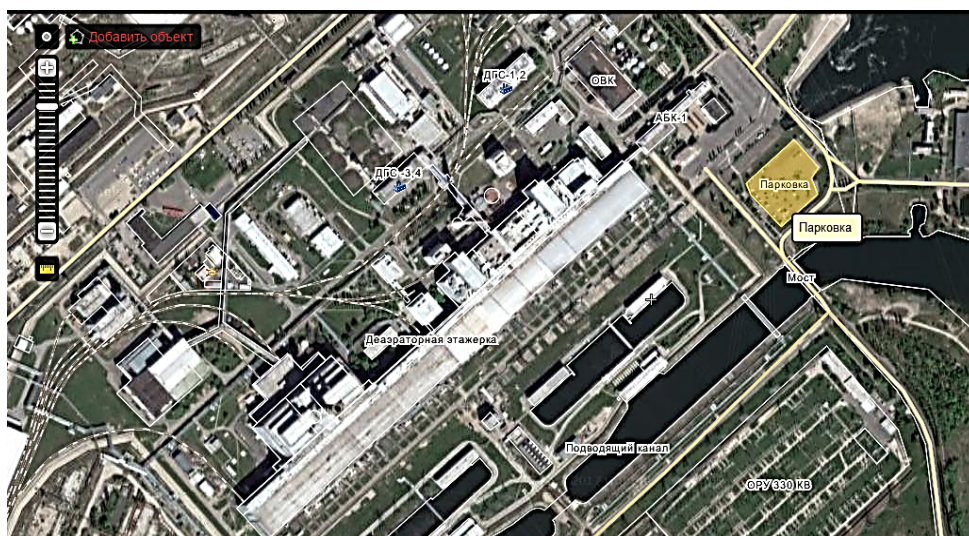


Рис. 1. Возможная зона размещения противорадиационного укрытия

Для осуществления деятельности Курская АЭС укомплектована кадрами соответствующей квалификации. По данным на 1 января 2008 г. численность персонала составила 5700 человек, а наибольшая работающая смена — 3300 человек [1]. Расчет параметров противорадиационного убежища рекомендуется проводить в соответствии с количеством персонала наибольшей рабочей смены.

Воздухоснабжение убежищ осуществляется за счет наружного воздуха при условии его предварительной очистки. Система воздухоснабжения не только подает в убежище необходимое количество воздуха, но и защищает от попадания внутрь сооружения радиоактивной пыли, отравляющих веществ, бактериальных средств, дыма и окиси углерода при пожарах [3].

При режиме фильтровентиляции воздух пропускают через фильтры-поглотители, где он очищается от отравляющих веществ и бактериальных средств. Фильтры-поглотители имеют определенную пропускную способность [3].

В настоящее время в убежищах и других защитных сооружениях гражданской обороны, имеющих автономное электропитание, в качестве фильтрующих элементов в фильтровентиляционных установках используются фильтры-поглотители ФП-300 (200), ФП-300-1 и ФПУ-200.

ФП-300 имеет диаметр 580 мм, высоту — 610 мм, диаметр отверстия для входа и выхода воздуха — 150 мм.

Из условия количества наружного воздуха, подаваемого в убежища [4], находим

$$L_{\text{возд}} = (N_{\text{укр}} \cdot 2) + (N_{\text{упр}} \cdot 5) + (N_{\text{ФВП}} \cdot 10) = (3400 \cdot 2) + (20 \cdot 5) + (40 \cdot 10) = 7500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Исходя из того, что обычно ФПУ-300 монтируют в колонку по три, количество фильтровальных блоков для фильтровентиляционной камеры проектируемого противорадиационного укрытия на территории Курской АЭС составляет

$$n_{\text{блок}} = \frac{n_{\text{ФПУ300}}}{3} = \frac{50}{3} = 17 \text{ блоков}.$$

Объем одного блока равен  $V_{\text{блок}} = \frac{\pi d^2 h}{4} = \pi \cdot 0,58^2 \frac{0,61}{4} \cdot 3 = 0,48 \text{ м}^3$ , а для установки из восьми таких блоков  $V_{8\text{блок}} = 0,48 \cdot 17 = 8,16 \text{ м}^3$ .

Размеры подобной установки говорят о значительных габаритных параметрах соответствующей фильтровентиляционной камеры. Для уменьшения габаритов системы предлагается использовать фильтр Петрянова с конфигурационным волокнистым слоем.

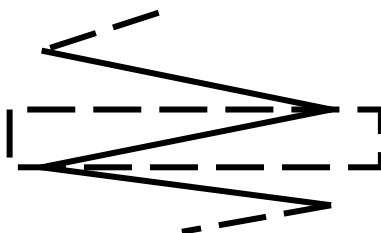


Рис. 2. Двумерная конфигурация волокнистого слоя

Согласно [4], выберем конфигурацию фильтрующего слоя с одинаковыми смежными каналами и формой поперечного сечения в виде равностороннего треугольника. На рис. 2 изображен повторяющийся элемент такого конфигурированного фильтрующего слоя (ограниченный штриховым контуром), через него проходит ламинарный поток с объемным расходом  $Q_0$ . Элемент состоит из смежных половин входного и выходного каналов. Для данной конфигурации фильтрующего слоя  $\delta = 2$ , следовательно рабочая поверхность канала составит  $33,1 \text{ см}^2$ , их число в фильтре будет 6405 штук, а габаритные параметры фильтра, с квадратным входным сечением будут следующими: высота и ширина — 680 мм, длина — 358 мм. Исходя из условий производительности, потребуется четыре фильтра ФП Д-9. Объем установки из четырех фильтров займет

$$V_{4\text{ФП}} = 4(a \cdot b \cdot h) = 0,68 \cdot 0,358 \cdot 0,68 = 0,68 \text{ м}^3;$$

$$\frac{V_{8\text{блок}}}{V_{4\text{ФП}}} = \frac{8,16}{0,68} = 12 \text{ раз}.$$

Таким образом, применение фильтра Петрянова с конфигурированием волокнистых слоев дает возможность уменьшить объем, занимаемый фильтровальными установками, в 12 раз, а также максимально снизить концентрацию загрязняющих веществ в воздухе благодаря эффективности 99,999 %.

## Литература

- [1] Исламов Р.Т., Деревянкин А.А., Жуков И.В., Берберова М.А., Дядюра С.С. Мардашова Ю.А., Кальметьев Р.Ш. Оценка риска для АЭС с реакторами типа РБМК. *Известия вузов. Ядерная энергетика*, 2011, № 3, с. 56–62.
- [2] *Постановление* Правительства РФ от 29 ноября 1999 г. № 1309 «О порядке создания убежищ и иных объектов гражданской обороны».
- [3] Кириллова Г.Н. *Защитные сооружения гражданской обороны (устройство и эксплуатация)*: учебно-методическое пособие. Москва, Издательство «Институт риска и безопасности», 2004, 288 с.
- [4] Басманов П.И., Кириченко В.Н., Филатов Ю.Н., Юров Ю.Л. *Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова*. Москва, 2002, 193 с.

## The Use of Petryanov's Filters with the Configuration of the Fibrous Layer in the Anti-Radiation Shelters

© | Trubnikova A.E.  
Tatarinov V.V.

trubnikova.anastasiya94@yandex.ru  
victor.tatarinov@bk.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article describes the possibility of applying Petryanov's filters with the configuration of a fibrous layer in anti-radiation shelters in order to reduce the parameters of the filter-ventilation chamber.*

**Keywords:** nuclear power plant (NPP), anti-radiation shelter, Petryanov's filter, configuration fiber layer.

УДК 614.841.315.007

## Ретроспективный анализ пожарной опасности и средства дистанционного обнаружения лесных пожаров

© | Шайдуллина Алина Фаридовна<sup>1</sup>  
Калайдов Александр Николаевич<sup>2</sup>

alinsmorten@gmail.com

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> Академия государственной противопожарной службы МЧС РФ, Москва, 129366, Россия

*Рассмотрены вопросы замены действующей методики прогнозирования пожаров по погодным условиям, на более модифицированные показатели, а также необходимость использования средств дистанционного обнаружения лесных пожаров.*

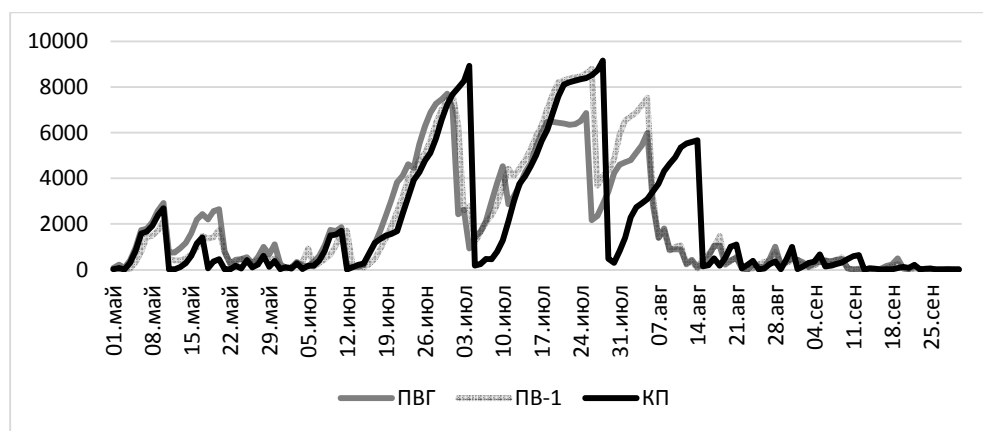
**Ключевые слова:** лесные пожары, методика прогнозирования, ретроспективный анализ, средства дистанционного обнаружения, экологический мониторинг.

Лесные пожары на протяжении многих лет являются первостепенной проблемой мирового общества. Последствия лесных пожаров удручающие: человеческие жертвы, выгорание многолетних лесов, нарушение экологического равновесия данной территории: уничтожение мест обитания животных, приводящие к их вынужденной миграции, повреждение структуры почв, попадание в атмосферу углекислого газа и канцерогенов [1].

Проблема предотвращения лесных пожаров — одна из ключевых для оптимизации экологического мониторинга и минимизации воздействия на компоненты геосистем [2]. Статистика лесных пожаров (по данным Росстата), показывает, что за период с 2007 по 2012 г. на 10 754 тыс. га лесных земель были пожары, их них 258,1 млн м<sup>3</sup> леса сгорело накорню.

С 1999 г. на территории Российской Федерации для мониторинга и прогнозирования лесных пожаров используется ГОСТ 22.1.09–99 [3], основанный на комплексном показателе пожарной опасности (КПО). Также были проведены исследования, направленные на улучшение показателя КПО и разработаны его модификации: показатель влажности надпочвенного покрова (ПВ-1) и показатель влажности с учетом гигроскопичности (ПВГ).

По указанным показателям пожарной опасности был проведен Ретроспективный анализ применительно к территории Катанского района Иркутской области на основе архивных данных о погоде и информации о пожарах на этой территории в расчетный период с 1 мая по 31 сентября 2014 г. [3]. Результаты анализа (см. рисунок), а также подробная информация об индексах пожарной опасности в статье [4], наглядно демонстрируют необходимость модернизации действующей методики прогнозирования пожаров России в сторону улучшенного показателя влажности с учетом гигроскопичности.



Графическое сравнение коэффициентов КПО, ПВ-1 и ПВГ

Анализ графических материалов рисунка показывает, что графики индексов ПВГ и ПВ-1 эквидистантны по отношению друг к другу, а небольшое отклонение объясняется тем, что ПВ-1 для наступающего дня рассчитывается утром, но по метеоданным вчерашнего дня. Стоит отметить, что ПВГ показывает в наиболее долгий и засушливый период несколько меньший суммарный показатель пожарной опасно-

сти, это напрямую связано с учетом поправок на гигроскопичность лесогорючих материалов (ЛГМ). Наблюдается смещение пиков графика пожарной опасности индекса КПО во временной шкале, что связано с грубым учетом осадков. В результате, в пожароопасный период комплексный показатель пожарной опасности дает смещенную на более поздний период информацию о риске пожарной опасности.

Чтобы более корректно оценить результаты исследований, для каждого индекса были посчитаны коэффициенты корреляции в соответствии с данными о пожарной активности, которые составляли

- для КПО — 0,71;
- для ПВ-1 — 0,79;
- для ПВГ — 0,81.

Прогнозирование лесных пожаров, дает возможность принять своевременные меры по уменьшению ущерба от действия пожара, однако полностью предотвратить пожар невозможно, в том числе по причине непредсказуемости точек возникновения пожара.

Обнаружение возгорания с помощью дымовых и лазерных датчиков — это альтернативный метод противопожарной защиты открытых участков как в дневное, так и в вечернее время. Используя стандартные камеры для замкнутой телевизионной системы в качестве датчиков, система распознает и обрабатывает изображения с целью определения характерных признаков структуры дыма и пламени, делая различия между дымом и легким туманом или пылью.

Наиболее активно используемые системы дистанционного обнаружения пожаров являются следующие:

- Forest Fire Search System “Golden eye”(FFSS);
- видеонаблюдение «Лесной Дозор»;
- семейства ИТС «Ясень» (информационно-технологическое сопровождение).

Таким образом, раннее предупреждение о пожарах, а также экологический мониторинг (радиологической, химической и метеорологической обстановки) позволяют успешно выполнять требования по защите окружающей среды. Для достижения высокой эффективности работы службы технического сервиса необходимо решить целый ряд задач концептуального, организационного и технологического характера. В частности, необходимо разработать и утвердить необходимые стандарты, уточнить (разработать) бизнес-процессы служб и подразделений информатизации, порядок взаимодействия эксплуатационных и других служб.

#### Литература

- [1] Перминов В.А., Федорова О.П., Шипулина О.В. *Методика численного решения задач теории лесных пожаров и охраны окружающей среды*. Томск, ТГУ, 1995, 70 с.
- [2] Глаголев В.А., Коган Р.М. Пространственный прогноз метеорологических показателей опасности лесных пожаров. *Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности»*, 2014, вып. 4 (56), с. 16–18.
- [3] ГОСТ 22.1.09–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования.
- [4] Шайдуллина А.Ф. Сравнительный ретроспективный анализ методов прогнозирования лесных пожаров по метеорологическим данным. *Журнал «Проблемы науки»*, 2016, № 7 (8), с. 22–25.

## Retrospective Analysis of Fire Danger and Means of Remote Detection of Forest Fires

© | Shaidullina A.F.<sup>1</sup>  
Kalaidov A.N.<sup>2</sup>

alinsmorten@gmail.com

<sup>1</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> Academy of state fire service of EMERCOM RF, Moscow, 129366, Russia

*In the labor discusses the replacement of the current methodology for forecasting fires by weather conditions, for more modified indicators. And also the need to use means of remote detection of forest fires*

**Keywords:** forest fires, prediction methods, retrospective analysis, remote detection facilities, ecological monitoring.

УДК 622.691.4.053

## Анализ риска аварии на магистральном газопроводе в зоне Чульмаканского разлома

© | Шакурова Ангелина Рашидовна<sup>1</sup>  
Сущев Сергей Петрович<sup>2</sup>

shakurova\_angelina@mail.ru

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> Центр исследований экстремальных ситуаций, Москва, 127015, Россия

*Определен риск аварии на магистральном газопроводе при условии пересечения им зоны активного тектонического разлома. Необходимость учета наличия разломов подтверждается расчетами и анализом статистических данных.*

**Ключевые слова:** анализ риска, активный тектонический разлом, авария, магистральный газопровод.

Трасса магистрального газопровода «Сила Сибири» пролегает в различных природно-климатических условиях. При анализе риска аварий должны быть исследованы все характерные для районов размещения явления, процессы и факторы природного и техногенного происхождения, которые могут оказывать влияние на безопасность газопровода и вызывать негативное воздействие на население и окружающую среду [1].

Большой процент прокладки газопровода приходится на сейсмоопасные районы Восточной Сибири, Прибайкалья, Дальнего Востока, где имеется достаточно много тектонических разломов, а сейсмическая активность часто превышает 8 баллов. В частности, газопровод «Сила Сибири» пересекает Чульмаканский разлом. Опасность пересечения трубопроводом активного тектонического разлома заключается в том, что при землетрясениях возможны смещения до нескольких метров, что, в свою оче-



редь, приводит к разрыву трубопровода. В связи с этим анализ риска аварий на магистральных трубопроводах в сейсмоопасных зонах, а также на участках активных тектонических разломов является довольно актуальной задачей.

Вероятность возникновения аварий на магистральных газопроводах в зонах активных тектонических разломов определяется такими составляющими, как вероятность аварии на трубопроводах по отрасли, вероятность возникновения землетрясения определенной интенсивности за год в рассматриваемом районе и вероятность выхода сейсмогенного разрыва на поверхность при землетрясениях разной интенсивности.

По данным статистики риск на магистральном газопроводе составляет  $R_{ст} = 0,79 \cdot 10^{-4}$  1/год [2].

Расчет вероятности аварии на магистральном газопроводе «Сила Сибири» в зоне Чульмаканского разлома [3] представлен в таблице.

**Оценка риска аварии на магистральном газопроводе «Сила Сибири» в зоне Чульмаканского разлома от сейсмогенного действия**

Показатели	Карта ОСП-97-А (повторяемость 1 раз в 500 лет)	Карта ОСП-97-В (повторяемость 1 раз в 1000 лет)	Карта ОСП-97-С (повторяемость 1 раз в 5000 лет)
Интенсивность, балл	7	8	9
Вероятность аварий от воздействия сейсмических волн	0,05	0,17	0,77
Вероятность выхода разлома на дневную поверхность	0,03	0,11	0,46
Вероятность аварии	0,08	0,26	0,88
Риск разрушения трубопровода, 1/год	$1,57 \cdot 10^{-4}$	$2,61 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-4}$

Согласно проведенным расчетам, вероятность разрушения трубопровода от сейсмического воздействия на участке тектонического разлома имеет максимальное значение при расчете по карте ОСП-97-В и составляет для участка магистрального газопровода в зоне Чульмаканского разлома  $R_s = 2,61 \cdot 10^{-4}$  1/год.

Статистический риск аварии на участке трубопровода длиной  $L_m$  в зоне активного тектонического разлома равен

$$R_{ст}^{АТР} = \frac{R_{ст} \cdot L_T}{1000} = \frac{0,79 \cdot 10^{-4} \cdot 150}{1000} = 0,12 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Риск разрушения трубопровода в зоне Чульмаканского разлома составит

$$R = R_{ст}^{АТР} + R_s = 0,12 \cdot 10^{-4} + 2,61 \cdot 10^{-4} = 2,73 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год;}$$

$$\frac{R}{R_{ст}^{АТР}} = \frac{2,73 \cdot 10^{-4}}{0,12 \cdot 10^{-4}} = 21,75.$$

Из расчета видно, что риск в зоне разлома увеличивается по сравнению со статистическим значением для данного участка почти в 22 раза. Поэтому очень важно учитывать наличие тектонических разломов при определении рисков на магистральных трубопроводах.

### Литература

- [1] СТО 2-2.1-249-2008. *Магистральные газопроводы.*
- [2] Владимиров В.А, Измалков В.И., Измалков А.В. *Оценка риска и управление техногенной безопасностью.* Москва, ФИД «Деловой экспресс», 2002, 184 с.
- [3] *Проведение инженерных изысканий на выявленных участках активных тектонических разломов:* Отчет ЦИЭКС. Москва, 2009.

## Analysis of the Accident at the Main Gas Pipeline in the Chulmakansky Fault Zone

© | Shakurova A.R.<sup>1</sup> shakurova\_angelina@mail.ru  
| Suschev S.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> VMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> Center for research extreme situations, Moscow, 127015, Russia

*In the labor the value of an accident risk on the main gas pipeline is determined in case of crossing the active tectonic fault zones by this pipeline. The necessity of considering these zones is proved by calculations and analysis of statistical data.*

**Keywords:** risk analysis, active tectonic fault, accident, main gas pipeline.

УДК 622.691.4

## Задача о рассеивании легких газов в атмосфере с учетом рельефа местности и атмосферной устойчивости

© | Яшина Дарья Игоревна yashinadasha1994@yandex.ru  
| Татаринов Виктор Викторович viktor.tatarinov@bk.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Показаны недостатки методики ОНД-86 для оценки рассеивания легких газов в атмосфере. Обосновано преимущество использования CFD-моделирования. Рассмотрены математические зависимости, лежащие в основе программных комплексов вычислительной газодинамики.*

**Ключевые слова:** рассеивание, легкие газы, ОНД-86, модели турбулентности, уравнения газодинамики.

Для расчета концентраций веществ, выбрасываемых предприятиями, существует методика ОНД-86, разработанная ГОСКОМГИДРОМЕТом СССР в 1986 г. [1]. В случае применения этой методики для расчета концентраций легких газов возникает значительная погрешность [2]. Считается, что легкие газы достаточно быстро рассеиваются, однако при определенных метеорологических условиях они могут оказаться в приземных слоях атмосферы, и задерживаться там длительное время.

Так же, методика ОНД-86 не учитывает рельеф местности, классы устойчивости атмосферы и другие факторы. Поэтому для расчета концентрации лучшим образом подходят различные CFD-пакеты [3]. Данные пакеты представляют собой комплекс программ, в котором расчетная область разбивается на конечное число объемов (элементов), и для каждого объема выполняется численное решение ряда дифференциальных уравнений.

В общем случае для задач газодинамики требуется решить систему из четырех независимых уравнений — систему уравнений Навье — Стокса.

Уравнение неразрывности представляет собой гидродинамическую форму записи закона сохранения вещества. В декартовых координатах:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0,$$

где  $v_x, v_y, v_z$  — компоненты скорости в направлении осей декартовой системы координат  $x, y, z$ ;  $\rho$  — плотность;  $t$  — время.

Уравнение движения представляет собой закон сохранения количества движения. Проекция закона на ось  $x$ :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho v_x}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_x v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y v_x)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z v_x)}{\partial z} = \\ & = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + R_x + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_e \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_e \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_e \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + T_x, \end{aligned}$$

где  $g$  — компонента сил гравитационного притяжения;  $R$  — распределенное сопротивление;  $\mu_e$  — эффективная вязкость;  $T$  — вязкостные потери.

Уравнение энергии представляет собой закон сохранения энергии:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho c_p T_{tot})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_x c_p T_{tot})}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y c_p T_{tot})}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z c_p T_{tot})}{\partial z} = \\ & = -\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial T_{tot}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K \frac{\partial T_{tot}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial T_{tot}}{\partial z} \right) + W + E + Q; \end{aligned}$$

$$T_{tot} = T_{stat} + \frac{v^2}{2c_p},$$

где  $c_p$  — удельная теплоемкость;  $T_{tot}, T_{stat}$  — полная и статическая температуры;  $K$  — теплопроводность;  $W$  — диссипативная функция;  $E$  — кинетическая энергия;  $Q$  — теплотери.

Уравнением состояния пользуются только при описании газов и выражает связь между давлением, объемом и температурой.

В CFD-пакетах используется несколько моделей турбулентности [4]. Модель  $k$ - $\varepsilon$  является наиболее удачной. Турбулентные величины в ней описываются системой двух нелинейных дифференциальных уравнений — для кинетической энергии диссипации  $k$  и скорости диссипации турбулентной энергии  $\varepsilon$ . Уравнение для кинетической энергии  $k$ :

$$\rho \frac{dk}{dt} + \rho \bar{u}_i \frac{dk}{dx_j} = \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]. \quad (1)$$

Уравнение для скорости диссипации турбулентной энергии  $\varepsilon$ :

$$\rho \frac{d\varepsilon}{dt} + \rho \bar{u}_i \frac{d\varepsilon}{dx_j} = c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - c_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_\varepsilon \mu_t) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right]; \quad \mu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}. \quad (2)$$

Константы модели:  $c_{\varepsilon 1} = 1,44$ ;  $c_{\varepsilon 2} = 1,92$ ;  $C_\mu = 0,09$ ;  $\sigma_k = 1$ ;  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ .

Модель  $k$ - $\omega$  схожа с моделью  $k$ - $\varepsilon$ , основывается на двух дифференциальных уравнениях, но вместо уравнения для скорости диссипации используется уравнение для удельной скорости диссипации  $\omega$ .

Уравнение для удельной скорости диссипации  $\omega$ :

$$\rho \frac{d\omega}{dt} + \rho \bar{u}_i \frac{d\omega}{dx_j} = \alpha \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right]. \quad (3)$$

Уравнение для кинетической энергии  $k$ :

$$\rho \frac{dk}{dt} + \rho \bar{u}_i \frac{dk}{dx_j} = \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]; \quad (4)$$

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega}; \quad \tau_{ij} = \rho \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \operatorname{div} \bar{u} \right)$$

Константы модели:  $\beta = \frac{3}{40}$ ,  $\beta^* = 0,09$ ,  $\alpha = \frac{5}{9}$ ,  $\sigma_k = \sigma_\omega = 0,5$ .

Также существует SST-модель (shear stress transport), которая является комбинацией  $k$ - $\varepsilon$  и  $k$ - $\omega$  моделей: для расчета течения в свободном потоке используют уравнения  $k$ - $\varepsilon$  модели, а в области вблизи стенок — уравнения  $k$ - $\omega$  модели.

Описывают многофазные потоки с помощью моделей Лагранжа и Эйлера [4]. Модель Эйлера, предусматривает отдельное решение уравнений для каждой фазы, что упрощает расчеты, но не позволяет определять положение частиц; она применима при любом содержании примесей. Модель Лагранжа рассматривает уравнение движения каждой частицы и определяет ее положение в любой момент времени; используется только при малом содержании примесей, так как требует значительных вычислительных затрат.

Модель турбулентности, описываемая уравнениями (1), (2), дает лучшую сходимость результатов, поэтому она подходит для предварительных расчетов. При получении требуемых результатов с использованием данной модели следует переходить к моделям турбулентности, описываемым уравнениями (3), (4).

### Литература

- [1] ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.
- [2] Купцов А.И., Акберов Р.Р., Исламхузин Д.Я., Гимранов Ф.М. Проблемы расчета рассеивания легких газов в атмосфере при их выбросах со свечи с учетом рельефа и застройки местности и атмосферной устойчивости. *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, т. 17, № 6, с. 284–286.
- [3] Fiorucci A., Pontiggia M., Derudi M., Alba M., Scaioni M., Pendino R., Uguccioni G., Rota R. *Risk assessment of dangerous products release and dispersion: a comparison between CFD and integral models* [Электрон. ресурс] <http://www.aidic.it/CISAP3/webpapers/66Fiorucci.pdf> (дата обращения 13.03.2017).
- [4] Щербakov М.А., Юн А.А., Крылов Б.А. *Сравнительный анализ моделей турбулентности с использованием научного кода «FASTEST-3D» и коммерческого пакета ANSYS CFX*. Москва, Изд-во МАИ, 2009.

## The Problem of Diffusion of Light Gases in the Atmosphere, Taking into Account the Terrain and Atmospheric Stability

© | Yashina D.I.  
Tatarinov V.V.

yashinadasha1994@yandex.ru  
victor.tatarinov@bk.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The work shows the shortcomings of the OND-86 technique for estimating the dispersion of light gases in the atmosphere. The advantage of using CFD modeling is grounded. The mathematical dependences underlying the software complexes of computational gas dynamics are considered.*

**Keywords:** dispersion, light gases, OND-86, turbulence models, gasdynamic equations.

УДК 532.5.013

## Вычисление нестационарных гидродинамических нагрузок методом вихревых петель

© Дергачев Сергей Александрович  
Щеглов Георгий Александрович

sadergachev@mail.ru  
georg@energoman.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Описаны методики вихревых петель. Проведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными. Показана достоверность результатов моделирования.*

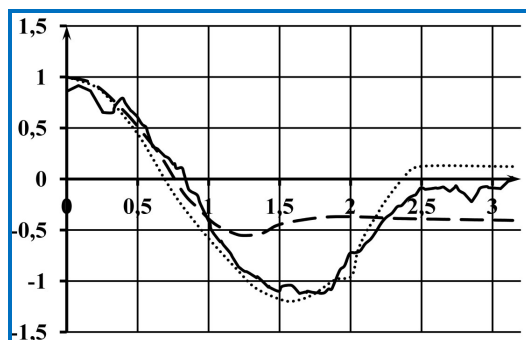
**Ключевые слова:** метод вихревых петель, вихревые нити, вычислительная гидродинамика, обтекание тел, поток несжимаемой среды.

**Введение.** Для расчета аэродинамических характеристик летательных аппаратов в настоящее время активно используются методы компьютерного моделирования течений. Существующие методы решения практических задач аэрогидродинамики подразделяются на сеточные и бессеточные. Особенность сеточных методов при этом требует задавать малые размеры сетки в области гидродинамического следа за телом для правильного моделирования вихревых структур. Данная особенность приводит к значительным временным затратам при проведении моделирования. Применение бессеточных вихревых методов характеризуется расчетом эволюции следа с помощью перемещающихся частиц в среде как носителей завихренности. Среди вихревых бессеточных методов стоит выделить методы дискретных вихрей, изолированных вихревых частиц-вortexов, комбинированные методы.

В методе дискретных вихрей рассматриваются отрезки вихревых нитей, соединенные в замкнутые рамки [1, 2]. Вне отрезков завихренность отсутствует. Из рамок в следе за телом формируются тонкие неразрывные вихревые пелены. Генерация новых рамок производится на конечном числе кривых, обычно априорно заданных на обтекаемой поверхности. Метод требует использования дополнительных эмпирических моделей для динамического определения мест отрыва потока и моделирования перестроения вихревых структур, например, при взаимодействии пелен или разрыве пелен при обтекании тел.

В методах изолированных вихревых частиц-вortexов у вихревого элемента основная часть завихренности сосредоточена в точке [3], на отрезке [4] или в эллипсои-





**Рис. 1.** Зависимость коэффициента давления для сферы по сравнению с экспериментом [11]

Анализ частотных характеристик коэффициента поперечной нагрузки при обтекании цилиндра показал принципиальное соответствие экспериментальным данным.

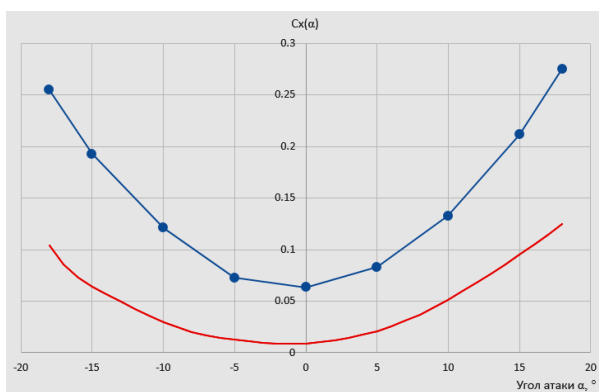
Значительные численные отличия результатов отмечены в коэффициенте лобового сопротивления при моделировании крыла, при этом результаты качественно сходятся, кроме того, коэффициент подъемной силы и момента тангажа практически совпадают с экспериментальными (рис. 2). Отличия обусловлены недостаточной дискретизацией крыла в передней части, где при обтекании реализуется значительный градиент давления, а использование нормальных компонент скорости при решении условия непротекания накладывает ограничения на соотношение размеров максимальной и минимальной панели. Тем не менее коэффициент лобового сопротивления крыла в эксперименте и в расчете малы и относительно сопротивления тела в практическом расчете не должны оказать значительного влияния на суммарное лобовое сопротивление тела с крылом.

**Выводы.** Тестирование модификации метода вихревых элементов показало, что алгоритм обеспечивает устойчивый расчет эволюции вихревой пелены. Вихревой след заменяется множеством изолированных петель, которые могут деформироваться и перезамыкаться, что позволяет эффективно моделировать процессы перестроения вихревых структур. Применение вихревой петли в качестве вихревого элемента исключает присущую вихрям дополнительную завихренность, распределенную в пространстве, поскольку вся завихренность сосредоточена в вихревых нитях. Модель генерации вихревых петель на всей поверхности обтекаемого тела позволяет моделировать отрыв потока с гладкой поверхности достоверно за счет самоорганизации вихревых петель. Показана количественная достоверность результатов расчетов обтекания тел. Предложенная методика и алгоритм могут быть применены для расчета обтекания летательных аппаратов различного назначения.

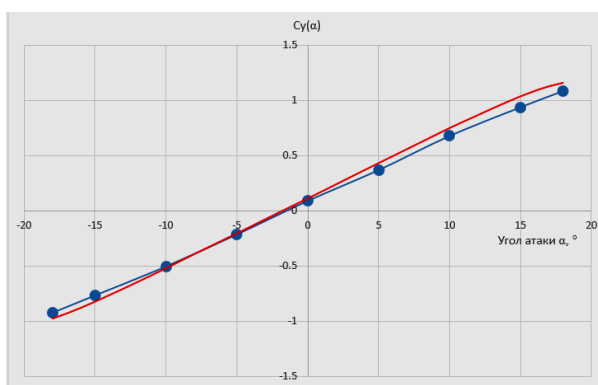
### Литература

- [1] Трехмерное отрывное обтекание тел произвольной формы / под ред. С.М. Белоцерковского. Москва, ЦАГИ, 2000, 265 с.
- [2] Murua J., Palacios R., Graham J.M.R. Assessment of Wake-Tail Interference Effects on the Dynamics of Flexible Aircraft. *AIAA Journal*, 2012, vol. 50, no. 7, pp. 1575–1585.
- [3] Alkemade. A.J.Q. *On Vortex Atoms and Vortons: PhD Thesis*. Delft, (The Netherlands), 1994, 209 p.

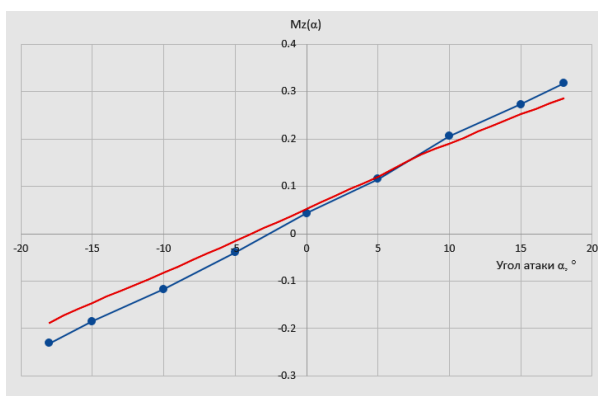




а



б



в

**Рис. 2.** Значения коэффициентов подъемной силы (б), лобового сопротивления (в скоростной системе координат) (а) и момента тангажа (относительно передней кромки профиля) в зависимости от углов атаки  $-18^\circ \dots 18^\circ$ . Красная сплошная линия — данные из атласа профилей [12], синие точки — результаты, полученные по расчету

- [4] Marchevsky I.K., Scheglov G.A. Symmetrical Vortex Fragmentation as a Vortex Element for Incompressible 3D Flow Simulation. *The Sixth International Conference on Computational Fluid Dynamics: Book of Abstracts*. St.Petersburg, 2010, pp. 328–329.
- [5] Kamemoto K. On Contribution of Advanced Vortex Element Methods Toward Virtual Reality of Unsteady Vortical Flows in the New Generation of CFD. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2004, vol. XXVI, no. 4, pp. 368–378.
- [6] Aparinov A.A., Setukha A.V. Application of mosaic-skeleton approximations in the simulation of three-dimensional vortex flows by vortex segments. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 2010, vol. 50, no. 5, pp. 890–899.
- [7] Willis D.J., Peraire J., White J.K. A combined pFFT-multipole tree code, unsteady panel method with vortex particle wakes. *International Journal for numerical methods in fluids*, 2007, vol. 53, no. 8, pp. 1399–1422.
- [8] Weißmann, S., Pinkall, U. Filament-based smoke with vortex shedding and variational reconnection. *ACM Trans. Graph.* 2010, vol. 29, no. 4, art. 115, 12 p.
- [9] Дергачев С.А., Щеглов Г.А. Моделирование эволюции переплетенных вихревых нитей методом вихревых элементов. *Научный вестник МГТУ ГА*, 2015, № 212 (2), с. 18–25.
- [10] Дергачев С.А., Щеглов Г.А. Моделирование обтекания тел методом вихревых элементов с использованием замкнутых вихревых петель. *Научный вестник МГТУ ГА*, 2016, № 223 (1), с. 19–25.
- [11] Flachsbarth O. Der Widerstand von Kugeln in der Umgebung der kritischen Reynoldsen Zahl. *Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, IV. Lieferung*. 1932, pp. 106–108.
- [12] Ушаков Б.А., Красильщиков П.П., Волков А.К., Гржегоржевский А.Н. *Атлас аэродинамических характеристик профилей крыльев*. Москва, БНТ НКАП при ЦАГИ, 1940, 340 с.

## Calculation of Non-Stationary Hydrodynamic Loads Using Method of Vortex Loops

© | Dergachev S.A.  
Shcheglov G.A.

sadergachev@mail.ru  
georg@energoman.ru

BMSTU of Bauman, Moscow, 105005, Russia

*This paper contains description of the technique of vortex loops, comparison of simulation results with experimental data. Here is shown a reliability of the simulation results.*

**Keywords:** *method of vortex loops, vortex filaments, computational hydrodynamic, flow around bodies, flow of incompressible medium.*

УДК 533.6.072

## Особенности проектирования и изготовления весовых и свободноштопорящих аэродинамических моделей для экспериментальных исследований в аэродинамических трубах

©	Жирихин Кирилл Владимирович	kirill.zhirikhin@tsagi.ru
	Левицкий Александр Вячеславович	alexandr.levitsky@tsagi.ru
	Усов Александр Викторович	skystyle@mail.ru
	Вермель Владимир Дмитриевич	

Центральный аэродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского, Жуковский, 140180, Россия

*Рассмотрены особенности проектирования и изготовления весовых и свободноштопорящих аэродинамических моделей для экспериментальных исследований в аэродинамической трубе. Приведен краткий обзор типов аэродинамических моделей и их назначение. Описаны основные этапы проектирования и эффективные конструкторско-технологические решения для изготовления высокоинформативных аэродинамических моделей. Представлены перспективные технологии и области их применения в модельном производстве.*

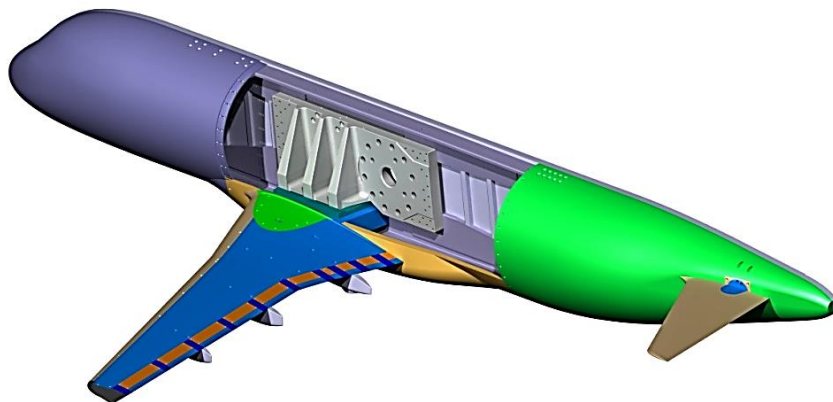
**Ключевые слова:** аэродинамическая модель, аэродинамическая труба, конструкция, изготовление, задача, решение.

В процессе создания пассажирского самолета, перед вводом его в эксплуатацию, проводят многочисленные стендовые испытания для отработки всех систем летательного аппарата. В зависимости от целей экспериментальных исследований в ЦАГИ проектируют и изготавливают аэродинамические модели летательных аппаратов (ЛА) следующих типов: весовые, предназначенные для определения нагрузок, действующих как на весь ЛА, так и на отдельно взятые отклоняемые элементы механизации и органы управления; динамически подобные и свободноштопорящие, предназначенные для исследования нестационарных аэродинамических характеристик ЛА, динамических характеристик устойчивости и управляемости, частотных характеристик и различных форм сваливания и штопора.

В течение ряда лет в ЦАГИ проводятся работы, направленные на разработку эффективных технологических решений в области конструирования аэродинамических моделей и технологии их изготовления. Критериями оценок для них являются: типизация, позволяющая сократить сроки разработки моделей и расширить области их применения; повышение интегральности конструкции; возможность реализации в условиях опытного производства и др. Важным критерием также становится внедрение развиваемых наукоемких технологий: высокоскоростное фрезерование на станках с ЧПУ; изготовление интегрированных деталей и агрегатов формованием из полимерных композиционных материалов (ПКМ); применение установок селекционного лазерного спекания из металлического порошка для изготовления деталей сложной формы, которые невозможно выполнить традиционным способом фрезерной обработки.

При проектировании аэродинамических моделей активно используют ряд зарекомендовавших себя типовых конструкций: силовых узлов, пилонов закрылков, кронштейнов-фиксаторов предкрылков, тормозных щитков и интерцепторов, петель, осей и цапговых зажимов для установки угловых положений отклоняемых рулевых поверхностей (см. рисунок) [1].

Ряд решений — применение конструкций из фотополимерных композиций; системы дистанционного управления отклоняемыми поверхностями [2]; измерения в реальном времени нагрузок на модель — разрабатывались в течение продолжительного времени и прошли апробацию.



Типовая конструкция силового центрального узла крупноразмерной полумодели самолета МС-21

Для исследования характеристик штопора и методов вывода из него используют свободноштопорящие модели, геометрически и динамически подобные моделируемым самолетам. Конструкция таких моделей имеет очень плотную компоновку. Большой опыт по проектированию такого рода моделей позволил разработать типовые узлы и общие подходы к проектированию элементов конструкции моделей. Это позволяет создавать модели, отвечающие жестким требованиям по массе, ремонтнопригодности, удобству обслуживания, надежности элементов конструкции, изменению комплектации модели для разных экспериментов. Технологический процесс производства свободно-штопорящих аэродинамических моделей из ПКМ представляет собой два основных этапа — технологическая подготовка производства и непосредственно изготовление модели [3]. Технологическая подготовка производства заключается в изготовлении большого количества матриц, необходимых для производства обшивки модели. Большинство матриц изготавливаются из модельного пластика фрезерованием на станке с ЧПУ по математическим моделям.

Накопленный опыт и рациональные конструкторские решения, применяемые при проектировании весовых и свободноштопорящих аэродинамических моделей, позволили в сжатые сроки изготовить и испытать в аэродинамических трубах ЦАГИ широкий ряд аэродинамических моделей современного высокотехнологичного пассажирского самолета МС-21. Результаты экспериментальных исследований подтвердили высокое аэродинамическое совершенство и конкурентоспособность самолетов семейства МС-21.

## Литература

- [1] Шардин А.О., Копылов А.А., Севостьянов С.Я., Громышков А.Д., Юстус А.А., Григорьев И.В., Жирихин К.В., Левицкий А.В., Руденко Д.С. Проектирование и изготовление крупномасштабных моделей самолетов для исследования аэродинамических характеристик в аэродинамической трубе на примере типовой модели пассажирского самолета. *Известия Самарского научного центра РАН*, 2016, т. 18, № 1 (2), с. 378–381.
- [2] Левицкий А.В., Севостьянов С.Я. Система дистанционного управления отклоняемыми поверхностями аэродинамической модели самолета для трубных испытаний. *Труды ЦАГИ*, 2013, вып. 2719, с. 11–18.
- [3] Горский А.А., Евдокимов Ю.Ю., Кулеш В.П., Трифонов И.В., Усов А.В. Применение технологии вакуумной инфузии при работе с полимерными композиционными материалами в модельном производстве. *Труды ЦАГИ*, 2017, вып. 2757, с. 49–59.

## Features of Designing and Manufacturing of Weight and Free-Spinning Aerodynamic Models for Experimental Studies in Aerodynamically Pipe

© | Zhirikhin K.V.  
| Levitsky A.V.  
| Usov A.V.  
| Vermel V.D.

kirill.zhirikhin@tsagi.ru  
alexandr.levitsky@tsagi.ru  
skystyle@mail.ru

TsAGI, Zhukovsky, 140180, Russia

*In this article the features of designing and manufacturing of weight and free-spinning aerodynamic models for experimental studies in ADT are considered. A brief review of the types of aerodynamic models and their purpose is given. Describes the main tasks arising during the design, and effective design solutions for the production of highly informative aerodynamic models. Prospective technologies and areas of their application in model production are reviewed.*

**Keywords:** aerodynamic model, aerodynamically pipe, design, manufacturing, task, solution.

УДК 621.396.96

### Объединение информации в РЛС наведения и целеуказания

© | Былдин Алексей Юрьевич sm2-2@inbox.ru  
Хорошенин Александр Дмитриевич sm2-2@inbox.ru  
Жураковский Валерий Николаевич sm2-2@inbox.ru

Научно-исследовательский институт специального машиностроения  
МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Исследованы алгоритмы объединения информации от нескольких РЛС разной точности. Рассмотрены различные методы объединения данных в комплексе радиолокационных станций на разных этапах обработки информации. Проведены анализ представленных методов и моделирование работы нескольких РЛС с объединением информации.*

**Ключевые слова:** алгоритмы объединения данных, комплекс радиолокационных станций, обработка информации.

В современных комплексах радиолокационных станций (РЛС) линии связи имеют возможность обмена большими объемами промежуточной информации, что позволяет применять продвинутые алгоритмы объединения данных от нескольких станций для повышения эффективности комплекса в целом. Таким образом, совместная обработка в комплексе увеличивает точность получаемой информации о фоновых целях (рис. 1).

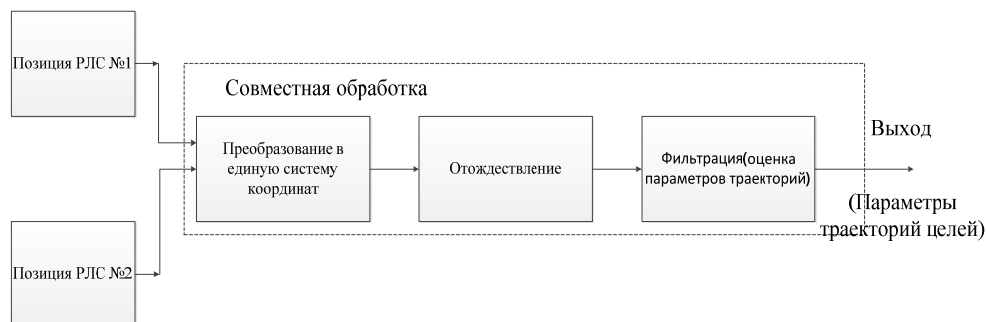


Рис. 1. Совместная обработка информации

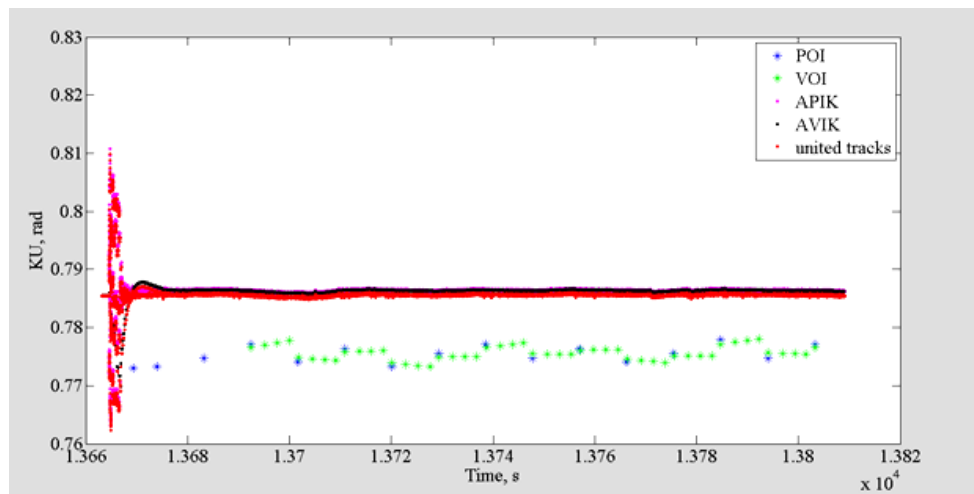
В рамках поставленной задачи рассматривается комплекс, состоящий из двух разнесенных РЛС с разными характеристиками. Одна из систем — РЛС целеуказания, которая одновременно может сопровождать большое количество целей [1] и предназначена для обнаружения, распознавания, определения координат и сопровождения целей. Вторая радиолокационная система — РЛС наведения — осуществляет более точное сопровождение меньшего числа целей [2]. Целесообразно объединять данные от нескольких РЛС и получать более точную информацию. Возможны несколько подходов.

1. Объединение единичных замеров «первичных координат» в результирующую траекторию цели. Если в каждом такте наблюдения многопозиционный комплекс РЛС формирует результирующий вектор состояния цели, то данный комплекс заменяется «эквивалентной» однопозиционной РЛС с повышенной точностью единичных замеров. Поэтому для комплекса можно применить различные модификации фильтра Калмана [3].

Эффективный алгоритм объединения на основе весовых функций представлен в [4] — это рекурсивное объединение пространственно-временной информации при распознавании цели по данным нескольких независимых источников.

2. Объединение траекторий цели, построенных в комплексе РЛС, в результирующую траекторию. Высокое качество сопровождения при прямолинейном движении дает весовое объединение траекторий [3]. Также плюсом данного подхода является меньшая вычислительная сложность, так как отсутствует необходимость в построении сложных фильтров на этапе объединения информации. При сопровождении маневрирующих целей лучше себя показывают методы объединения единичных замеров.

На рис. 2, 3 показаны результаты математического моделирования работы двух рассмотренных РЛС и объединения их выходных данных с помощью специально разработанного модуля, реализующего алгоритм весового объединения траекторий. При устойчивом сопровождении цели обеими РЛС объединенная траектория строится преимущественно по данным более точной системы (РЛС наведения).



**Рис. 2.** Результаты моделирования оценок курсового угла:

POI — координатные отметки системы целеуказания; VOI — траектории системы целеуказания; APIK — координатные отметки системы наведения; AVIK — траектории системы наведения; United tracks — объединенные траектории

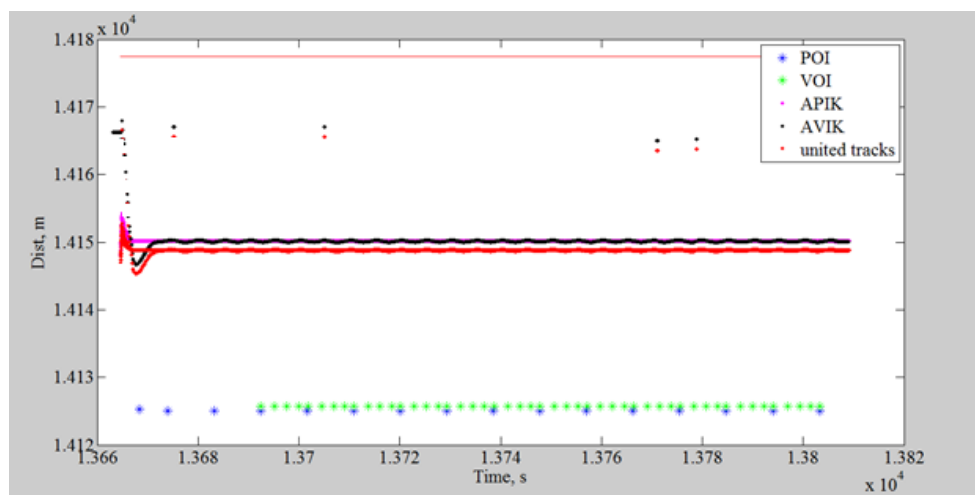


Рис. 3. Результаты моделирования оценок дальности

### Литература

- [1] Жураковский В.Н., Кондрашов К.С. Алгоритм разделения подвижных и малоподвижных объектов в малогабаритной обзорной РЛС. *Спецтехника и связь. РОСНОВ. Научно-технический журнал*, 2015, № 2. [Электрон. ресурс] <http://www.st-s.ru/archive/articles/1606328590> (дата обращения 28.06.2015).
- [2] Былдин А.Ю., Жураковский В.Н., Кондрашов К.С. Алгоритм защиты от активных помех в РЛС на подвижном основании. *Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал*, 2014, № 10. [Электрон. ресурс] <http://engbul.bmstu.ru/doc/737934.html> (дата обращения 28.06.2015).
- [3] Черняк В.С. *Многопозиционная радиолокация*. Москва, Радио и связь, 1993, 416 с.
- [4] Кузьмин С.З. *Цифровая радиолокация. Введение в теорию*. Киев, Издательство КВИЦ, 2000, 428 с.

## Combining Information in the Radar of Guidance and Target Designation

©	Byldin A.Y. Khoroshenin A.D. Zhurakovskiy V.N.	sm2-2@inbox.ru sm2-2@inbox.ru sm2-2@inbox.ru
---	--	--

Scientific Research Institute of Special Machine Building  
of BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This work is devoted to the study of algorithms for combining information from several radars of different accuracy. Various methods of combining data in a complex of radar stations at different stages of information processing are considered. The analysis of the presented methods is carried out, including by means of modeling. An effective algorithm for combining information is proposed.*

**Keywords:** data combining algorithms, complex of radar stations, information processing.



УДК 621.396.96

## Адаптивный обнаружитель в неконтактном датчике цели

© Иванникова Лилия Олеговна sm2-2@inbox.ru  
Жураковский Валерий Николаевич sm2-2@inbox.ru

Научно-исследовательский институт специального машиностроения  
МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Разработана методика проектирования адаптивного неконтактного датчика цели. Рассмотрены существующие алгоритмы сопровождения цели. Представлены технические решения по реализации результатов теоретических исследований. Проведено моделирование объекта исследования. Проведена отработка алгоритма работы цифрового адаптивного датчика цели при уменьшении радиуса срабатывания при изменении высоты.*

**Ключевые слова:** корреляция; обнаружитель; имитационное и вероятностное моделирование; переходные процессы; ложное срабатывание; фильтр.

Обнаружение низколетящих целей на фоне подстилающей поверхности по-прежнему остается важной труднорешаемой задачей. Проблема заключается в том, что сигнал, отраженный от цели, накладывается на сигнал, отраженный от подстилающей поверхности, в условиях произвольного направления сближения РЛС и цели. В этих условиях многие традиционные методы селекции цели, например основанный на доплеровском эффекте, не позволяют получать надежное решение, особенно тогда, когда сигнал, отраженный от подстилающей поверхности, формируется случайным образом в сравнительно большом пятне подсвета [1].

В большинстве современных радиотехнических систем применяется цифровая обработка сигналов. Для отработки алгоритмов цифровой обработки сигнала чаще всего используется имитационное моделирование, имеющее ряд существенных недостатков, так как большинство современных программ, генерирующих случайные последовательности чисел, начинают повторять ранее полученные комбинации значений при большом количестве измерений. Кроме того, имитационное моделирование не позволяет получить очень малые вероятности состояний обнаружителей. Поэтому авторами данной статьи для исследования работы цифровых обнаружителей при коррелированных входных воздействиях предложен метод вероятностного моделирования с использованием аппарата цепей Маркова на основе рекуррентной процедуры и понятия расширенного цифрового автомата [2]. При вероятностном методе моделирования для более высокой точности необходимо использовать многосвязные цепи Маркова и расширенный цифровой автомат (рис. 1). Результаты, полученные с помощью различных типов математического моделирования, сравнивают, и на их основе проводят анализ влияния коррелированности входного сигнала на вероятность ложного срабатывания обнаружителя (рис. 2).

Анализ показал, что вероятностное моделирование при отработке работы цифрового обнаружителя при коррелированном входном сигнале с высокой точностью соответствует имитационной модели, взятой с теми же заданными параметрами [3].

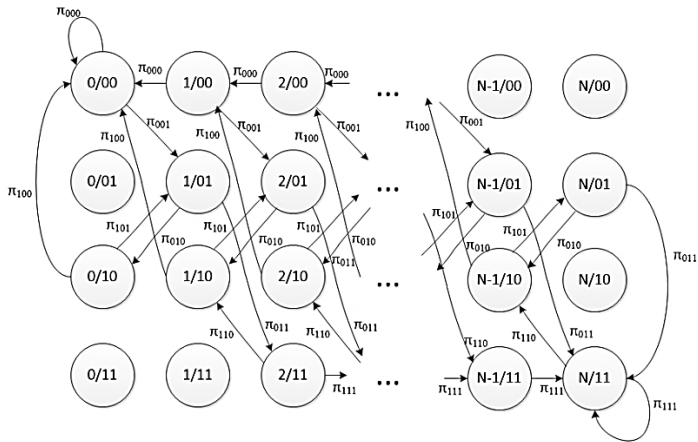


Рис. 1. Граф переходов цифрового измерителя

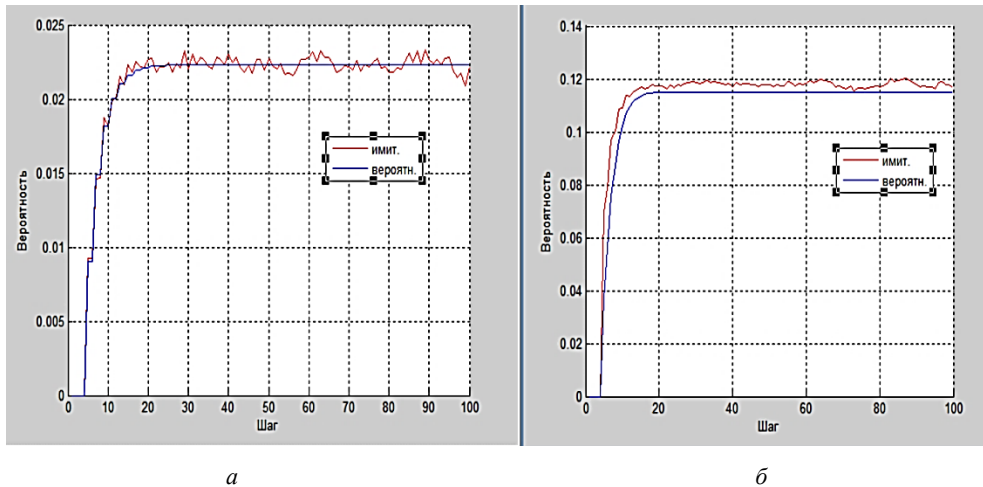


Рис. 2. Вероятность срабатывания обнаружителя:  
 а — при  $\gamma = 0,05$ ; б — при  $\gamma = 0,9$

Для решения задачи обнаружения цели на фоне подстилающей поверхности, необходимо осуществлять управление рабочей зоной неконтактного датчика цели. Оценкой времени задержки радиопульса, отраженного от подстилающей поверхности, в такой системе является временной порог. Время задержки принимаемых импульсов  $\tau_{\phi}$  — случайная величина, имеет некоторый закон распределения. Основными параметрами адаптивной системы являются точность слежения за подстилающей поверхностью, которая в конечном счете определяет точность селекции цели, и помехоустойчивость к сигналам, отраженным от этой поверхности. Точность слежения определяется математическим ожиданием и дисперсией временного порога  $\tau_{пор}$  и зависит от дискретизации шага адаптации.

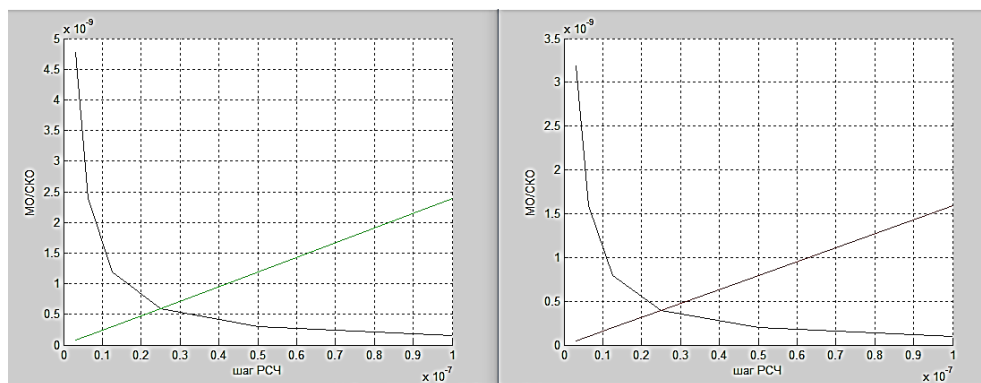


Рис. 3. Зависимость ошибки мат. ожидания и среднеквадратического отклонения от дискретизации шага адаптации

Используя рассмотренный выше вероятностный метод моделирования, можно построить граф переходов цифрового измерителя неконтактного датчика цели и провести анализ работы (рис. 3).

### Литература

- [1] Ипатов В.П., Казаринов Ю.М. Коломенский Ю.А. *Поиск, обнаружение и измерение параметров в радионавигационных системах*. Москва, Сов. радио, 1975, 296 с.
- [2] Жураковский В.Н. *Вероятностное моделирование цифровых автоматов: учеб. пособие для вузов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, 41с.
- [3] Жураковский В.Н., Иванникова Л.О. Вероятностное моделирование цифровых обнаружителей при коррелированных входных воздействиях. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2017, № 6, с. 72-85. DOI:10.7463/0617.0001161

## Multichannel Tracking Algorithm for the Maneuvering Targets

© | Ivannikova L.O.  
Zhurakovskiy V.N.

sm2-2@inbox.ru  
sm2-2@inbox.ru

Scientific Research Institute of Special Machine Building  
of BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This work is devoted to the development of methods for designing an adaptive non-contact target sensor. The existing algorithms of target tracking are considered. Technical solutions have been developed to implement the results of theoretical studies. Modeling of the object of research is carried out. The development of the algorithm for the work of the digital adaptive target sensor is carried out with a decrease in the radius of operation when the altitude is changed.*

**Keywords:** *the detector; Simulation and probabilistic modeling; Transitional processes; false alarm; filter.*

УДК 623.094

## Формирование проблем интеграции инновационной малогабаритной мобильной роботизированной платформы и средств дистанционного кинетического воздействия

© Лапин Дмитрий Владимирович	qmetriq@gmail.com
Власова Наталья Сергеевна	misha198921rip@gmail.com
Товарнов Михаил Степанович	misha198921rip@gmail.com
Быков Никита Валерьевич	nik.bkv@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрена проблема взаимной интеграции сложных мехатронных систем: инновационного малогабаритного мобильного робота и средств дистанционного кинетического воздействия различной физической природы. Определена область знаний для объекта и предмета исследования, выбраны современные методы ее описания. Проанализированы текущие технические решения в данной области, выделены их характерные черты и особенности. Для возможности дальнейших исследований была синтезирована общая схема взаимодействия рассматриваемых систем как составляющих контур «оператор — среда выполнения задачи». На основе поставленной проблемы предложено сформировать метод эффективной интеграции рассматриваемых сложных технических систем. Сделан вывод в части разработки решения данной проблемы в задачах проектирования современных робототехнических комплексов.*

**Ключевые слова:** малогабаритные роботы, средство воздействия, роботы специального назначения, интеграция технических систем.

Современные тенденции выполнения специальных задач в экстремальных условиях указывают на все большую необходимость применения инновационных робототехнических комплексов. Среди прочего существует обоснованная необходимость в малогабаритных мобильных роботизированных платформах (ММРП), способных к перемещению в горизонтальном и вертикальном направлениях. Связано это, прежде всего, с условиями применения робототехнических комплексов в замкнутых ограниченных помещениях с большим количеством препятствий. Данные факторы обуславливают высокие требования к ММРП и способу его перемещения. При этом определенный класс специальных задач подразумевает использование средств дистанционного кинетического воздействия различной физической природы, что накладывает дополнительные ограничения при формировании внешнего облика и особенностей функционирования получаемого комплекса.

Вопрос взаимодействия рассматриваемых подсистем решается в широкой области мехатроники, являющейся синергетическим объединением точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, машин и систем с интеллектуальным управлением функциональными движениями.

Корректное формирование задачи для решения описанной проблемы основывается на предварительном анализе близких по классу и назначению робототехниче-

ских комплексов, а также учете особенностей функционирования вновь разрабатываемой робототехнической платформы вертикального перемещения и средства дистанционного кинетического воздействия.

При анализе существующих технических решений в данной области необходимо выделить параметры внешнего облика образцов, отвечающие особенностям построения и функционирования робототехнической платформы со средством воздействия. Контрольными критериями выборки (параметрами) технических решений в данном случае являются:

- массогабаритные параметры комплекса;
- локомoционные возможности платформы;
- характеристики средства воздействия и его физический принцип;
- система управления комплексом.

Зададим: максимальную массу робототехнической платформы с учетом полезной нагрузки — не более 30 кг; характерный размер комплекса — не более 500 мм; наземный класс локомoции с высокой проходимостью; наличие интегрированного средства дистанционного воздействия на цель либо возможность его модульной установки в рассматриваемую платформу; автоматизированный тип системы управления посредством оператора. Рассматриваемые образцы представлены в таблице.

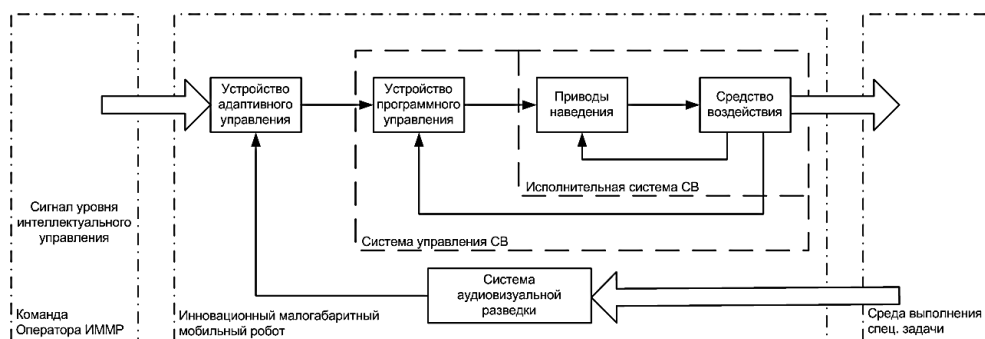
**Существующие робототехнические комплексы с интегрированным средством воздействия [1]**

Название/Страна	Масса комплекса, кг	Характерный размер, мм	Локомoционный принцип	Средство воздействия
DOGO/ Израиль	12	490	Гусеничный ход, устройство подъема на преграды	Установка пистолета Glock 26
VIPeR/ Израиль	12	440	Универсальное трансформируемое шасси	Бесшумный оружейный комплекс
Cameleon CBRN/ Франция	27	670	Гусеничный ход, устройство подъема на преграды	Устройство распыления слезоточивого газа, дымовые гранаты
Cameleon LAB/ Франция	25	670	То же	Устройство распыления слезоточивого газа

Исходя из описанных комплексов, технические решения в части взаимодействия робототехнической платформы и средства воздействия аналогичны по ряду свойств:

- модульная интеграция, позволяющая заменить средство воздействия иным мехатронным комплексов в зависимости от поставленной задачи;
- физический принцип метания с низким импульсом отдачи, что связано с малой устойчивостью мобильных платформ;
- автоматизированная система управления средством воздействия, совмещенная с общим интерфейсом робототехнического комплекса.

Для последующего формирования принципов эффективной интеграции средства дистанционного кинетического воздействия и инновационной малогабаритной мобильной роботизированной платформы, необходимо составить общее представление о получаемой системе. Синтезированная схема взаимодействия систем получаемого комплекса представлена на рисунке.



Функционально-структурная схема робототехнического комплекса

Данная схема определяется общим подходом теории автоматического регулирования к синтезу многоконтурной сложной технической системы [2, 3]. Схема состоит из трех основных контуров:

- иерархическая автоматизированная система управления;
- замкнутый контур системы управления средством воздействия с обратной связью по угловому положению приводов наведения;
- замкнутый контур исполнительной системы средством воздействия с обратной связью по подсистеме подготовки.

При данном исполнении реализуется автоматизированное управление платформой перемещения и средством воздействия.

В дальнейшем исследовании будет показана модель формализации параметров внешней среды и работы, которые служат исходными данными для синтеза математической и имитационной моделей внешнего облика входящих в состав подсистем, а также их взаимосвязи при различных сценариях функционирования. Данные модели послужат основой при создании методов проектирования средств воздействия для робототехнических платформ с учетом их комплексного взаимовлияния, что позволит повысить общую эффективность вновь разрабатываемых робототехнических комплексов специального назначения.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №16-29-09596 офи-м).*

## Литература

- [1] Басов А. *Большой каталог роботов* [Электрон. ресурс] <https://defence.ru/document/126/> (дата обращения 26.08.2016).
- [2] Зеленцов В.В., Зубов В.Н. *Наземные робототехнические комплексы военного назначения: учеб. пособие по курсу «Перспективы развития вооружения»*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, 40 с.
- [3] Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник. Т. 3: *Синтез регуляторов систем автоматического управления* / под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 616 с.

## Formation of Integration Problem for Innovative Small-Sized Mobile Robotic Platform and Remote Kinetic Actuators

© Lapin D.V.  
Vlasova N.S.  
Tovarnov M.S.  
Bykov N.V.

qmetriq@gmail.com  
misha198921rip@gmail.com  
misha198921rip@gmail.com  
nik.bkv@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105500, Russia

*In this article, the problem of complex mechatronic systems integration is considered: an innovative small-sized mobile robot and remote kinetic actuators with various physical nature. The area of knowledge for the object and the subject of research has been determined, and its modern methods for describing these systems have been selected. Current technical solutions in this area are analyzed, their features characteristic are singled out. For the possibility of further research, the general scheme for the system integration was synthesized as components of the "operator — task execution environment" contour. On the basis of the problem posed, it is proposed in the future to form a method for efficient integration of the complex technical systems under consideration. The conclusion is made regarding the development of a solution to this problem in the design of modern robotic complexes.*

**Keywords:** *small robots, remote actuator, special purpose robots, integration of technical systems.*

УДК 623.74:531.66:623.451:62-757

## О методике предварительного расчета ударно-проникающего действия самолетов и авиабомб по корабельным конструкциям

© Попов Юлиан Витальевич  
Пусев Владимир Иванович

mva\_2805@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Исследовано ударно-проникающее действие летательных аппаратов и авиационных бомб по боевым надводным кораблям. Для оценки ударно-проникающего действия самолетов по корабельным преградам использовались аналитические подходы для деформируемых летательных аппаратов при высокоскоростном ударе. Предложены методики расчета такого ударно-проникающего действия по палубе и обшивке борта надводных кораблей. Полученные результаты могут быть использованы при оценке угрозы террористических действий, а также чрезвычайных ситуаций с участием самолетов.*

**Ключевые слова:** *поршневые самолеты, ударно-проникающее действие, высокоскоростной удар, тонкие преграды, баллистический предел.*

Одной из задач при изучении явлений соударения является определение предельной скорости сквозного пробития преград. Такую скорость обычно называют критической скоростью соударения, предельной баллистической скоростью или баллистическим пределом [1].

Аналитические подходы по определению баллистического предела летательного аппарата (ЛА) при высокоскоростном взаимодействии с тонкими преградами используются для расчета баллистического предела поршневых одномоторных самолетов в работах [2, 3]. Кроме того, в [3] проведено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными (верификация) на основании имеющихся в сети Интернет данных о непробитии и пробитии самолетами для камикадзе корабельных преград.

Таким образом, расчетные значения баллистического предела не противоречат имеющимся данным. Методика предварительного расчета ударно-проникающего действия ЛА может быть реализована следующим образом.

Исходные данные для методики:  $M_c$  — «сухая» масса ЛА [4];  $M_b$  — взлетная (стартовая) масса ЛА [4];  $V_{\max}$  — максимальная скорость ЛА [4];  $\sigma_t$  — предел текучести материала экрана;  $h$  — толщина экрана;  $\rho_n$  — плотность материала экрана.

*Порядок (алгоритм) расчета.*

1. Определение диаметра и массы цилиндра, эквивалентного ЛА:

$d$  — диаметр миделевого сечения фюзеляжа (корпуса) аппарата определяем по схеме (чертежу) с учетом масштаба, который рассчитываем по длине;  $m$  — масса эквивалентного цилиндра,

$$m = M_c - kM_b,$$

где  $k$  — проектный коэффициент, учитывающий массу крыльев и оперения ЛА (для одномоторных поршневых истребителей  $k = 0,14$ , у бомбардировщиков  $k = 0,17$  [5, 6]).

2. Вычисление скорости удара:

для одномоторных поршневых самолетов скорость при ударе выражается как [7]

$$V_0 = 0,673V_{\max}.$$

3. Нахождение предела текучести материала экрана:

$\sigma_{t,d}$  — динамический предел текучести материала экрана при растяжении,  $\sigma_{t,d} = 1,25\sigma_t$  [8];  $\tau_{t,d}$  — динамический предел текучести материала экрана при сдвиге,  $\tau_{t,d} = \sigma_{t,d} / \sqrt{3}$ .

4. Расчет баллистического предела и максимальной толщины пробиваемого тонкого металлического экрана.

Для оценки ударно-проникающего действия ЛА используем выражения на основе квазидинамического подхода для тонких преград [9] с учетом деформируемости конструкции ЛА при высокоскоростном ударе [3]

$$V = 2\sqrt{\frac{\pi d h^2 \tau_{t,d}}{2m - \pi d^2 h \rho_n}}; h_{np} = \frac{\sqrt{\pi^2 d^4 \rho_n^2 V_0^4 + 32m V_0^2 \pi d \tau_{t,d} - \pi d^2 \rho_n V_0^2}}{8\pi d \tau_{t,d}},$$

где  $V$  — баллистический предел;  $h_{np}$  — максимальная толщина пробиваемого тонкого металлического экрана.

Если скорость удара  $V_0$  больше баллистического предела  $V$  (т. е.  $V_0 > V$ ), то происходит пробитие, в противном случае — непробитие.



Сформулируем методику оценки ударно-проникающего действия авиационных бомб (АБ), которые в первом приближении считаем недеформируемыми ударниками оживально-цилиндрической формы. При этом для АБ, взаимодействующих с преградой вместе с носителем, в качестве скорости удара принимается скорость самолета при ударе  $V_0$ .

Исходные данные для методики:  $m$ ,  $d$  масса и диаметр АБ;  $V_0$  — скорость удара (полагается известной после расчета для самолета-носителя);  $\sigma_{т.д}$  — динамический предел текучести материала преграды при растяжении (полагается известным после расчета по методике для ЛА);  $h$  — толщина преграды;  $\rho_n$  — плотность материала преграды.

*Порядок (алгоритм) расчета.*

1. Определение длины оживальной головной части АБ:

$L$  — длина оживальной головной части АБ определяется по схеме (чертежу) с учетом масштаба. Масштаб рассчитываем по длине АБ.

2. Расчет баллистического предела и максимальной толщины пробиваемой тонкой металлической преграды:

оцениваем ударно-проникающее действие ударников оживально-цилиндрической формы (АБ) по тонким преградам с помощью выражения на основе квазидинамического подхода [9, 10]

$$h_{н.п} = \frac{128mV_0^2L^2}{\pi d^2(32\sigma_{т.д}L^2 + \rho_n\pi^2V_0^2d^2)}; \quad V = 4dL\sqrt{\frac{2\pi h\sigma_{т.д}}{128mL^2 - \pi^3d^4h\rho_n}}.$$

Если скорость удара  $V_0$  больше баллистического предела  $V$  (т. е.  $V_0 > V$ ), то происходит пробитие, если скорость меньше — не пробитие.

Полученные результаты могут иметь практическое значение для экспертно-криминалистических организаций, подразделений министерств и ведомств Российской Федерации при оценке террористических угроз, а также чрезвычайных ситуаций с участием ЛА.

## Литература

- [1] Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт В.Ф., Грещук Л.Б., Курран Д.Р. *Проникание и пробивание твердых тел. Динамика удара* / пер. с англ. Москва, Мир, 1985, с. 110–172.
- [2] Марков В.А., Попов Ю.В., Пусев В.И. Об ударно-проникающем действии поршневых самолетов по боевым надводным кораблям. *Вопросы оборонной техники*, сер. 16, 2016, вып. 1–2 (91–92), с. 114–121.
- [3] Марков В.А., Попов Ю.В., Пусев В.И. Вопросы ударно-проникающего действия поршневых самолетов по боевым надводным кораблям. *Матер. XXII Международ. симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горикова. Вятчичи*, 15–19 февраля 2016 г. Т. 2. Москва, ООО «ТРИП», 2016, с. 163–178.
- [4] *Уголок неба. Большая авиационная энциклопедия*. [Электрон. ресурс] <http://www.airwar.ru/> (дата обращения 04.12.2015).
- [5] Чумак П.И., Кривокрысенко В.Ф. *Расчет, проектирование и постройка сверхлегких самолетов*. Москва, Патриот, 1991, 238 с.
- [6] Кузнецов С. *Пошаговое руководство по расчету легкого самолета*. [Электрон. ресурс] <http://vzletim.aero/info/2498/> (дата обращения 22.07.2015).
- [7] Иванов Ю. *Камикадзе: пилоты-смертники*. Смоленск, Изд-во «Русич», 2001, 526 с.
- [8] Lethaby J.W., Skidmore I.C. The deformation and plugging of thin plates by projectile impact. *Mech. Properties High Rate Strain. Proc. Conf.*, Oxford, 1974, no. 21, pp. 429–441.

- [9] Томсон В. Приближенная теория пробивания брони. *Механика (сб. перев.)*, 1956, № 1, с. 134–139.
- [10] Brown A. A quasi-dynamic theory of containment. *Int. J. Mech. Sci.*, 1964, vol. 6, no. 4, pp. 257–262.

## On the Method of Preliminary Calculation Shock-Penetrating Effect of Airplanes and Aerial Bombs on Ship Structures

© | Попов Ю.В.  
| Пусев В.И.

mva\_2805@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The paper studies the shock-penetrating effect of aircraft and aerial bombs on surface combatant. Analytical models for deformable aircraft during high-speed impact were used to estimate shock-penetrating effect of airplanes on ships. The procedures for calculation the shock-penetrating effect of aircraft and aerial bombs on the deck and side shell plating of ships is proposed in this paper. The results obtained are of great importance nowadays for estimating terrorist threats involving aircraft and accident involving aircraft.*

**Keywords:** engine piston aircraft, shock-penetrating effect, high-speed impact, thin barriers, ballistic limit.

УДК 623.74

## Проектирование беспилотного ударного экраноплана

© | Утенков Максим Дмитриевич  
| Агаев Руслан Нураддинович

Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Воронеж, 394052, Россия

*На основе специальных экспериментальных и теоретических исследований, с учетом опыта создания и эксплуатации смежных транспортных средств — судов и самолетов — рассмотрен экраноплан. Методология создания скоростных судов (в том числе экранопланов), разработанная Р.Е. Алексеевым, позволила создать перво-классные суда на подводных крыльях, экспериментальные и опытные экранопланы. Совершенствование методологии состоит в постоянном переходе от содержательных и материальных моделей к логико-математическим путем увеличения базы фундаментальных структурированных данных.*

**Ключевые слова:** экраноплан, проектирование, ударный, модель.

Стремительное изменение политической обстановки в мире, которое диктует государству новые требования к ведению внешнеполитических отношений, а также борьба против единого противника — терроризма, в том числе вооруженная, позволяет

вновь вывести на первый план развитие способов и средств этой борьбы и укрепление позиций в сфере военизированных аргументов. Первостепенными задачами в любой военной операции являются следующие: прорыв противовоздушной и иной обороны противника, разведка и нанесение неожиданного удара. Даже при современном уровне развития вооружения и военной техники, оно может быть связано с различными трудностями и проблемами, такими, как высокоэффективные средства обнаружения, применяемые противником, наращивание военного потенциала мировых держав в различных географических районах.

Для решения этих проблем предлагается применение беспилотного ударного экраноплана, который является летательным аппаратом, использующим при своем движении эффект увеличения аэродинамического качества (отношения коэффициента его аэродинамической подъемной силы к коэффициенту лобового сопротивления) за счет близости экрана (поверхности земли, воды и т. д.). Это явление было экспериментально обнаружено в начале XX в. и названо «экраным эффектом». Оно обусловлено увеличением аэродинамической подъемной силы на крыле с приближением к экрану за счет дополнительного увеличения давления на его нижней поверхности, при одновременном снижении индуктивного сопротивления. Действие этого эффекта проявляется в очень узком диапазоне высот полета, при которых расстояние от задней кромки средней аэродинамической хорды до экрана меньше чем полуразмах крыла. Так называемый *эффект экрана* заключается в том, что при приближении крыла к экрану увеличивается подъемная сила крыла и уменьшается индуктивное сопротивление, что совместно приводит к существенному увеличению аэродинамического качества крыла [1].

Для создания нового проекта необходимо собрать все фундаментальные знания в области разработки экранопланов. Задаваясь массой полезной нагрузки и принимая ее равной 5 000 кг, потребной для выполнения поставленных задач, а также воспользовавшись зависимостью, полученной Р.Е. Алексеевым, которая гласит, что масса полезной нагрузки для экранопланов составляет 25...26 % взлетной массы [2]. Получаем, что разрабатываемый экраноплан будет иметь взлетную массу 20 000 кг. На основе известных фундаментальных знаний об экранопланах принимаем  $\lambda = 2$  как наиболее оптимальное значение удлинения крыла для экранопланов. Для начальных этапов проектирования наиболее эффективным стоит принять метод, опирающийся на глубокую модернизацию какого-либо выбранного прототипа. За прототип целесообразно взять стоявший на вооружении ударный экраноплан «Лунь» (рис. 1).

Для ранее выбранных параметров получим следующие значения:

длина фюзеляжа, м .....	30,45
средняя геометрическая хорда крыла (а также переднего горизонтального оперения), м .....	6,70
корневая хорда стабилизатора, м .....	4,14
размах крыла, м .....	26,80
размах переднего горизонтального оперения, м .....	16,10
высота вертикального оперения, м .....	6,10

На основе анализа существовавших проектов экранопланов, а также статистических показателей эффективности принятых решений создана виртуальная модель в программной среде Solid Works. Модель проектируемого экраноплана представлена на рис. 2.

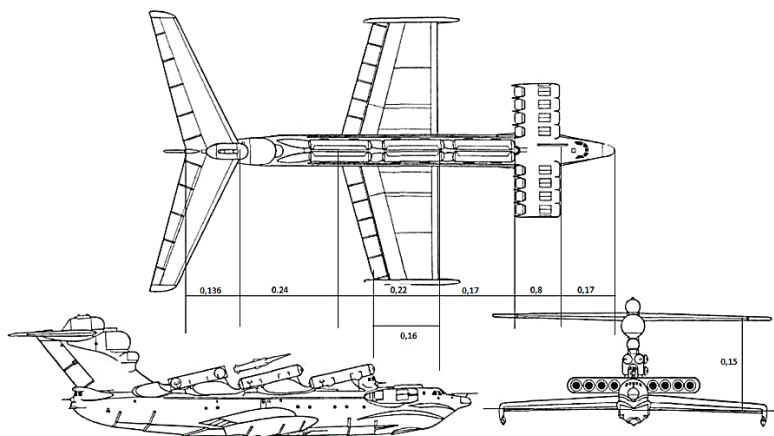


Рис. 1. Относительные параметры фюзеляжа экраноплана «Лунь»

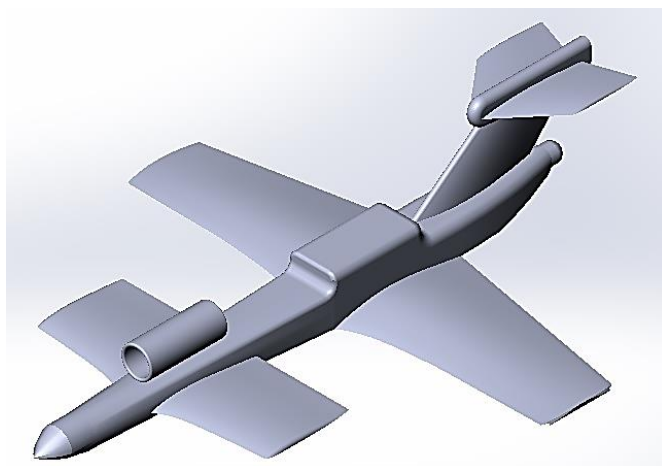


Рис. 2. Внешний вид проектируемого экраноплана

Использование беспилотного экраноплана позволяет увеличить экономическую отдачу по сравнению с самолетами (сопоставимого взлетного веса и полезной нагрузки). Это связано с тем, что для экраноплана характерно высокое аэродинамическое качество, влияющее как на эффективность аэродинамической компоновки, так и, в конечном счете, на расход топлива. Более того, экраноплан взлетает с воды, для него не требуются дорогостоящие аэродромы. Кроме того, экраноплан обладает такими качествами, как маневренность, значительная грузоподъемность, большой радиус действия [3].

#### Литература

- [1] Лапковский П. *Экранопланы и взгляды на их боевое применение*. Москва. Зарубежное военное обозрение. 1985.

- [2] Маскалик А.И., Кользаев Б.А., Жуков В.И. *Экранопланы. Особенности теории и проектирования*. Санкт-Петербург, Судостроение, 2000, 320 с.
- [3] Красильникова О.А., Зайцев А.В. Экономические аспекты организации высокоэффективности системы на базе экранопланов нового поколения. *Успехи современного естествознания*, 2011, № 7, с. 130–132.

## Pilotless Battle Ekranoplan Engineering

© | Utenkov M.D.  
| Agaev R.N.

N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy Military Educational and Scientific Center of Air Force, Voronezh, 394052, Russia

*Ekranoplan is a result of synthesis of a new vehicle class based on application investigation, theoretical research and on the creating and operating experience of the connecting conveyance such as vessels and airplanes. Methodology of the high-speed vessels engineering (including ekranoplans), basing on the experimental and abstract models, created by R.E. Alekseev, made it possible to create first-class hydrofoil vessels, experimental and prototype model of ekranoplans. Further improvement of the methodology consists of continuous transition from conceptual and material models to the logical-mathematical ones by increasing the fundamental and structured database.*

**Keywords:** *ekranoplan, engineering, battle, model.*

УДК 623.093

## Анализ сопротивления проникновению пули «АРМ2» в броневые стали

© | Шаш Небрас  
| Зузов Валерий Николаевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Исследовано пробитие пластин из стальных сплавов Armoх 560Т, Weldox 700 E и Hardox 400, используемых как бронезащита, для четырех различных толщин (6, 8, 10 и 6+6 мм) со скоростью удара 830 м/с во всех тестах пуль 7,62 мм «АРМ2» (с жестким стальным сердечником), являющейся одной из наиболее распространенных. Представлены разработанные рациональные конечно-элементные модели пластин и пули, на базе которых получают результаты с приемлемой точностью и минимальным временем решения при использовании решателя LS-DYNA, и осуществлено прогнозирование значений рациональных толщин и свойств стали для обеспечения защиты по европейской норме EN1063.*

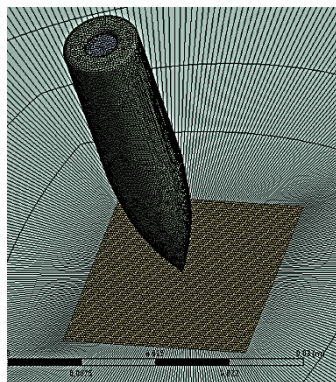
**Ключевые слова:** *броневые стали, пуля, EN1063, модифицированная модель Джонсона — Кука, LS-DYNA, конечно-элементная модель.*

**Введение.** Для решения поставленных задач по разработке, связанной с броневыми сталями, был выбран самый высокий класс баллистической защиты по определению в соответствии с европейской нормой EN1063 — это «BR7» (для защиты от боеприпасов AP 7,62 мм, где скорость удара пули составляет около 830 м/с).

Цель работы состоит в разработке рациональных пластин конечно-элементной работы (КЭМ) и пули, на базе которых получают результаты с приемлемой точностью и минимальным временем решения при использовании решателя LS-DYNA, для исследования пробития пуль монослойных и двухслойных пластин из стальных сплавов, а также в прогнозировании значений рациональных толщин и свойств стали для обеспечения защиты по европейской норме EN1063.

**Спецификация пластинок и пули.** В этом исследовании мы выбрали три марки стальных сплавов, используемых для бронезащиты, производящихся в разных компаниях: Armoх 560Т, weldох 700 Е, и Hardох 400. В данной работе используется один тип пули 7,62 мм «АРМ2». Описание геометрии этого типа пуль приведено в [1].

**Модифицированная модель Джонсона — Кука.** При моделировании соударения объектов важную роль играет описание пластических эффектов в материале. В работе применена модифицированная модель Джонсона — Кука (МЖК) для моделирования мишени и пули как наиболее подходящая для решения подобных задач [1]. Значения параметров материалов пули, относящиеся к модели модифицированного Джонсона — Кука, взяты из публикаций [2–4].



**Рис. 1.** Конечно-элементные модели пули и пробиваемой пластины

**Численное моделирование.** Пуля и область в пластинке, которая подвергается наибольшей деформациям, были смоделированы с учетом исследований, проведенных нами ранее [1], а именно: размер конечного элемента задаем равным 0,2 мм в области воздействия и 0,3 мм в пуле для получения высокоточных результатов, адекватных результатам экспериментов (рис. 1). При этом КЭМ пластины с толщинами 6, 8, 10, и 6×2 мм имеют в центральной зоне воздействия (размером 20×20 мм<sup>2</sup>) 300 000, 400 000, 500 000 и 600 000 конечных элементов соответственно.

**Результаты исследований.** Для расчетной оценки обеспечения уровня требуемой защиты «BR7» было исследовано пробитие пуль «АРМ2» пластинок из сталь-

ных сплавов двух типов: монослойных с толщинами пластин 6, 8, 10 мм, и двухслойных 6×2 мм при скорости пули перед пробитием, равной 830 м/с.

Результаты расчетов для монослойных пластин толщиной 6 мм трех марок стальных сплавов представлены на рис. 2 и 3, из которых следует, что оболочка пули не пробивает пластины, а отскакивает в противоположном направлении (кроме сплава Weldom 700 E).

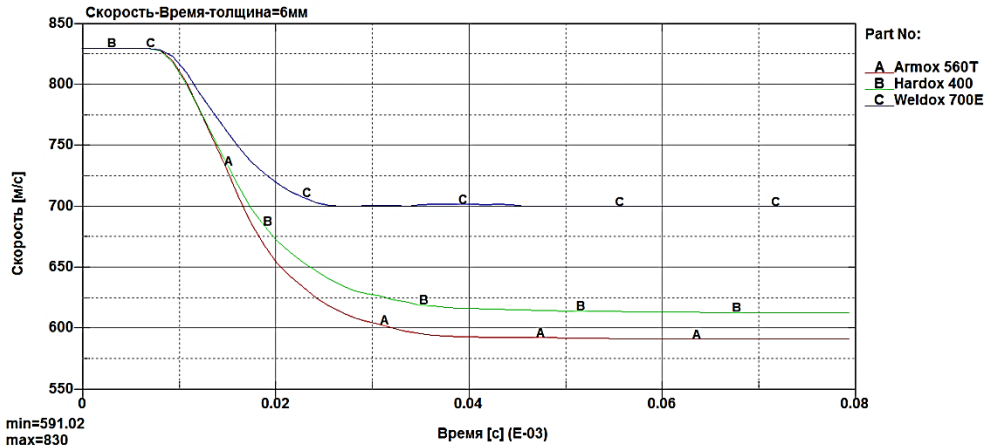


Рис. 2. Изменения скорости пули «APM2» при проникновении в пластину толщиной 6 мм

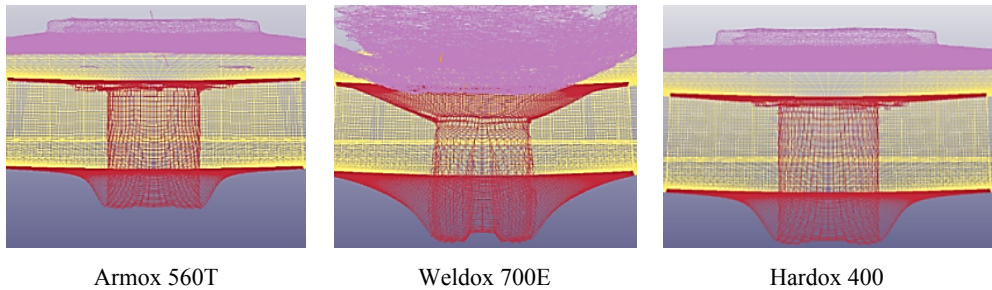


Рис. 3. Картина проникания пули «APM2» в пластину толщиной 6 мм

На рис. 4 и 5 показаны результаты для монослойных пластин толщиной 8 мм для каждого типа стальных сплавов.

Результаты расчетов для монослойных пластин толщиной 10 мм из трех типов стальных сплавов представлены на рис. 6, 7. Анализ их показывает, что характер уменьшения остаточных скоростей и кинетических энергий по времени для сплавов Armox 560T и Domex Protect 500 идентичен и несколько отличается у сплавов Armstal 500 и Hardox 400, а для сплава Weldom 700 E отличие существенно.

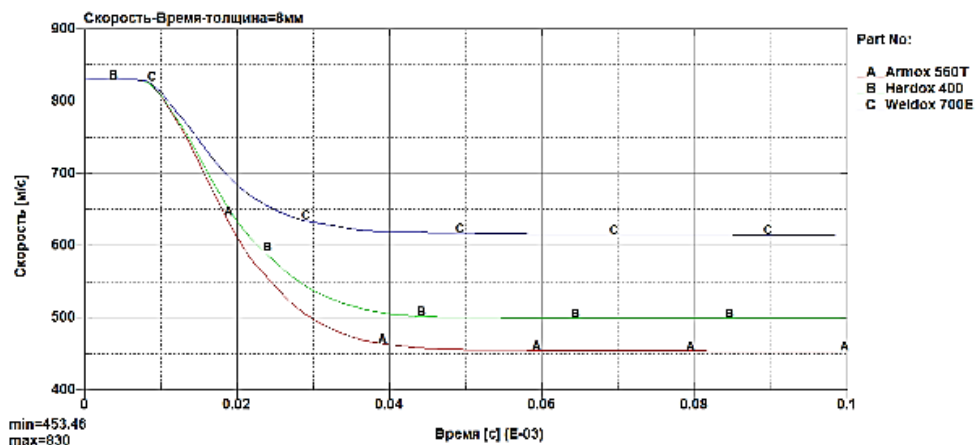


Рис. 4. Изменения скорости пуги «АРМ2» при проникновении в пластину толщиной 8 мм

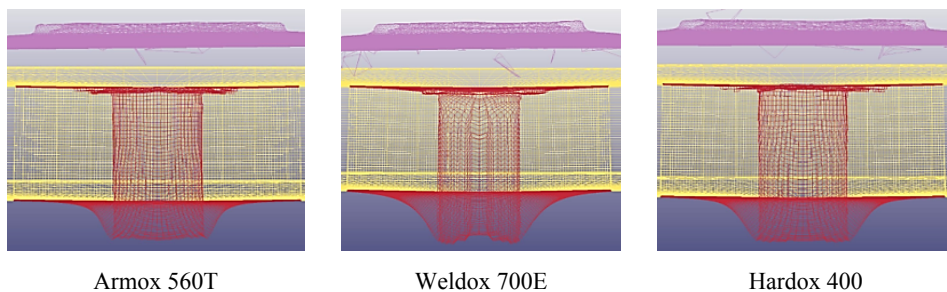


Рис. 5. Картина проникания пуги «АРМ2» в пластину толщиной 8 мм

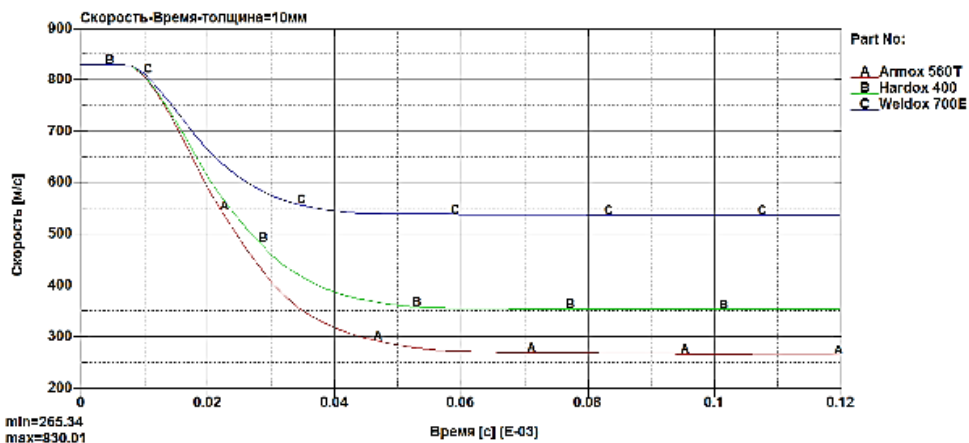


Рис. 6. Изменения скорости пуги «АРМ2» при проникновении в пластину толщиной 10 мм



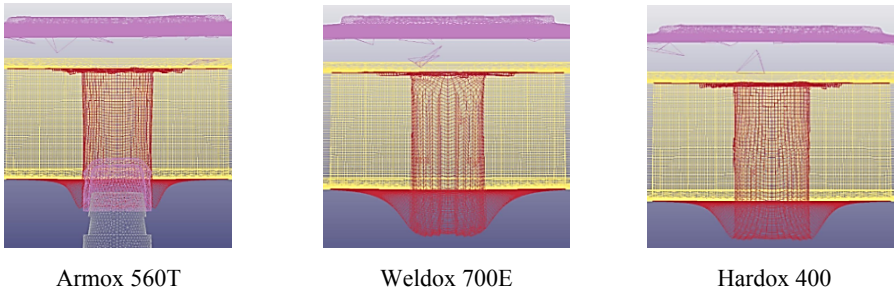


Рис. 7. Картина проникания пули «АРМ2» в пластину толщиной 10 мм

Результаты решений для двухслойных пластин толщиной 6×2 мм для каждого типа стальных сплавов даны на рис. 8, 9. На рис. 9 мы можем увидеть образование зазора между пластинками. В том случае, когда пуля не пробила пластинку, то она (пуля) продолжает движение в противоположном направлении.

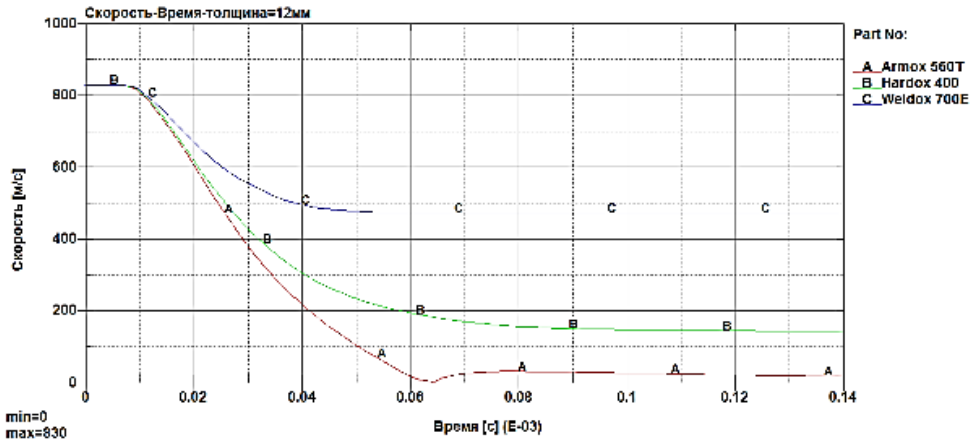


Рис. 8. Изменения скорости пули «АРМ2» при проникновении в пластину толщиной 6×2 мм

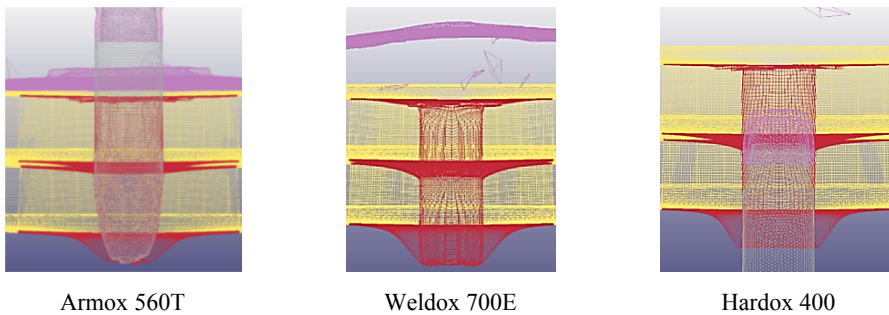
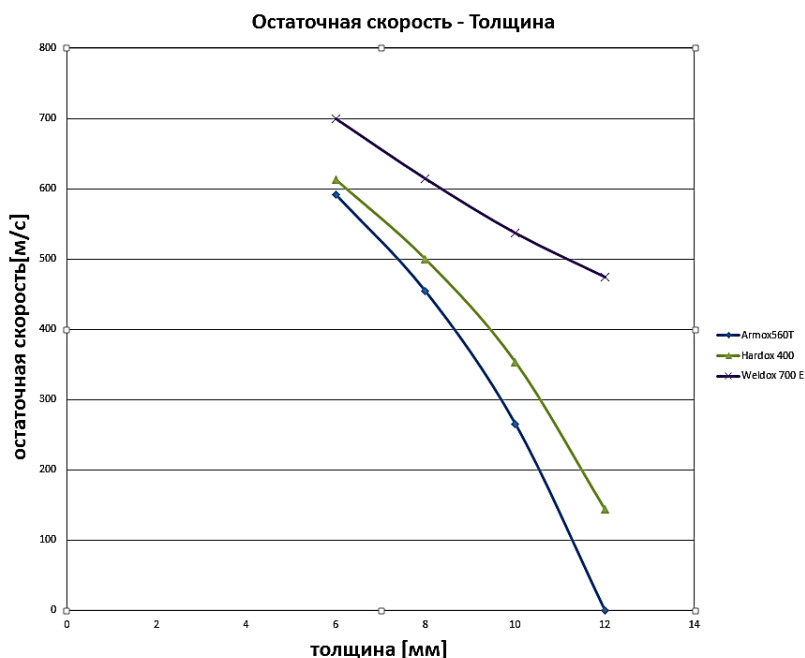


Рис. 9. Картина проникания пули «АРМ2» в пластину толщиной 6×2 мм

Отметим, что пуля пробивала все монослойные пластины толщиной 6, 8, и 10 мм из всех стальных сплавов. В то же время при толщине двухслойных пластин 6х2 мм пуля не пробивает пластины из сплавов Armax 560T и пробивает пластины из сплавов Hardox 400, и Weldox 700E. Таким образом, уровень защиты «BR7» обеспечивается при использовании двухслойных пластин толщиной не менее 6х2 мм из сплавов Armax 560T.

На рис. 10 изображено изменение остаточных скоростей пули «APM2» в зависимости от толщины и типа сплавов пластин. Из анализа графиков можно сделать выводы:

- характер уменьшения остаточных скоростей с увеличением толщины для сплавов Armax 560T больше, чем у сплавов Hardox 400 и Weldox 700E;
- уменьшение не до нуля остаточной скорости пули с увеличением толщины для сплава Hardox 400 указывает на то, что не происходит пробития пластинки пулей если ее толщина более 13 мм;
- уменьшение остаточной скорости пули с увеличением толщины сплава Weldox 700E имеет близкий к линейному характер.



**Рис. 10.** Изменение остаточных скоростей пули «APM2» в зависимости от толщины и типа сплавов пластин

**Выводы.** Монослойные пластины толщиной 6, 8 и 10 мм из всех исследуемых стальных сплавов не обеспечивают уровень защиты «BR7». Двухслойные пластины из сплавов Armax 560T при суммарной толщине 12 мм обеспечивают этот уровень. Пластины из сплава Hardox 400 обеспечивают уровень защиты «BR7» при толщине 13 мм и более.

Сплав Weldox 700E не рекомендуем использовать для обеспечения уровня защиты «BR7» из-за необходимости задания большой толщины бронелистов (это приведет к увеличению массы конструкции).

Взаимосвязь между остаточной скоростью и толщиной пластин является нелинейной во всех сплавах (кроме Weldox 700E).

### Литература

- [1] Шаш Н., Зузов В. Н. Численное моделирование проникания пуль стрелкового оружия в пластины из алюминиевых сплавов с использованием модифицированной модели Джонсона — Кука. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.*, 2017, № 01, с. 0–19. DOI: 10.7463/0117.0000922
- [2] Гладышев С.А., Григорян В.А. *Броневые стали*. Москва, Интернет Инжиниринг, 2010, 336 с.
- [3] Børvik T., Dey S., Clausen A.H.. Perforation resistance of five different high-strength steel plates subjected to small-arms projectiles. *Intern. J. of Impact Engineering*, 2009, vol. 36, iss. 7, pp. 948–964. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2008.12.003
- [4] Børvik T., Langseth M., Hopperstad O.S., Malo K.A. Perforation of 12 mm thick steel plates by 20 mm diameter projectiles with blunt, hemispherical and conical noses, part I: experimental study. *Intern. J. of Impact Engineering*, 2002, vol. 27, no. 1, pp.19–35.

## Analysis of the Perforation Resistance of Bullet “APM2” in Armored Steel

© | Shash N.  
Zuzov V.N.

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation

*This work is concerned to the penetration with a 7.62 mm bullet «APM2» (with hard steel core), which is one of the most common, of plates made of steel alloy ArmoX 560T, Weldox 700 E, and Hardox 400, which are used for armor protection, for four different thicknesses (6 mm, 8 mm, 10 mm, and 6 + 6 mm) with a velocity 830 m/s in all tests. This work presents developed rational finite-element models (FEM) of the plates and bullets, which produces results with acceptable accuracy and minimal solution time when using the solver LS-DYNA, and implemented forecasting values of rational thicknesses and steel properties for armor protection according to European standard EN1063.*

**Keywords:** *armored steel, bullet, EN1063, modified Johnson — Cook, LS-DYNA, finite element model.*

УДК 621.865.8:004.896

### Модернизация аппаратно-программного комплекса для решения задачи автоматического захвата и перемещения объекта

© Бажинова Ксения Владимировна      bazhinova@bk.ru  
Селиверстова Елена Владимировна      feoktistovaev@mail.ru  
Лесков Алексей Григорьевич      agleskov@rambler.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 125005, Россия

*Представлены модернизированные структура и алгоритмы функционирования разработанного в 2013 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана аппаратно-программного комплекса, предназначенного для моделирования и отработки роботизированных операций захвата и перемещения объектов. Приведен пример решения задачи автоматического манипулирования объектами.*

**Ключевые слова:** аппаратно-программный комплекс, локализация объекта, автоматический захват, планирование захвата, база данных объектов.

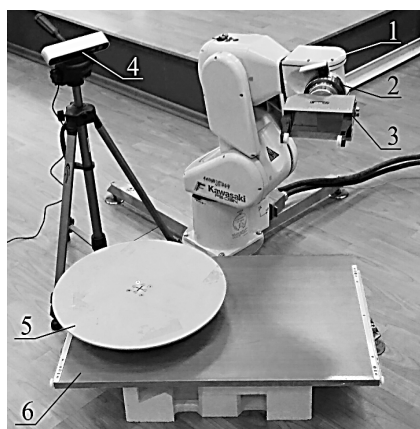
В настоящее время большое внимание уделяется вопросам управления автономных манипуляционных роботов. Главное отличие рассматриваемых систем от дистанционно управляемых состоит в исключении человека-оператора из контура непрерывного управления. Управляющая деятельность оператора сводится к выдаче дискретных команд-целеуказаний и контролю хода их выполнения. Преимущества таких систем — это значительное сокращение времени, затрачиваемого на выполнение операции, и снижение требований к уровню подготовки операторов.

Рассмотрим модернизированные структуру и алгоритмы функционирования разработанного в 2013 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана аппаратно-программного комплекса (рис. 1), предназначенного для моделирования и отработки роботизированных операций захвата и перемещения объектов [1].

Программное обеспечение аппаратно-программного комплекса построено на метаоперационной системе ROS и является результатом развития существующих комплексов [1, 2].

Новыми являются алгоритмы определения физических свойств объектов манипулирования [3]. Модернизированный алгоритм формирования 3D-моделей объектов манипулирования основан на реализованных на GPU алгоритмах TSDF и ICP, что

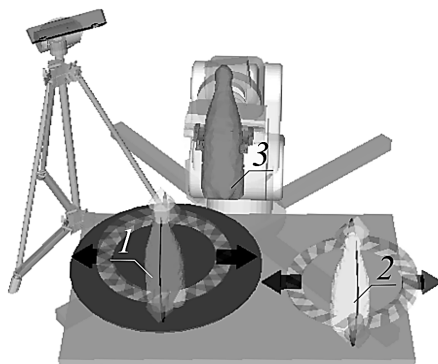
позволяет строить поверхность с более высокой точностью. Разработан оригинальный алгоритм генерации гипотез захвата на основе представления поверхности объектов манипулирования в виде многогранника. Предложены новые способы оценки захвата и моделирования захвата с учетом физических свойств объектов манипулирования. Модернизированный алгоритм автоматической локализации объектов манипулирования реализован на GPU, что значительно сокращает время работы алгоритма. Разработан удобный графический интерфейс пользователя.



**Рис. 1.** Внешний вид комплекса:

- 1 — промышленный робот; 2 — силомоментный датчик;  
3 — захватное устройство; 4 — стереокамера; 5 — поворотный тол с функцией измерения веса; 6 — предметный стол

На базе модернизированного аппаратно-программного комплекса осуществлена экспериментальная операция автоматического захвата объекта, размещенного в случайном месте рабочей зоны комплекса, и его перемещения в произвольное место с произвольной ориентацией, указанные оператором (рис. 2).



**Рис 2.** Рабочая область и виртуальная сцена при выполнении операции:

1 — начальное положение объекта манипулирования, определяемое в автоматическом режиме; 2 — положение объекта манипулирования в процессе выполнения операции; 3 — желаемое положение объекта манипулирования, задаваемое оператором

Таким образом, модернизированные структура и алгоритмы функционирования аппаратно-программного комплекса позволяют более эффективно решать задачи роботизированного захвата и манипулирования объектами, находящимися в случайном месте рабочей зоны комплекса. Комплекс используется при решении задач экспериментальной отработки исследований, проводимых коллективом авторов в рамках НИР и ОКР, а также в учебном процессе МГТУ им. Н.Э. Баумана.

### Литература

- [1] Лесков А.Г., Илларионов В.В., Калеватых И.А., Морошкин С.Д., Бажинова К.В., Феоктистова Е.В. Аппаратно-программный комплекс для решения задач автоматического захвата объекта манипуляторами. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, № 1. [Электрон. ресурс] <http://engjournal.ru/articles/1361/1361.pdf> (дата обращения 03.05.2017).
- [2] Калеватых И.А., Лесков А.Г. Использование robot operating system (ROS) для создания полунатурного моделирующего комплекса манипуляционных роботов. *Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2012, № 11. [Электрон. ресурс] <http://engbul.bmstu.ru/doc/496529.html> (дата обращения 03.05.2017)
- [3] Лесков А.Г., Селиверстова Е.В., Бажинова Б.К. Определение в автоматическом режиме упругих свойств объекта манипулирования и коэффициента трения между объектом и звеньями захватного устройства. *Сб. докл. IX Всерос. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России»*, 2016, с. 665–667.

## Modernization of Hardware–Software Complex for Automatic Pick and Place Applications

© | Bazhinova K.V.  
Seliverstova E.V.  
Leskov A.G.

bazhinova@bk.ru  
feoktistovaev@mail.ru  
agleskov@rambler.ru

BMSTU, Moscow, 125005, Russia

*The article presents a modernization of the developed in BMSTU hardware–software complex for modeling and validation of robotic pick and place operations. Implementation of automatic pick and place of the object is illustrated by examples.*

**Keywords:** hardware–software complex, object localization, automatic pick and place, grasp planning, object database

УДК 004.896

## Алгоритм технического зрения для беспилотного летательного аппарата, входящего в группу роботов сельскохозяйственного назначения

© | Воронин Александр Валентинович  
| Рубцов Василий Иванович

voronin215@gmail.com  
rubtsov@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия

*Проведены научные изыскания по контролю сельскохозяйственных посадок. Проанализирована работа агрономной системы, вследствие чего рассмотрена задача обнаружения угнетенных участков растений с помощью беспилотного летательного аппарата и навесного оборудования. Разработан алгоритм распознавания, который решает поставленную задачу в несколько этапов, которые перечислены в работе. Для распознавания используется метод гиперспектральной съемки, рассчитывающий количественный показатель плотности и состояния растительности. Алгоритм реализован в виде программного обеспечения в среде MatLab. Показана работа алгоритма в виде иллюстраций: сравнение исходного и гиперспектрального изображения, выделение необходимого участка и вывод результатов.*

**Ключевые слова:** роботы, техническое зрение, гиперспектральное изображение, распознавание, беспилотный летательный аппарат.

Контроль и обслуживание сельскохозяйственных посадок в настоящее время являются актуальными. Однако эти задачи не всегда можно решить быстро [3]. Для облегчения процесса обслуживания используются автономные робототехнические системы. Такие явления, как дефекты при посеве, гибель урожая вследствие засухи и другие факторы требуют эффективного контроля. Как правило, оценку полей осуществляет экспертная группа. Для ускорения процесса оценивания необходимо проводить аэрофотосъемку, поскольку в наземных условиях сложно оценить полный масштаб развития указанных и других процессов [2].

Здесь рассмотрены задачи анализа работы агрономной системы и распознавания «больных» участков полей, для чего разработан алгоритм. Задача алгоритма — распознавание «больных» участков полей и получение координат участка.

Для решения указанной задачи использован метод гиперспектральной съемки, которая способна рассчитать NDVI — количественный показатель плотности и состояния растительности. Алгоритм распознавания осуществляется в несколько этапов. Сначала изображение обрабатывается с помощью фильтрации, выделяются составляющие изображения, для каждого цветового диапазона инициализируются пороги и формируются маски. Далее выделяют необходимую область и получают ее координаты [1]. Программное обеспечение разработано в среде MatLab (рис. 1, 2).

Таким образом, проведен анализ работы агрономной системы и разработан алгоритм распознавания «больных» участков полей. Для реализации данного алгоритма также создано программное обеспечение.

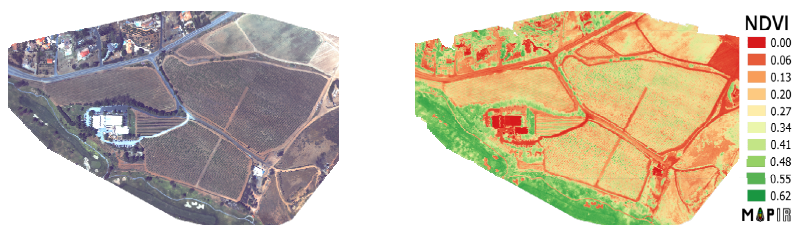


Рис. 1. Сравнение исходного и гиперспектрального изображения

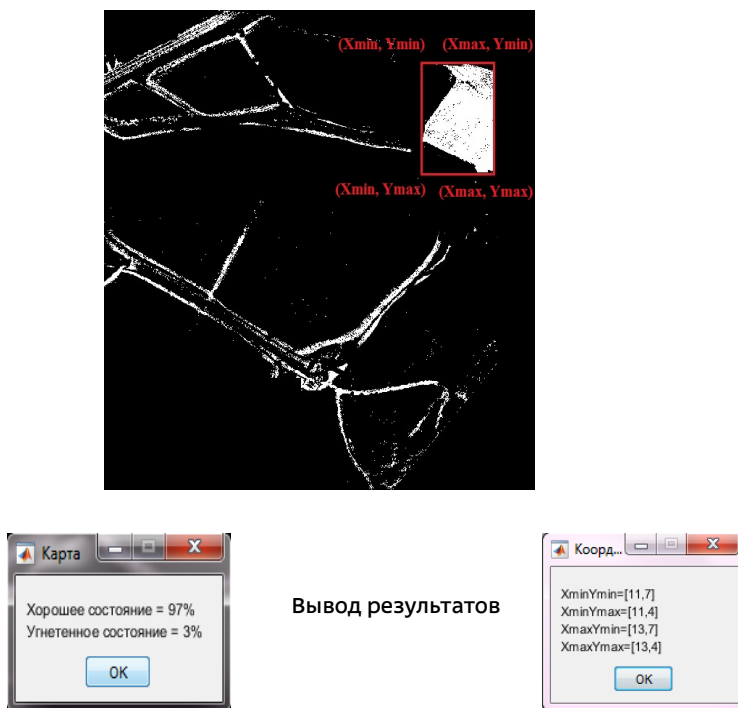


Рис. 2. Выделение искомого сегмента и вывод результат

### Литература

- [1] Воронин А.В. Распознавание объектов с помощью телекамеры. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2016, № 6, 16 с.
- [2] Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустин С. Г. *Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов*. Москва, Физматлит, 2009, с. 12–145.
- [3] Белоглазов Д. А., Гайдук А. Р., Косенко Е. Ю., Медведев М. Ю., Пшихопов В. Ч., Соловьев В. В., Титов А. Е., Финаев В. И., Шаповалов И. О. *Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах*. Москва, Физматлит, 2015, с. 9–274.



## The Algorithm of Technical Vision for UAV, Part of a Group of Robots for Agricultural Purposes

© | Voronin A.V.  
Rubtsov V.I.

voronin215@gmail.com  
rubtsov@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Scientific research has been carried out to control agricultural landings. The work of the agronomic system has been analyzed, as a result of which the problem of detection of depressed parts of plants with the help of UAVs and attachments was considered. A recognition algorithm has been developed that solves the task in several stages. The stages are listed in the work. For recognition, the hyperspectral survey method is used, which calculates the quantitative indicator of the density and state of vegetation. The algorithm is implemented as software in the MATLAB environment. The work of the algorithm in the form of illustrations is shown: comparison of the source and hyperspectral image, selection of the required area and getting results.*

**Keywords:** robots technical vision, hyperspectral image, recognition, unmanned aerial vehicle.

УДК 681.518.3

## Разработка компьютерной модели четырёхногого шагающего робота

© | Коновалов Константин Владимирович  
Рубцов Василий Иванович

bmstu.konovalov2011@yandex.ru  
rubtsov@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия,

*Описана конструкция и разработана в MATLAB Simulink компьютерная модель четырёхногого шагающего робота. Разработан алгоритм шагания.*

**Ключевые слова:** домашний робот, четырёхногий шагающий движитель, кинематическая модель, компьютерная модель четырёхногого шагающего робота.

В настоящее время активно ведутся исследовательские работы по разработке шагающих роботов. Это обусловлено тем, что шагающие роботы обладают высокой проходимостью, возможностью выбора точек постановки ног. Примерами таких работ могут служить разработки компании Boston Dynamics и лаборатории Autonomous System Lab.

В статье описана разработка компьютерной модели шагающего робота (рис. 1.), ориентированного для перемещения в бытовой среде. Робот будет осуществлять плоское движение, при этом любая точка поверхности допустима для постановки стоп. В [1] рассматривалась возможность создания домашнего робота на базе шагающей платформы.

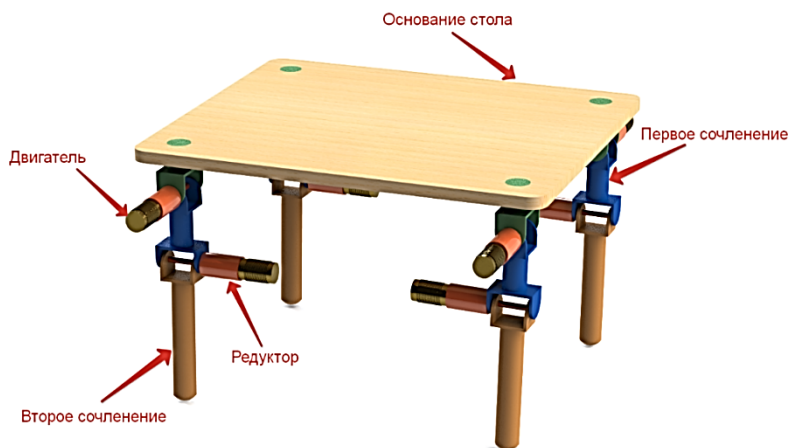


Рис. 1. Шагающий четырехногий робот

Кинематическая схема четырехногой шагающей платформы, представлена на рис. 2. Отличительной особенностью шагающей платформы является конструкция ноги. Каждая конечность состоит из двухстепенного манипулятора, первым звеном которого является привод сгибания-разгибания, вторым — привод приведения-отведения. Основные элементы платформы: 1 — корпус, 2 — привод сгибания-разгибания, 3 — бедро, 4 — привод отведения-приведения, 5 — голень, 6 — стопа. Бедро и голень могут быть в разных пропорциях, их отношение существенно влияет на проходимость платформы.

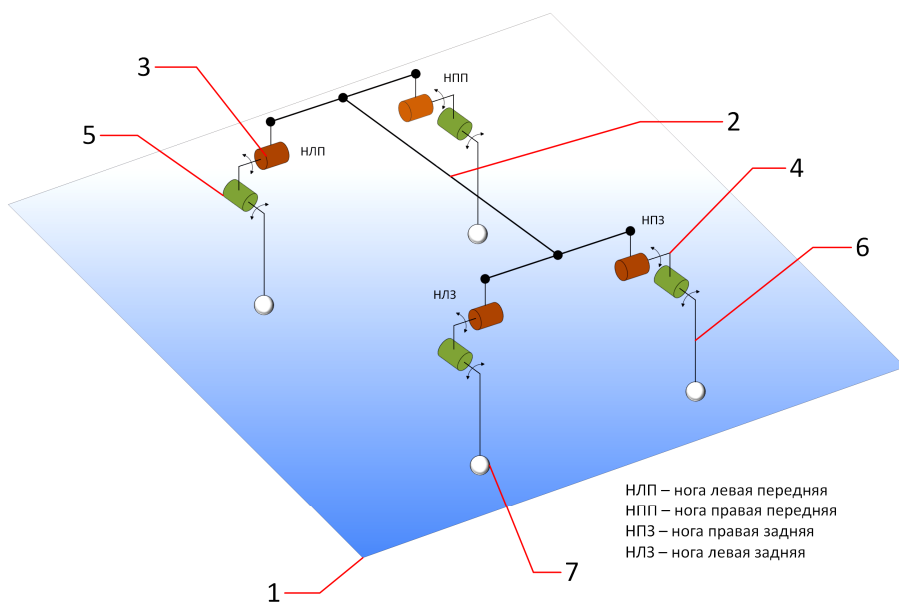


Рис. 2. Кинематическая схема шагающей платформы

Компьютерная модель (рис. 3) состоит из двух блоков: генератора шагового цикла, который задает воздействия на шарниры в виде углов поворота, и блока, описывающего динамику робота. Генератор шагового цикла был реализован с помощью конечного автомата StateFlow, а модель динамики — с помощью SimMechanics.



Рис. 3. Общий вид компьютерной модели

Рассмотрим блок механической модели робота подробнее. На

Рис 4 представлена структура механической модели, которая состоит из корпуса робота, четырех ног и блока, отвечающего за взаимодействие стопы с опорной поверхностью. Для определения контакта стопы с опорной поверхностью была использована дополнительная библиотека [2].

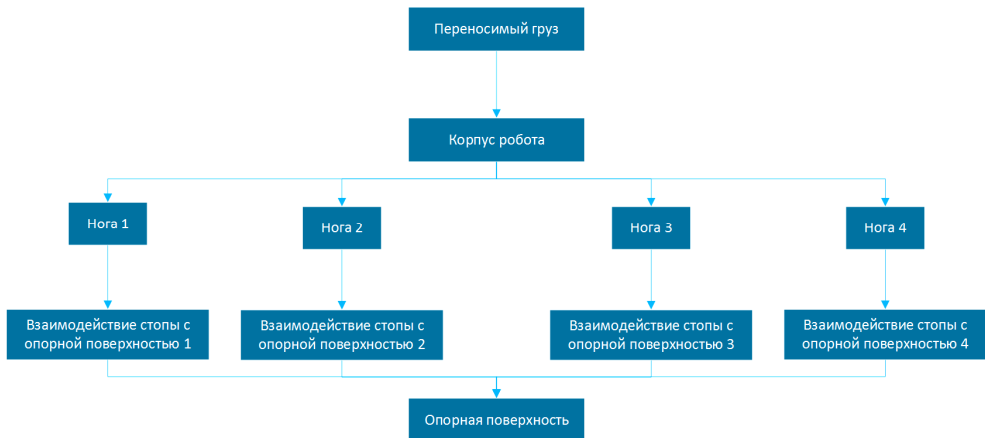


Рис. 4. Структура компьютерной модели, имитирующая механические связи шагающей платформы в MATLAB

Плоское движение можно разбить на два типа: прямолинейное движение и поворот вокруг конструктивной вертикали. Организация движения может происходить на основе циклической походки, когда ноги робота совершают заданные стандартные ритмические движения [3, 4]. Задание циклической походки осуществлено с помощью машины состояний.

Таким образом, авторами представлена структура компьютерной модели шагающего робота, разработанного в пакете MatLab Simulink, проведено математическое

моделирование составленной модели с учетом следующих параметров: взаимодействие стопы с опорной поверхностью, наличие электроприводов. При моделировании в MatLab было доказана работоспособность разработанного алгоритма шагания.

### Литература

- [1] Близнец П.М., Рубцов В.И., Коновалов К.В. и Бошляков И.А. Домашний охранный робот на базе шагающего двигателя. *Международный научный журнал «Символ науки»*, 2017, № 3 (2), с. 14–20.
- [2] *Simscape Multibody Contact Forces Library*. [Электрон. ресурс] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47417-simscape-multibody-contact-forces-library> (дата обращения 09.03.2017).
- [3] Лапшин В.В. *Механика и управление движением шагающих машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 199 с.
- [4] Каргинов Л.А. *Синтез управляющих воздействий для приводов исполнительных механизмов шагающих роботов без решения обратной задачи кинематики*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013, 16 с.

## Development Computer Model of the Quadruped Walking Robot

© | Konovalov K.V.  
| Rubtsov V.I.

bmstu.konovalov2011@yandex.ru  
rubtsov@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The design and computer model of the four-legged walking robot in MATLAB Simulink was described. A stepping algorithm was developed.*

**Keywords:** home robot, four-legged walking propulsive device, the kinematic model, computer model of the quadruped walking robot.

УДК 621.865.8

## Обзор высокоточных систем стабилизации оптических приборов

© | Овсянкин Георгий Игоревич  
| Бошляков Андрей Анатольевич

George.ovciankin@gmail.com  
boshlyakov@bmstu.ru

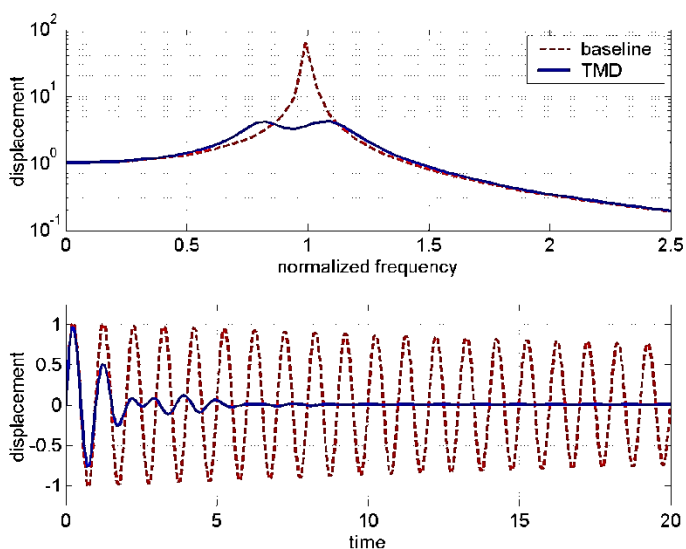
МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены перспективные подходы к построению систем на базе механизма параллельной кинематики. Указано, что важной является компенсация колебаний корпуса наравне с его вибрациями.*

**Ключевые слова:** активная стабилизация, оптическое оборудование, механизмы с параллельной кинематикой.

В настоящее время широкое распространение получили оптические системы для анализа и оценки текущей обстановки на местности. В то же время повысились требования, предъявляемые к качеству изображения, получаемого с таких систем, а требования к точности их стабилизации могут достигать единиц угловых секунд. Поэтому первостепенное значение приобретает задача разработки высокоточных систем стабилизации. Область применяемых систем, где предъявляются высокие требования к качеству получаемой информации, достаточно широка.

Один из вариантов построения системы стабилизации был предложен для сегментного радиотелескопа [4]. В качестве пассивной системы использовался инерционный магнитный демпфер. Достоинствами данного подхода, по идеям авторов, подразумевающим использование вязких жидкостей и вязкоупругих материалов, является то, что вся конструкция — цельнометаллическая, нет жидкостей, способствующих скользящим уплотнениям, есть бесконтактный механизм, система — линейная и температурно независимая (рис. 1).



**Рис. 1.** Частотная характеристика с использованием и без использования инерционного демпфера (TMD)

Другой путь решения — построение системы с полуактивным управлением [3], где в качестве исполнительного механизма был выбран шестистепенный параллельный манипулятор, а в качестве исполнительных устройств манипулятора — магнито-реологическая система, содержащая жидкость, способную изменять предел текучести при наложении магнитного поля (рис. 2).

В работе [2] в качестве исполнительного механизма была выбрана платформа Стюарта кубической конфигурации, где каждая штанга манипулятора состоит из пьезоэлектрического актуатора, датчика усилия и гибкого наконечника для соединения с двумя концевыми пластинами, выступающего в роли механизма мультипликации. Для преодоления проблемы с трением и возможным люфтом в сочленениях параллельного манипулятора вместо сферических использовались упругие шарниры. Частотная характеристика разработанной системы представлена на рис. 3.

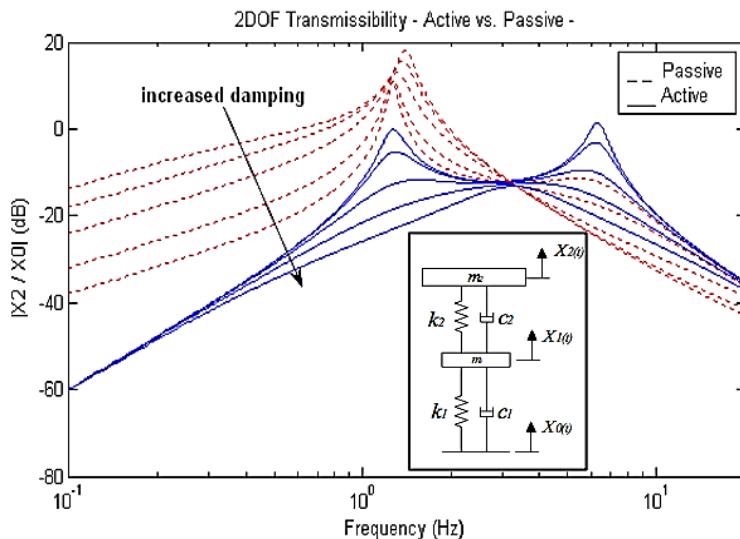


Рис. 2. Сравнение двухстепенного массопружинного демпфера с активной и пассивной стабилизацией

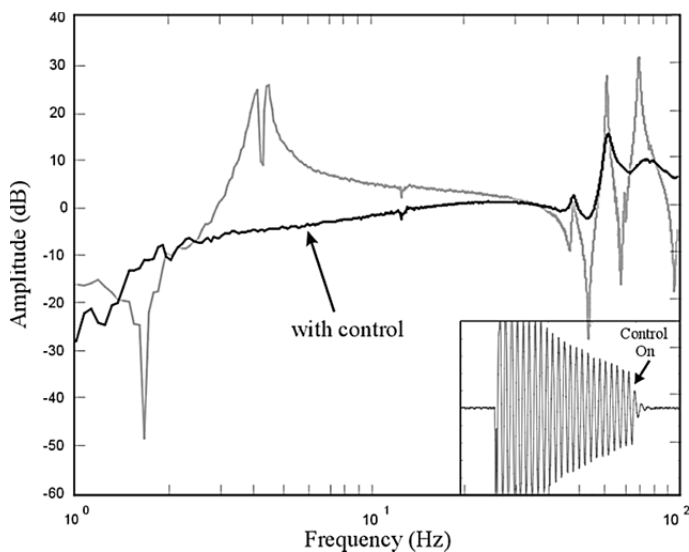


Рис. 3. Частотная характеристика системы

Вариант построения полуактивной системы стабилизации для космических аппаратов предложен в работе [1]. Массивные первичные зеркала, которые могут быть повреждены на этапе запуска космического аппарата, очень часто используются в конструкциях космических телескопов. Реализован многоуровневый вариант построения системы стабилизации, обеспечивающий стабилизацию структурных резонан-

сов системы. Рассмотрено несколько подходов: демпфирования и изоляции, включая демпфирование вязкоупругого сдерживаемого слоя; демпфирование магнитной настраиваемой массы зеркального сегмента; пассивная изоляция возмущений космических аппаратов. В качестве исполнительного механизма полуактивной системы стабилизации, как и в работе [2], была выбрана платформа Стюарта и разработан привод для управления системой. Частотная характеристика предложенного варианта построения системы представлена на рис. 4.

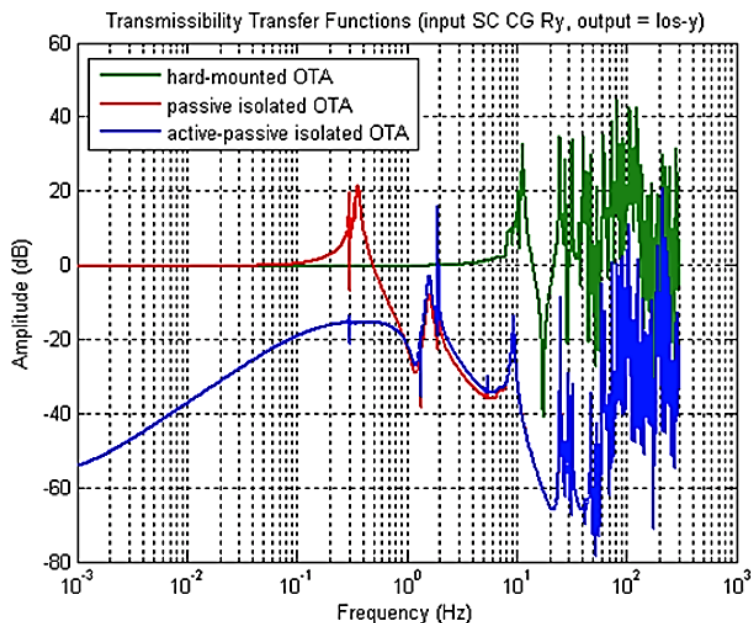


Рис. 4. Частотная характеристика зеркала телескопа без стабилизации, с пассивной стабилизацией и полуактивной стабилизацией

Анализ разработки высокоточных активных систем стабилизации и наведения показывает, что основным подходом к их построению является использование механизмов с параллельной кинематикой. Это обеспечивает возможность равномерного распределения нагрузки на исполнительные модули системы стабилизации. Таким образом, в перспективных высокоточных системах стабилизации целесообразно использовать механизмы с параллельной кинематикой. Узким моментом при построении таких систем большое значение имеют высокие требования, предъявляемые к исполнительным модулям, как по быстродействию, так и по моменту.

#### Литература

- [1] Lacombe A., Pichon Th., Lacoste M. 3D Carbon-Carbon composites are revolutionizing upper stage Liquid Rocket Engine performance by allowing introduction of large nozzle extension Damping and Isolation Concepts for Vibration Suppression and Pointing Performance. *50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, 4–7 May 2009, Palm Springs, CA, 11 p.
- [2] Hanieh A.A., Preumont A. Piezoelectric Stewart Platform for General Purpose Active Damping Interface and Precision Control. *Proceedings of the 9th European Space Mechanisms and*

*Tribology Symposium*, 19–21 September 2001, Liège, Belgium. Compiled by R. A. Harris. ESA SP-480, Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, 2001, pp. 331–334.

- [3] Unsal M., Crane C., Niezrecki C. Vibration Control of Parallel Platforms Based on Magnetorheological Damping. *FCRAR*, 2006, Miami, Florida, 1–6 (2006).
- [4] Maly J.R., Yingling A.J., Griffin S.F., Agrawal B.N., Cobb R.G., Chambers T.S. Vibration Damping for the Segmented Mirror Telescope. *Proc. SPIE 8450, Modern Technologies in Space- and Ground-based Telescopes and Instrumentation II, 845004*. September 13, 2012. DOI: 10.1117/12.926567.

## Overview of High-Precision Stabilization Systems for Optical Equipment

© | Ovsyankin G.I.  
Boshlyakov A.A.

George.ovciankin@gmail.com  
boshlyakov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Prospective approaches to the construction of systems based on the parallel kinematics mechanism are considered. It is indicated that importance of dumping the oscillations of the body, along with its vibrations.*

**Keywords:** *active stabilization, optical equipment, parallel manipulator.*



УДК 629.114.2.001.063

### К вопросу управления двухпарными переключениями передач на тракторах

© Алендеев Евгений Михайлович<sup>1</sup>  
Крючков Виталий Алексеевич<sup>2</sup>

evg9702@gmail.com  
smash@list.ru

<sup>1</sup> Центральный ордена Касного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ», Москва, 125438, Россия

<sup>2</sup> Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», Москва, 109428, Россия

*Рассмотрены вопросы организации процесса двухпарного переключения в коробках передач сельскохозяйственных тракторов. Моделирование процесса в программной среде Matlab Simulink позволило сделать вывод, что в ходе переключения за счет одновременного буксования высшей муфты передач и высшей муфты диапазонов можно добиться ускоренной синхронизации дисков включаемых фрикционных муфт, аналогично как и при переключениях с управлением двигателем.*

**Ключевые слова:** трактор, коробка передач, система управления, переключение передач, управление двигателем, фрикционная муфта.

В трансмиссиях типа Powershift (рис. 1) для того, чтобы включить какую-либо передачу, необходимо замкнуть сразу две фрикционные муфты (ФМ): основной части (между первичным 1 и промежуточным 2 валами) коробки передач (КП) и диапазонной части (между промежуточным 2 и вторичным 3 валами) [1]. В связи с этим в таких КП возможны переключения без разрыва потока мощности внутри одного диапазона или внутри одной передачи основной части КП (однопарные переключения) [2], а также недостаточно отработанные на сегодняшний день переключения, в которых задействуются сразу четыре ФМ (двухпарные переключения).

Для исследования особенностей процесса двухпарного переключения в программной среде Matlab Simulink была разработана его математическая модель для простейшего варианта КП типа Powershift (см. рис. 1). Для примера, система уравнений моментов для этапа переключения передач, когда одновременно буксуют все четыре ФМ, выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} M_{\text{ДВС}} - M_{k-1} \text{sign}(\Delta\omega_{k-1}) - M_k \text{sign}(\Delta\omega_k) = J_{\text{перв}} \frac{d\omega_{\text{ДВС}}}{dt}; \\ M_{\text{пром}} - M_{\text{пром}}^c = J_{\text{пром}} \frac{d\omega_{\text{пром}}}{dt}; \\ M_A \text{sign}(\Delta\omega_A) + M_B \text{sign}(\Delta\omega_B) - M_C = J_{\text{вых}} \frac{d\omega_{\text{втор}}}{dt}; \end{cases}$$

$$M_{\text{пром}} = M_{k-1} i_{k-1} \text{sign}(\Delta\omega_{k-1}) + M_k i_k \text{sign}(\Delta\omega_k);$$

$$M_{\text{пром}}^c = \frac{M_A}{i_A} \text{sign}(\Delta\omega_A) + \frac{M_B}{i_B} \text{sign}(\Delta\omega_B).$$

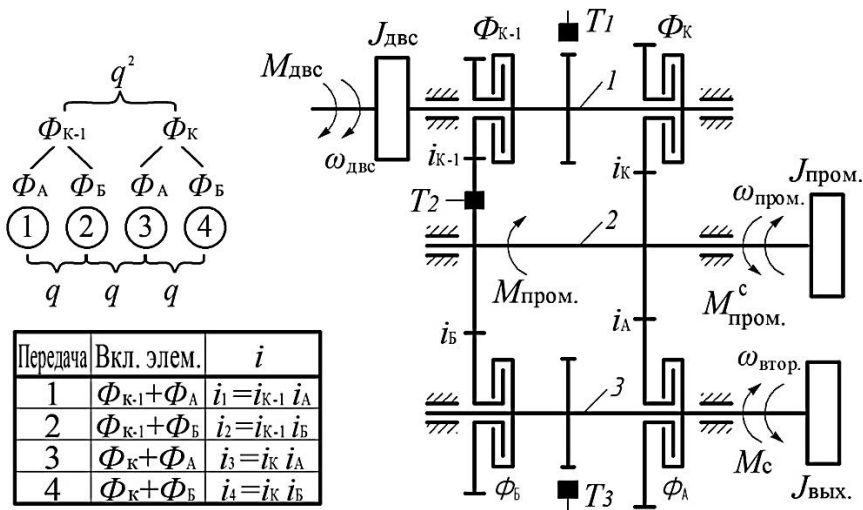


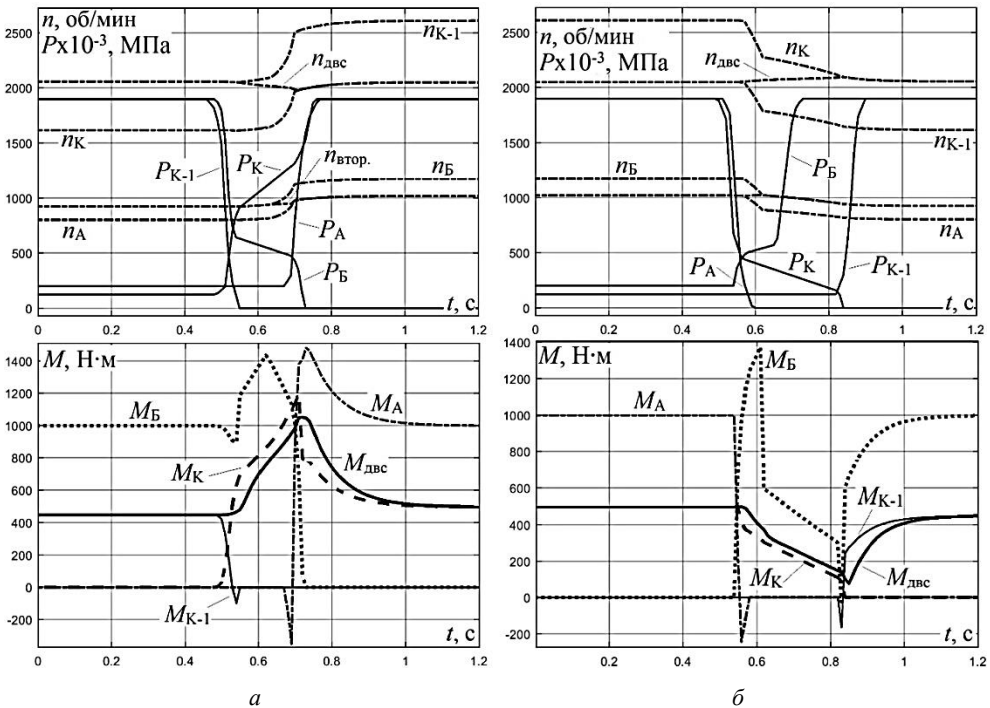
Рис. 1. Кинематическая схема простейшей КП:

$M_{\text{ДВС}}$  — момент от двигателя;  $\omega_{\text{ДВС}}$ ,  $\omega_{\text{пром}}$ ,  $\omega_{\text{втор}}$  — угловые скорости первичного, промежуточного и вторичного валов соответственно;  $\Phi_{k-1}$ ,  $\Phi_k$ ,  $\Phi_A$ ,  $\Phi_B$  — мокрые гидроподжимные ФМ;  $i_{k-1}$ ,  $i_k$ ,  $i_A$ ,  $i_B$  — передаточные числа включения соответствующих ФМ;  $q$  — коэффициент перекрытия между смежными передачами;  $M_{\text{пром}}^c$ ,  $M_{\text{пром}}$  — моменты, приведенные к промежуточному валу КП со стороны нагрузки и со стороны двигателя соответственно;  $J_{\text{перв}}$ ,  $J_{\text{пром}}$ ,  $J_{\text{вых}}$  — моменты инерции первичного, промежуточного валов и момент инерции тракторного агрегата (приведенный к вторичному валу КП);  $M_C$  — момент сопротивления, приведенный к вторичному валу КП;  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  — датчики оборотов первичного, промежуточного и вторичного валов КП

В целом работу системы управления КП можно выстроить так, чтобы исключить двухпарные переключения, как таковые (см. рис. 1). Для этого их необходимо провести два однопарных переключения в следующей последовательности: для переключений вверх — 2-4-3 или 2-1-3; для переключений вниз — 3-4-2 или 3-1-2. Несмотря на простоту, такой подход может привести к повышенному износу ФМ основной части КП из-за их длительного буксования, а также вызвать дискомфорт у водителя из-за последовательного увеличения и уменьшения скорости машинно-тракторного агрегата (МТА).

Указанные недостатки возможно устранить за счет задействования управления двигателем [3, 4]. Для этого на переключениях 2-3 осуществляется однопарное переключение 2-4 с одновременной подачей команды на резкое понижение момента двигателя, вызывающее понижение частоты вращения его коленвала, и повышением давления во включаемой ФМ с интенсивностью, удовлетворяющей параметрам плавности. Затем, после синхронизации дисков  $\Phi_k$ , выполнить переключение 4-3 при буксующей  $\Phi_B$  с одновременной подачей команды на резкое увеличение момента двигателя, в ходе которого происходит синхронизация дисков  $\Phi_A$ . Аналогично можно организовать переключение передач 3-2.

Поскольку на характер изменения скорости МТА в ходе двухпарного переключения будет влиять момент, обеспечиваемый выключаемой буксующей муфтой, то одновременное буксование высшей ФМ передач и высшей ФМ диапазонов позволяет достаточно быстро провести синхронизацию дисков буксующей выключаемой муфты (рис. 2). Однако необходимо учитывать, что как на переключениях вверх, так и на переключениях вниз необходимо сначала добиться синхронизации дисков выключаемой ФМ диапазонов, и только после этого синхронизировать выключаемую ФМ передач. Такая последовательность замыкания позволит сохранить ускоренное движение МТА в ходе переключений вверх и замедление в ходе переключений вниз.



**Рис. 2.** Двухпарное переключение передач с одновременным буксованием ФМ передач и ФМ диапазонов:

$n_{k-1}, n_k, n_A, n_B$  — частоты вращения ведомых дисков муфт  $\Phi_{k-1}, \Phi_k$  и ведущих дисков муфт  $\Phi_A, \Phi_B$  соответственно;  $n_{двс}, n_{втор.}$  — частоты вращения первичного и вторичного валов КП соответственно;  $P_{k-1}, P_k, P_A, P_B$  — давления в бустерах муфт  $\Phi_{k-1}, \Phi_k, \Phi_A, \Phi_B$  соответственно); *а* — переключение вверх, *б* — переключение вниз

Результаты моделирования показали, что для описанного варианта управления (см. рис. 2) общее время переключения сокращается примерно в 2 раза по сравнению с последовательным переключением и управлением двигателем при сопоставимых значениях параметров износа ФМ.

### Выводы

1. Однопарные переключения трактора с орудием через передачу без управления двигателем являются неблагоприятными, поскольку могут сопровождаться интенсивным износом ФМ на переключениях вверх.

2. Одновременное буксование высшей ФМ передач и высшей ФМ диапазонов в ходе двухпарного переключения позволяет ускорить синхронизацию дисков включаемых муфт без ухудшения плавности переключения.

3. Для адаптивного управления двухпарным переключением, осуществляемого за счет одновременного буксования двух ФМ, необходимо наличие датчиков оборотов на всех трех валах КП, а также наличие возможности обмена данными между системами управления коробкой передач и двигателем.

### Литература

- [1] Шарипов В.М. *Конструирование и расчет тракторов*. Москва, Машиностроение, 2009, 752 с.
- [2] Шарипов В.М., Городецкий К.И., Дмитриев М.И., Щетинин Ю.С., Маланин И.А., Зенин А.С. Математическая модель процесса переключения передач в коробке передач трактора с помощью фрикционных муфт. *Известия МГТУ «МАМИ»*. Научный рецензируемый журнал, 2012, 1 (13), с. 112–121.
- [3] Держанский В.Б., Тараторкин И.А. Адаптивное управление переключением передач гидромеханической трансмиссии на основе мониторинга технического состояния и режимов функционирования. *Вестник ЮУрГУ*, 2005, № 14, с. 75–84.
- [4] Курочкин Ф.Ф. *Метод выбора рациональных характеристик процесса переключения в автоматической коробке передач автомобиля*. Дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2008, 149 с.

## To the Question of Two-Couple Gear Shifting Control on Tractors

© | Alendeev E.M.<sup>1</sup>  
| Kruchkov V.A.<sup>2</sup>

evg9702@gmail.com  
smash@list.ru

<sup>1</sup> SRC of RF FSUE «NAMI», Moscow, 125438, Russia

<sup>2</sup> FSBSI «SSAC VIM», Moscow, 109428, Russia

*This article is dedicated to the questions of two-couple gear shifting process organization in agricultural tractor gearboxes. The process modelling in Matlab Simulink software showed that simultaneous high gear clutch and high range clutch slipping during gear shifting gives the same oncoming clutches accelerated synchronization as during gear shifting with engine control.*

**Keywords:** tractor, gearbox, control system, gear shifting, engine control, friction clutch.

УДК: 629.3.017

## Эффективность применения системы управления вертикальными реакциями колес автомобиля при движении по периодическому профилю дороги

© | Альсаламех Бальсам  
Рязанцев Виктор Иванович

balsam34@hotmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрен вопрос повышения устойчивости движения и плавности хода автомобиля при движении по периодическим неровностям. Предложена новая система активной безопасности автомобиля, которая решает основную задачу — повышает устойчивость движения автомобиля путем стабилизации вертикальных реакций колес при движении по периодическим неровностям. Это одновременно уменьшает вертикальные, угловые продольные и поперечные колебания кузова автомобиля, повышая плавность его хода.*

**Ключевые слова:** автоматизированное управление подвеской автомобиля, система стабилизации вертикальных реакций дороги на колесо, устойчивость движения автомобиля, плавность хода автомобиля.

При движении автомобиля по дорогам относительно невысокого качества возможно вхождение колес в резонансный режим. Это явление может сопровождаться значительными изменениями вертикальной силы, действующей на колесо со стороны дороги. Более того, возможен отрыв колеса от дороги. Ослабление вертикальной реакции колеса и тем более отрыв колеса от дороги, снижают устойчивость движения автомобиля. Это может быть крайне опасным, поскольку вызывает неприемлемые нарушения траектории движения автомобиля. Отсюда вытекает целесообразность создания систем активной безопасности, снижающих колебания вертикальных реакций дороги на колеса до безопасных пределов, и таким образом повышающих безопасность движения автомобилей по участкам с выраженным периодическим профилем.

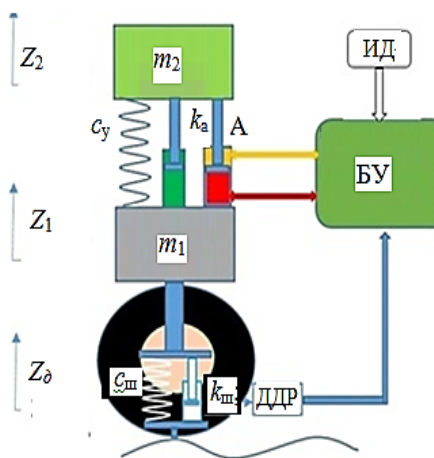
Во многих работах [1–3] рассматриваются управляемые системы поддресоривания, разрабатываемые в целях создания более комфортных условий для пассажиров и перевозимых грузов. Предметом обсуждения в настоящем исследовании является метод повышения устойчивости движения автомобиля путем стабилизации вертикальных реакций от дороги при движении автомобиля по периодическим неровностям и его влияние на стабилизацию положения кузова по высоте и по углу в вертикальной продольной плоскости, т. е. на плавность хода.

На рис. 1 схематически представлена система стабилизации вертикальной реакции дороги на одно колесо.

Представленную выше модель описывают уравнениями

$$\begin{aligned}
 m_2 \ddot{z}_2 &= c_y(z_1 - z_2 + A_n) + k_a(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + cc \cdot (z_1 - z_d - r_d) - m_2 g; \\
 m_1 \ddot{z}_1 &= -c_y(z_1 - z_2 + A_n) - k_a(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) - cc \cdot (z_1 - z_d - r_d) - m_1 g + \\
 &\quad + c_{ш}(z_d - z_1 + A_{ш}) + k_{ш}(\dot{z}_d - \dot{z}_1),
 \end{aligned}$$

где  $cc$  — передаточный коэффициент, определяющий величину силы, создаваемой в актуаторе;  $z_2, z_1$  — вертикальные координаты поддрессоренной и неподдрессоренной масс;  $z_d$  — вертикальная координата профиля дороги;  $A_n, A_m$  — постоянные коэффициенты.



**Рис. 1.** Схема управления реакцией дороги на колесо автомобиля при движении по периодическому профилю:

$m_1, m_2$  — неподдрессоренная и поддрессоренная массы;  $c_y$  — жесткость упругого элемента подвески;  $k_a$  — жесткость амортизатора; А — актуатор (например, гидроцилиндр);  $c_{ш}$  — радиальная жесткость шины; коэффициент неупругого сопротивления шины —  $k_{ш}$ ; БУ — блок управления; ДДР — датчик динамического радиуса; ИД — источник давления

Для решения задачи о колебаниях системы поддрессоривания автомобиля создана динамическая модель автомобиля (рис. 2).

Представленная модель описывается уравнениями:

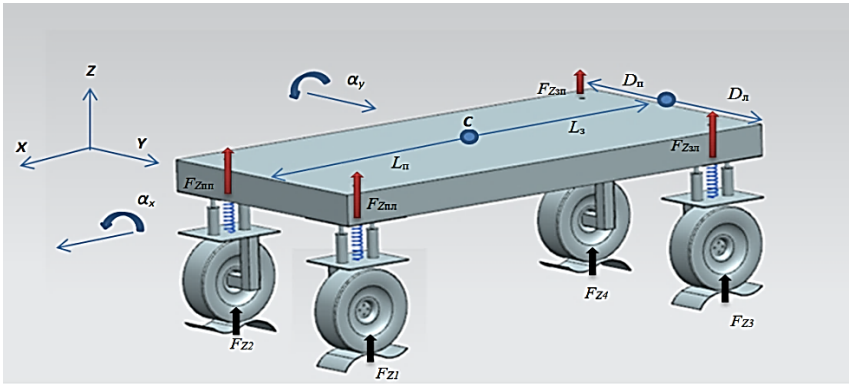
$$J_y \ddot{\alpha}_y = (F_{Z_{3л}} + F_{Z_{3п}})L_3 - (F_{Z_{пп}} + F_{Z_{пл}})L_п;$$

$$J_x \ddot{\alpha}_x = (F_{Z_{3л}} + F_{Z_{3п}})D_л - (F_{Z_{пп}} + F_{Z_{пл}})D_п;$$

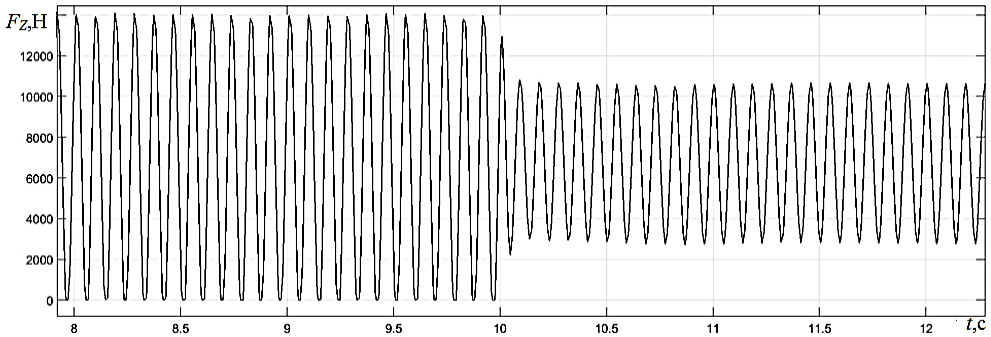
$$m_{body} \ddot{y}_{cz} = F_{Z_{пп}} + F_{Z_{пл}} + F_{Z_{3л}} + F_{Z_{3п}}.$$

Моделирование движения автомобиля в резонансном режиме колеса (11 Гц) по синусоидальному профилю с амплитудой 0,04 м позволяет оценить эффективность управления процессом стабилизации вертикальных реакций на высокой (11 Гц) частоте (рис. 3). На рис. 3 и последующих рисунках на диаграмме представлен режим движения без управления вертикальными реакциями в интервале 0...10 с, и с управлением — в интервале 10...20 с.

В режиме движения с управлением амплитуда вертикальной реакции уменьшается практически в 2 раза, и отрыв колеса удален. Это приводит к существенному увеличению устойчивости автомобиля в поперечном направлении.



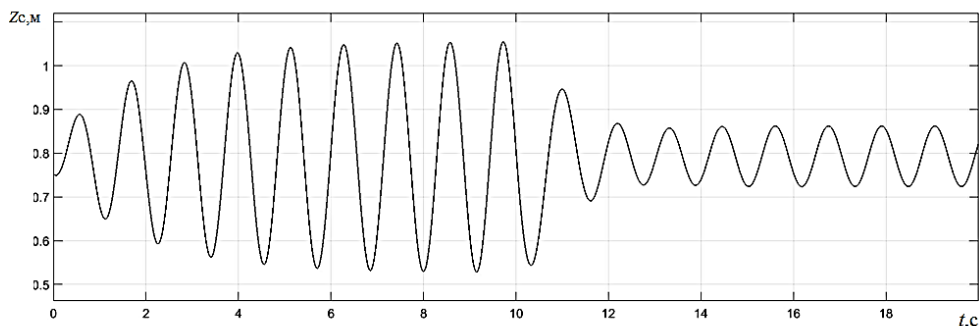
**Рис. 2.** Схема динамической модели системы поддресоривания автомобиля с активным управлением



**Рис. 3.** Изменения вертикальной реакции дороги на колеса автомобиля при движении в резонансном режиме колеса по синусоидальному профилю с амплитудой 0,04 м без управления и с управлением вертикальными реакциями (частота воздействия дороги на колесо 11 Гц)

Значение максимальной мгновенной мощности, затрачиваемой на управление вертикальными реакциями дороги на колеса предлагаемой системой, составляет 10 кВт, а средняя мощность — 8,3 кВт. Управляющая сила изменяется в пределах от  $-4000$  до  $+4000$  Н.

Как видно из рис. 4, амплитуда колебаний центра тяжести кузова автомобиля при применении системы стабилизации вертикальных реакций на колеса составляет 26 % амплитуды колебаний этой точки при отсутствии управления. В результате исследования влияния работы предлагаемой системы на продольные и поперечные угловые колебания кузова автомобиля были получены следующие результаты: применение системы стабилизации вертикальных реакций уменьшает максимальный угол тангажа с  $8,5$  до  $2,5$  град°, т. е. более чем в 3 раза, и угол крена уменьшается с  $12,5$  до  $2,5$  град), т. е. в 5 раз.



**Рис. 4.** Изменения вертикального положения центра тяжести автомобиля при колебаниях на частоте собственных колебаний кузова при движении по синусоидальному профилю с амплитудой 0,05 м без управления и с управлением вертикальными реакциями

Использование предлагаемой активной подвески, представляющей собой систему стабилизации вертикальных реакций дороги на колеса автомобиля, позволяет значительно увеличивать устойчивости движения и плавность хода автомобиля.

#### Литература

- [1] Жеглов Л.Ф. *Спектральный метод расчета систем поддрессирования колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013, 212 с.
- [2] Попов Д.Н. *Механика гидро- и пневмоприводов: учеб. для вузов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, 320 с.
- [3] Jie Fang. *Active suspension system of quarter car*. PhD, University of florida, 2014, p. 70.

### Efficiency of Applying Control System for the Vertical Reactions on the Wheels of a Car when Driving Along the Periodic Profile of the Road

© | Alsalameh Balsam  
Ryazantsev V.I.

balsam34@hotmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*In this paper we will discuss the problem of increasing the stability of the movement stability of the car and its ride quality, during the movement along periodic irregularities. The research suggests a new system of active vehicle safety, has another important quality. In addition to solving its main task — improving the stability of the car's movement, this method simultaneously reduces the vertical and longitudinal angular vibrations of the body of the car, thereby increasing its ride quality.*

**Keywords:** *automated control of the car suspension, the system of stabilization of the vertical reactions of the road to the wheel, stability and safety of movement of car, ride quality.*



УДК 629.3.015.4

## Моделирование композитной энергопоглощающей зоны несущей системы легкового автомобиля при кософронтальном ударе

© | Арутюнян Георгий Артурович  
Карташов Александр Борисович

George.arut@yandex.ru  
Kartashov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*В связи с возрастающими требованиями к экологичности и топливной экономичности автомобилей актуальной становится задача по снижению их массы. Один из перспективных путей решения этой задачи — применение композиционных материалов для изготовления несущих систем. Кузов автомобиля воспринимает не только статические и медленно изменяющиеся динамические нагрузки, но может подвергаться ударному нагружению. Поэтому необходимо провести оценку эффективности применения композиционных материалов для изготовления элементов, отвечающих за энергопоглощение. В работе проведен анализ особенностей энергопоглощения при разрушении композитных конструкций, описаны протекающие при этом процессы и даны рекомендации по проектированию композитных лонжеронов. Выполнено моделирование работы передней энергопоглощающей зоны с композитными лонжеронами при кософронтальном ударе. Подтверждена работоспособность и высокая эффективность конструкции.*

**Ключевые слова:** *пассивная безопасность, энергопоглощение, композитные лонжероны, композитная несущая система, разрушение композитов, ударопрочность, кософронтальный удар.*

Композиционные материалы в настоящее время достаточно активно применяются для изготовления несущих систем, в том числе и для крупносерийных автомобилей. Из них могут изготавливаться части несущей системы, которые подвергаются значительным деформациям и разрушениям в случае столкновения. Такие части должны деформироваться и разрушаться по заранее определенному механизму с эффективным поглощением энергии в случае столкновения.

Среди композиционных материалов наибольшее распространение как для обитаемых частей несущих систем, так и для энергопоглощающих зон получил углепластик [1].

Механизм энергопоглощения композитных конструкций значительно отличается от металлических. В стальных и алюминиевых конструкциях энергия преимущественно поглощается за счет пластической деформации материала и образования складок. В конструкциях из композиционных материалов основными механизмами энергопоглощения являются разрушение волокон, разрушение матрицы и деламинация слоев [2].

В конструкции передней части большинства автомобилей можно выделить характерные элементы, предназначенные для обеспечения пассивной безопасности в случае фронтального столкновения. Такими элементами обычно являются два лонжерона, имеющие замкнутое сечение, и соединяющая их поперечина. При различных фронтальных ударах на них приходится от 40 % до 60 % поглощенной энергии [3].

Общий вид несущей системы показан на рис. 1. Рассматриваемый автомобиль имеет среднеторную компоновку, поэтому деформируемая зона имеет большую длину из-за отсутствия двигателя в передней части.

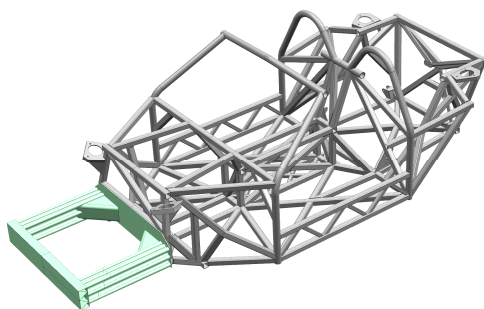


Рис. 1. Общий вид несущей системы

Для повышения эффективности энергопоглощения разработана конструкция углепластикового энергопоглощающего элемента, учитывающая особенности его разрушения. Для оценки работоспособности предложенной конструкции композитной энергопоглощающей зоны и ее применимости в несущей системе автомобиля проведено имитационное моделирование нагружения конструкции с граничными условиями, соответствующими испытанию на кософронтальный удар на скорости 56 км/ч по правилу ЕЭК ООН № 94 [4].

Конечно-элементная модель представлена на рис. 2.

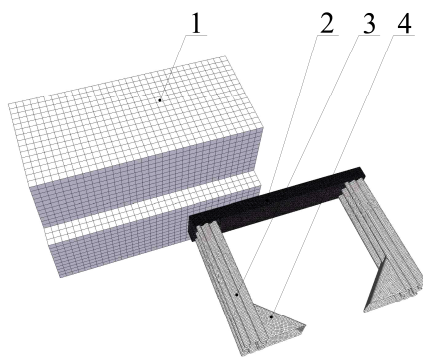


Рис. 2. Конечно-элементная модель:  
 1 — деформируемый барьер; 2 — стальная поперечина;  
 3 — лонжерон; 4 — усилитель

Расчетная модель состоит из деформируемого барьера 1, смоделированного объемными конечными элементами. Передняя энергопоглощающая зона состоит из лонжеронов 3 предложенной формы, стальной поперечины 2, связывающей лонжероны, и усилителей 4, предназначенных для увеличения прочности лонжерона у основания и препятствующих катастрофическому разрушению при отклонении направления действия силы от оси лонжерона. Этапы процесса показаны на рис. 3.

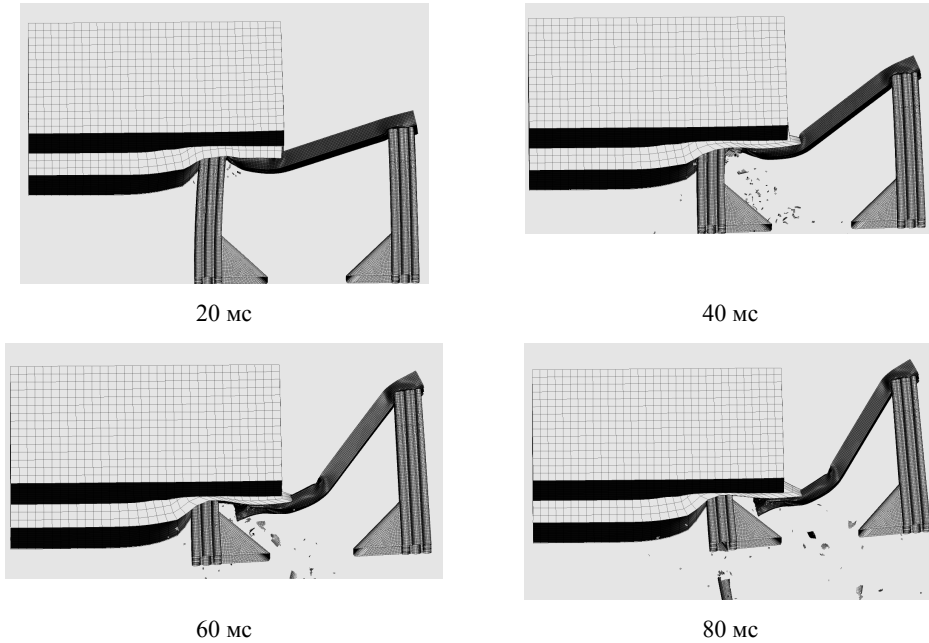


Рис. 3. Процесс разрушения

В процессе столкновения наблюдается равномерное разрушение одного из лонжеронов. Несмотря на наличие силы, действующей в боковом направлении, и наличие изгиба лонжерона, не происходит его разрушения у основания за счет применения усилителя. Длины лонжерона достаточно для поглощения кинетической энергии удара. Происходит отделение металлической поперечины со стороны разрушаемого лонжерона, но сохраняется ее соединение со второй стороны.

На рис. 4 представлен график ускорений точки, расположенной в плоскости основания лонжеронов.

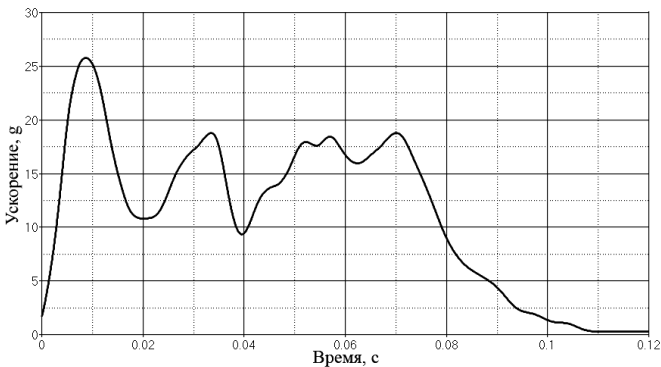


Рис. 4. График ускорений

В начале наблюдается пик ускорения 25,7g, который происходит еще до начала разрушения композитного лонжерона. Затем начинается процесс разрушения и ускорения изменяются с амплитудой в 10g. Процесс носит стабильный характер и разрушение происходит по ожидаемой форме. Ускорения не превышают 25,7g и имеют среднее значение 11g.

Проведенное имитационное моделирование фронтального удара с частичным перекрытием подтвердило работоспособность композитной конструкции и возможность применения композиционных материалов в энергопоглощающих зонах автомобилей.

### Литература

- [1] Lukaszewicz D. Design drivers for enhanced crash performance of automotive CFRP structures. *23rd Intern. Technical Conf. on the Enhanced Safety of Vehicles*, Seoul, 2013.
- [2] Hiermaier S. Structures under crash and impact. Springer, 2008.
- [3] Morello L., Rossini L., Pia G., Tonoli A. *The automotive body. Vol. I: Components Design*. Springer, 2011, p. 668.
- [4] Правила ЕЭК ООН № 94 (документ E/ECE/324/Rev.1/Add.93/Rev.1 — E/ECE/TRANS/505). *Единые предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты водителя и пассажиров в случае лобового столкновения*. ООН, 2007, 86 с.

## Modeling of Composite Energy-Absorbing Zones of the Automotive Body During Oblique Frontal Impact

© Arutyunyan G.A.  
Kartashov A.B.

George.arut@yandex.ru  
Kartashov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Due to the increasing demands for environmental friendliness and fuel economy of cars, the task of reducing their weight is becoming topical. One of the promising ways to solve this problem is the use of composite materials for the manufacture of automotive body. The body of the car perceives not only static and slowly changing dynamic loads, but also can be subjected to shock loading. Therefore, it is necessary to assess the effectiveness of the use of composite materials for the manufacture of elements responsible for energy absorption. The paper analyzes the features of energy absorption during the destruction of composite structures, describes the ongoing processes and gives recommendations on the design of composite front rails. Simulation of the work of the composite front energy-absorbing zone in case of an oblique frontal impact is performed. The applicability and high efficiency of the structure are confirmed.*

**Keywords:** *passive safety, energy absorption, composite front rails, composite vehicle body, composite crashing, crashworthiness, front oblique impact.*

УДК [621.85.051.5+621.85.05-036/037]:629.033

## Проектирование профиля зубьев ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин

©	Богданов Кирилл Андреевич	kindeib1994@gmail.com
	Крючков Виталий Алексеевич	smash@list.ru
	Федоткин Роман Сергеевич	frs89@bk.ru

Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», Москва, 109428, Россия

*Опыт эксплуатации машин, оборудованных резиноармированными гусеницами, показывает, что конструктивные различия последних с металлическими приводят к повышенной нагруженности ведущих колес. Следовательно, появляется необходимость индивидуальной разработки ведущих колес для резиноармированных гусениц. В докладе приведена специально разработанная методика проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами.*

**Ключевые слова:** тяговые и транспортные машины, ходовая система, цевочное зацепление, резиноармированная гусеница, условные шарниры, элемент зацепления, армирующий силовой слой, ведущее колесо, профиль зубьев.

Как показывает практика, при оснащении ходовой системы резиноармированными гусеницами (РАГ) необходимо разработать соответствующие им ведущие колеса (ВК) [1, 2].

Перед началом проектирования необходимо уточнить конструкцию РАГ: ее поперечное сечение, взаимное расположение армирующего силового слоя (АрсС) и закладных элементов (ЗЭ). По этим данным строится элемент зацепления РАГ.

При проектировании ВК цевочного зацепления целесообразно сначала определить число зубьев по известной зависимости [3]. Строится начальная окружность ВК с радиусом  $R_0$ , эта окружность разбивается на части по числу зубьев колеса. Резиноармированной считают звенчатую гусеницу с цевкой, имеющей форму ЗЭ. Отличие РАГ от металлических гусениц (МГ) состоит в том, что первые имеют условные шарниры (УШ), в которых происходит перегиб гусеницы. Центрами УШ для РАГ являются точки пересечения начальной окружности  $R_0$  с центральной линией АрсС [3].

Для РАГ можно выделить три варианта расположения условных шарниров: в центре цевок, между ними и по краям цевок закладных элементов. В первых двух вариантах  $R_0$  находят по формуле из [3, 4]. В случае, когда УШ гусеницы расположены по краям цевок, каждое ее условное звено с шагом  $t_r$  укладывается на дуге ведущего колеса по ломанной линии. В этом случае выражение для расчета  $R_0$  примет вид

$$R_0 = \frac{\cos(\alpha/2) \sqrt{t_r^2 + 2t_{y,ш} (t_{y,ш} - t_r + (t_r - t_{y,ш}) \cos(\alpha/2))}}{\sin \alpha},$$

где  $t_{y,ш}$  — расстояние между условными шарнирами, расположенными по краям цевки закладного элемента.



Толщину зуба принимают из соображений прочности [3, 4], но так, чтобы зазор между поверхностью профиля зуба и цевки закладного элемента получился не менее 25 % толщины цевки ЗЭ по начальной окружности. Учитывать наличие резинового слоя на контактных поверхностях цевок при проектировании ВК не нужно.

Радиус головок зубьев ВК определяют по формуле, аналогичной для МГ [3, 4]. При проектировании колес вершины зубьев могут оказаться выше протектора РАГ. Для исключения этого обстоятельства необходимо соблюдать граничное условие — окружность головок зубьев должна располагаться ниже окружности, построенной по линии протектора гусеницы с учетом податливости ее резиновых слоев  $\delta_{рез}$  под весом машины и максимально возможного износа  $\Delta_{ЗЭ}$  по высоте поверхностей цевок закладного элемента, соприкасающихся с окружностью впадин. Тогда

$$R_r = R_{РАГ_{пр}} - (\delta_{рез} + \Delta_{ЗЭ}) = R_{РАГ_{пр}} - 8...10 \text{ мм.}$$

Ширину зуба определяют исходя из необходимости обеспечения зазора не менее 4 мм между стенками цевочного проема и торцами зубьев ВК с каждой стороны.

#### **Выводы.**

Обобщены основные методики и рекомендации по проектированию ведущих колес для металлических гусениц, проведен их анализ и преобразование под особенности резиноармированных гусениц.

Установлено, что при проектировании ВК резиноармированных гусениц следует считать звенчатой гусеницей с цевкой в виде закладного элемента.

Геометрически определены:

- оптимальные значения угла контакта  $\varphi$  для реальных конструкций РАГ;
- расчетная зависимость радиуса начальной окружности  $R_0$  для случая, когда условные шарниры располагаются по краям цевок;
- расчетная зависимость радиуса окружности впадин  $R_{вп}$  для случаев, когда условные шашниры располагаются по краям цевок закладного элемента и между ними.

#### **Литература**

- [1] Федоткин Р.С. *Расчетно-экспериментальные методы оценки нагруженности и долговечности резиноармированных гусениц сельскохозяйственных тракторов*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2015, 204 с.
- [2] Купрюнин Д.Г., Щельцын Н.А., Бейнenson В.Д., Федоткин Р.С., Белый И.Ф., Ревенко В.Ю. Экспериментальное исследование сравнительных показателей гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов. *Известия Московского государственного технического университета МАМИ*, 2016, № 3 (29), с. 16–24.
- [3] Федоткин Р.С., Крючков В.А., Бейнenson В.Д., Парфенов В.Л. Методика проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин. *Тракторы и сельхозмашины*, 2017, № 3, с. 24–32.
- [4] Шарипов В.М. *Конструирование и расчет тракторов*. Москва, Машиностроение, 2009, 752 с.

## Designing of Pin Engagement with Rubber-Reinforced Tracks Drive Sprockets Teeth Profile of Traction and Transportation Vehicles

© | Bogdanov K.A.  
Kryuchkov V.A.  
Fedotkin R.S.

kindeib1994@gmail.com  
smash@list.ru  
frs89@bk.ru

Federal agricultural research center all-Russian Institute of mechanization of agriculture, Moscow, 109428, Russia

*The operational experience of vehicles with rubber-reinforced tracks shows that their construction differences in comparison with metal tracks provide increased loading to crawler outline, especially to drive sprockets. It shows on necessity of individual drive sprockets design for rubber-reinforced tracks. The article contains the special designed method of pin engagement drive sprockets with rubber-reinforced tracks engineering.*

**Keywords:** traction and transportation vehicles, undercarriage, pin engagement, rubber-reinforced tracks, conditional joints, engagement element, reinforce lay, drive sprocket,; teeth profile.

УДК 629 33

## Учебная установка коробки переключения передач автомобиля

© | Бородин Никита Сергеевич  
Михайлова Людмила Николаевна

Самарский машиностроительный колледж, Самара, 443066, Россия

*Рассмотрены учебные пособия, применяемые в учреждениях высшего и среднего профессионального образования, готовящих специалистов для автомобильного хозяйства и на курсах подготовки водителей легковых автомобилей. Для изучения устройства автомобилей на теоретических занятиях применяются учебные установки отдельных узлов автомобиля. Полезность предлагаемой учебной установки коробки передач состоит в том, что она позволяет демонстрировать изменение положения синхронизатора при переключении рычага на разных передачах, проводить визуальный контроль на панели световой сигнализации включения выбранной передачи. Установка может служить как тренажер для получения навыка пользования рычагом при включении и выключении передач.*

**Ключевые слова:** коробка переменных передач, учебное пособие, полезная модель, синхронизатор и панель автомобиля.

**Введение.** Представленная установка коробки переключения передач является учебным пособием и тренажером для эффективного усвоения конструкции и принципа работы автомобильной коробки переключения передач и ускоренного приобретения навыка переключения. В частности она может быть применена как при подготовке



специалистов по ремонту автомобильного транспорта на аудиторских занятиях, так и для приобретения навыка переключении передач при первоначальном обучении вождению автомобиля.

**Устройства стенда.** Учебная установка — тренажер коробки переключения передач (рис. 1) содержит: аккумулятор (не показан), основание, на котором расположена автомобильная коробка передач, изготавливаемая отечественной промышленностью для автомобиля «ВАЗ-2107» и панель приборов световой сигнализации с электрическими лампами, сигнализирующими о качественной фиксации рычага при включении/выключении каждой передачи. В корпусе коробки передач сделано смотровое окно, в котором размещен блок контактов, а на рычаге переключения передач, изолированно от «массы» рычага, установлены два подпружиненных шаровых контакта, второй из них поставлен изолированно от «массы» на механизме переключения коробки. При расположении рычага в нейтральном положении *N* контакты замкнуты и горит лампочка.

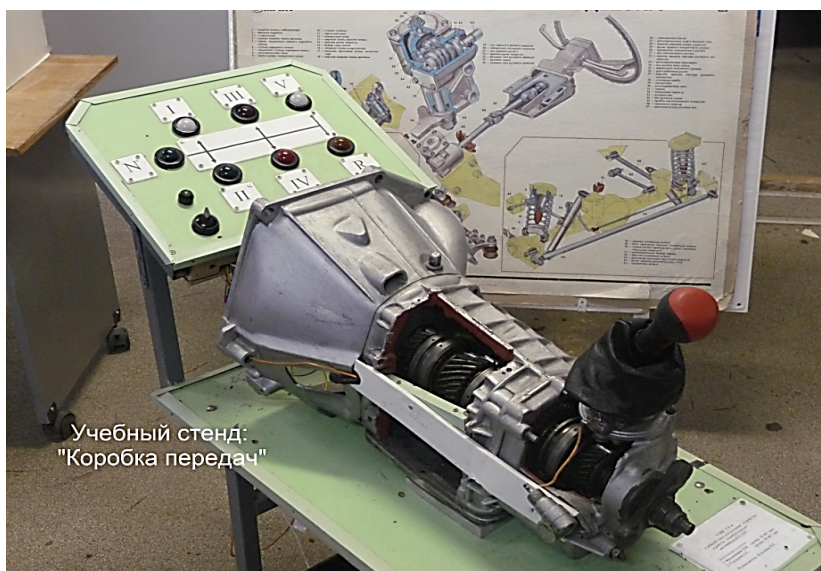


Рис. 1. Учебный стенд коробки передач

Особенностью установки-тренажера является возможность визуально контролировать на панели световой сигнализации фиксацию положения рычага на всех передачах (от нейтральной до заднего хода). Для этого на панели установлены сигнальные лампы: «нейтрали», передач с первой по пятую — *Л1–Л5*, заднего хода *Лз/х*, тумблера для включения установки-тренажера и лампы контроля включения установки *ЛК*.

**Принципиальная электрическая схема учебного стенда.** Электрическая компоновочная схема световой сигнализации предназначена для визуального контроля фиксации выбранного положения рычага при включении каждой передачи, увеличивает срок службы деталей блокировки рычага и повышает надежность коробки переключения передач при эксплуатации установки, также служит для приобретения навыков переключения передач в начальный период обучения водить автомобиль.

Рассматриваемая схема [1–3] показана на рис. 2. Она содержит пучки проводов, соединяющие электрические приборы световой сигнализации для визуального контроля фиксации рычага 7 в положении включения передач с первой по четвертую, заднего хода и нейтрали. Два сферических подпружиненных контакта рычага 7 входят на панели сигнальную лампу ЛН нейтрального положения рычага 7. Имеется тумблер с контрольной лампой ЛК включения/выключения учебного стенда и аккумулятор. В смотровом окне корпуса коробки расположен блок неподвижных пластинчатых контактов, которые замыкаются с «массой» через подвижные шестерни синхронизаторов коробки передач.

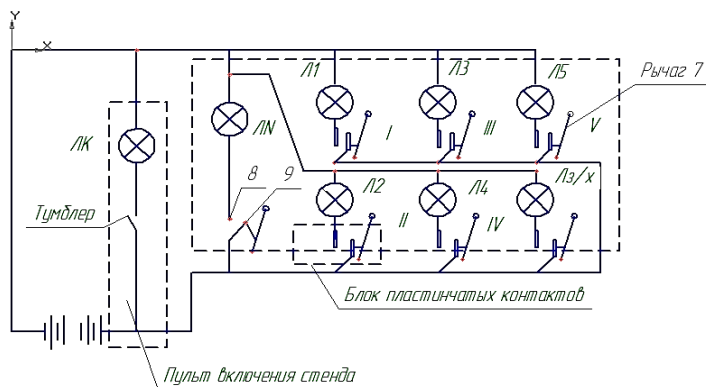


Рис. 2. Электрическая схема

**Принцип работы учебного стенда.** В исходном вертикальном положении рычага переключения передач 7, соответствующем нейтральной передаче *N*, сферический контакт 8, установленный изолированно от «массы» на рычаге 7, замкнут со сферическим контактом 9, изолированным от «массы» на корпусе, включает электрическую цепь от аккумулятора и на панели горит лампа «нейтрали» ЛН. При включении одной из передач рычаг 7 перемещается в положение выбранной передачи, при этом контакт этой передачи в блоке контактов замыкается на «массу» через синхронизатор выбранной передачи и включается сигнальная лампа данной передачи. При переключении с выбранной передачи на другую передачу рычаг 7 возвращается в исходное (вертикальное) положение, а контакт 8 замыкается с контактом 9 и на панели загорается лампа «нейтрали» ЛН. При переключении передач рычаг 7 перемещается с нейтрального (вертикального) положения в положение выбранной передачи по схеме передач, расположенной на панели, лампа нейтрали ЛН гаснет и загорается лампа выбранной передачи.

При включении тумблера от аккумулятора ток поступает по пучку проводов к контактам блока контактов, на лампы световой сигнализации, на датчик заднего хода и сферическим контактам 8, 9. Например, переключение рычага 7 с первой передачи на вторую передачу производится через нейтральную передачу, при этом лампа первой передачи гаснет, снова загорается лампа «нейтрали» ЛН, а затем при установке рычага 7, в положение второй передачи II, а на панели загорается лампа Л2.

**Заключение.** Таким образом, предлагаемый стенд позволяет отрабатывать навыки переключения передач, снижает статистику дорожно-транспортных происшествий и помогает начинающим водителям отработать навыки переключения передач.

### Литература

- [1] Плеханов П.Г., Хабибулин А.Т., Лебедева Е.Г., Михайлова Л.Н., Филипишин Д.В., Стальнов А.С. *Учебная установка коробки переключения передач*. Пат. № 94743 РФ, МПК G09B 9/02. Заявл. 25.12.2009; опубл. 27.05.2010, бюл. № 15, 2 с.
- [2] Плеханов П.Г., Хабибулин А.Т. *Автомобили (основы устройства)* учебное пособие- Самара, Изд-во «Инсома-пресс», 2012.
- [3] Плеханов П.Г., Хабибулин А.Т. *Регламентные работы технического обслуживания автомобилей (основы устройства)*: учеб. пособие. Самара, Изд-во «Инсома-пресс», 2012.

## Training System Gearbox Car

© | Borodin N.S.  
Mihajlova L.N.

Samara machine-building College, Samara, 443066, Russia

*The report examines textbooks used in institutions of higher and secondary vocational education that trains specialists for the automotive sector, in courses podgotavlivaya passenger automobiles study the construction vehicles on theoretical studies applied educational installations of individual components of the car. The usefulness predlagaemogo installation of the gearbox is that it allows us to demonstrate the change of position of the synchronizer when shifting lever into a different gear. Carry out a visual inspection on the panel light signalization-ia gear is selected. The installation can serve as a simulator for receiving of skills of use of the lever for switching on and off of the gear box.*

**Keywords:** box-variable transmission, manual, utility model, the synchronizer panel of the car.

УДК 629.424.1

## Оценка технического состояния цилиндров дизеля с использованием датчика содержания кислорода в отработавших газах

© | Валиев Мухаммад Шералиевич                      valiev.m.sh@gmail.com

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ),  
Ташкент, 100167, Узбекистан

*Повышение эксплуатационной экономичности и надежности тепловозов требует непрерывного контроля технического состояния их оборудования в процессе эксплуатации. В статье предложена методика интегральной оценки технического состояния качества рабочего процесса в цилиндре дизеля с использованием бортовых средств диагностики.*

**Ключевые слова:** цилиндро-поршневая группа, топливная аппаратура, температура отработавших газов, коэффициент избытка воздуха, датчик содержания кислорода.

Коэффициент избытка воздуха является одним из основных параметров рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания, во многом определяющим показатели его надежности и экономичности в эксплуатации.

Со значением коэффициента избытка воздуха непосредственно связаны значения целого ряда других показателей рабочего процесса двигателя, прежде всего температуры отработавших газов (ОГ). Соответствие относительных изменений коэффициента избытка воздуха и температуры отработавших газов является диагностическим параметром, характеризующим техническое состояние цилиндров двигателя [1, 2].

В автомобильных двигателях текущее значение коэффициента избытка воздуха используется для оптимизации как установившихся, так и переходных режимов работы двигателя с целью, во-первых, уменьшения расхода топлива, а во-вторых — увеличения ресурса работы каталитических нейтрализаторов отработавших газов. При этом непрерывный контроль текущего значения коэффициента избытка воздуха (в зарубежной литературе он обозначается греческой буквой  $\lambda$ ) осуществляется с помощью датчика содержания кислорода в отработавших газах (так называемого  $\lambda$ -зонда).

В дизелях средней и большой мощности (тепловозных и судовых) такие датчики пока находят ограниченное применение, в основном их используют для улучшения экологических показателей двигателей [3, 4].

Непрерывное увеличение уровня форсирования дизелей современных тепловозов при одновременном ужесточении требований к их экологическим показателям обуславливает необходимость повышения качества управления силовой установкой тепловоза в переходных режимах работы. Использование коэффициента избытка воздуха в качестве интегрального показателя текущего качества рабочего процесса в цилиндрах дизеля является существенным резервом повышения качества переходных процессов дизеля [5].

Основным элементом устройства является датчик содержания кислорода в ОГ дизеля. В бензиновых двигателях чаще используют узкополосный датчик, который является эффективным детектором стехиометрического состава смеси, позволяющим современным системам управления автомобильными двигателями поддерживать значение коэффициента избытка воздуха с точностью  $\pm 1\%$ . Этим достигается как высокая топливная экономичность двигателя, так и увеличение ресурса работы каталитических нейтрализаторов [6]. Однако использовать такой датчик для контроля значения коэффициента избытка воздуха в бедных смесях ( $\alpha_{\text{ц}} > 1$ ) практически невозможно. Для этих целей применяют широкополосные датчики содержания кислорода в отработавших газах.

Широкополосные датчики имеют две ячейки — измерительную и накачки. Последняя представляет собой гальванический элемент с твердым керамическим циркониевым электролитом, оба электрода которого омываются отработавшими газами. Внешний электрод погружен в поток ОГ выпускного коллектора, к внутреннему электроду газы подводятся через специальное отверстие (диффузионный барьер) в твердом электролите. Прикладывая напряжение к электродам ячейки накачки можно управлять переносом ионов кислорода между электродами ячейки.

При положительном потенциале входа перенос кислорода будет осуществляться от внутреннего электрода ячейки накачки к внешнему, при отрицательном потенциале — в противоположном направлении. Изменяя силу тока (напряжение между электродами ячейки накачки), можно добиться удаления из ячейки всего кислорода. Необходимая для этого сила тока будет зависеть от содержания кислорода в ОГ. Таким образом, постоянно поддерживая в ячейке накачки нулевое содержание ионов кисло-

рода, можно по силе необходимого для этого тока оценивать содержание кислорода в отработавших газах [7].

Для изготовления макетного образца устройства контроля коэффициента избытка воздуха тепловозного дизеля и проведения экспериментальных исследований был выбран широкополосный датчик LSU 4.2 фирмы BOSCH [8].

В макетном устройстве регулятор был реализован на ПЭВМ, при этом для контроля напряжения и формирования управляющего воздействия, а также управления током нагревателя датчика был разработан и изготовлен интерфейсный модуль, основой схемы которого являлся многофункциональный USB-контроллер ввода-вывода USB-4702 фирмы Advantech [9].

С учетом существенной зависимости результатов измерений коэффициента избытка воздуха от давления измеряемой среды (т. е. давления ОГ), оптимальным решением представляется установка датчика на выпускную трубу тепловоза. В этом случае статическое давление ОГ может быть принято равным атмосферному, а поправка должна учитывать только скоростной напор газов на выходе из трубы, который относительно невелик.

Параметры режима работы дизель-генераторной установки в процессе испытаний определяли по данным бортового накопителя тепловоза. Синхронизацию данных по времени выполняли посредством ручной установки одинакового времени на компьютере пультового устройства индикации тепловоза, осуществляющего накопление данных, и на компьютере устройства с точностью до  $\pm 0,5$  с.

Эксплуатационные испытания макетного образца устройства для контроля суммарного коэффициента избытка воздуха проводили на тепловозе серии ТЭП70БС во время рядовой поездки. Во время опытной поездки тепловоз находился в исправном эксплуатационном состоянии и эксплуатировался без каких-либо ограничений.

Результаты работы, свидетельствуют о работоспособности разработанного макетного образца устройства для контроля коэффициента избытка воздуха тепловозного дизеля. Данное устройство может эффективно использоваться как для управления дизель-генераторной установкой тепловоза в переходных режимах работы, так и для контроля технического состояния дизеля в бортовых и стационарных средствах диагностики [10].

#### Литература

- [1] Пушкарев И.Ф., Пахомов Э.А. *Контроль и оценка технического состояния тепловозов*. Москва, Транспорт, 1985, 160 с.
- [2] Погодин С.И. *Рабочие процессы транспортных турбопоршневых двигателей*. Москва, Машиностроение, 1978, 312 с.
- [3] Никитин, Е.А., Станиславский Л.В., Улановский Э.А. *Диагностирование дизелей*. Москва, Машиностроение, 1987, 224 с.
- [4] Грицай Л.Л., Горбунов В.Ф., Калугин В.Н., Левин Б.М. Диагностические параметры главных судовых малооборотных дизелей. *Труды ЦНИИМФа*, 1973, № 174, с. 3–19.
- [5] Валиев М.Ш. Диагностика рабочего процесса тепловозного дизеля в условиях эксплуатации. *Вестник транспорта Поволжья*, 2011, № 1 (25), с. 35–39.
- [6] Грачев В.В., Валиев М.Ш. Оценка технического состояния цилиндров дизеля с использованием датчика содержания кислорода в отработавших газах. *Известия ПГУПС*, 2011, № 2 (27), с. 25–32.
- [7] Грачев В.В., Валиев М.Ш. Оценка технического состояния тепловозного дизеля по данным бортовой микропроцессорной системы управления. *Известия ПГУПС*, 2010, № 1 (22), с. 22–32.

- [8] *Planar Wide Band Lambda Sensor*. Technical Customer Information. Y258-K01-005-000e. Bosch, 2001, 25 p.
- [9] *Руководство по эксплуатации ADZ-SML(SMX). Датчики давления, разрежения и разности давлений ADZ-SML(SMX)*. Москва, 2006, 18 с.
- [10] Грачев В.В., Базилевский Ф.Ю., Валиев М.Ш. Устройство для контроля величины коэффициента избытка воздуха тепловозного дизеля. *Известия ПГУПС*, 2011, № 3 (28), с. 153–161.

## Estimation of a Diesel Engine Cylinders and Fuel Equipment Condition by Exhaust Gases Oxygen Sensor

© | Valiev N.Sh.

valiev.m.sh@gmail.com

Tashkent Institute of Railway Engineers (TIRE), Tashkent, 100167, Republic of Uzbekistan

*The increasing of operational profitability and reliability of diesel locomotives demands continuous control for a technical condition of their equipment in the service. In article the technique of an integrated estimation of a cylinder working process quality is offered. It may be used in the locomotive on-board diagnostic systems.*

**Keywords:** *cylinder group, fuel equipment, temperature of the exhaust gases, air-fuel ratio, the oxygen sensor.*

УДК 629.113

## Влияние учета смещений реакций опорной поверхности на расчетные параметры траектории движения колесной машины при математическом моделировании равномерного движения в повороте

© | Голубева Татьяна Алексеевна

stor4ilova@rambler.ru

Балакина Екатерина Викторовна

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, 400005, Россия

*В настоящее время при проведении предпроектного моделирования устойчивости движения колесной машины не учитывают все составляющие смещений реакций опорной поверхности. Для вычисления смещения боковой реакции опорной поверхности, реализуемой участком с трением покоя в пятне контакта и определения его влияния, была получена теоретическая зависимость. Результаты расчетов показали, что учет составляющих сносов реакций опорной поверхности оказывает значительное влияние на результаты моделирования движения машины.*

**Ключевые слова:** *математическое моделирование, качество эластичного колеса, смещение реакций, режим поворота.*

Авторами данной статьи предложено разделение общепринятого понятия продольного смещения нормальной реакции опорной поверхности не на две составляющих, как в источнике [1], а на три [2]. Напомним, что одна составляющая, как обычно, характеризует гистерезисные потери (радиальные и тангенциальные) на качение колеса, другая составляющая, как обычно, характеризует продольное упругое перемещение оси колеса относительно геометрического центра пятна контакта, а третья, вновь вводимая составляющая, характеризует упругие угловые деформации шины, которые вызывают несимметричность эпюры нормальных напряжений в зоне пятна контакта.

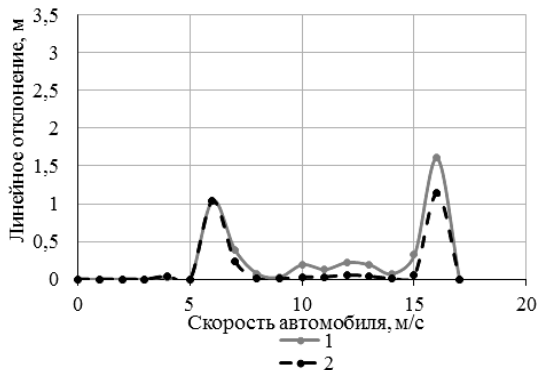
В качестве базы для моделирования принята традиционная система уравнений движения [3], модернизированная под задачи исследования влияния учета смещения нормальной и боковой реакций опорной поверхности на расчетные параметры траектории движения машины. Для приблизительной оценки степени влияния учета при моделировании движения автомобиля сносов реакций на параметры его траектории первично проведена серия пробных расчетов. На их основании выявлено, что учет при моделировании рассматриваемого явления сносов реакций проявляется только при наличии на автомобиле антиблокировочной системы, не позволяющей колесу выходить на режим полного скольжения в пятне контакта.

По итогам предварительных расчетов для дальнейшего анализа выбраны следующие режимы движения:

- поворот радиусом 35 м с постоянной скоростью на дороге с равномерными сцепными свойствами;
- торможение на прямой при наличии постоянной боковой силы на дороге с равномерными сцепными свойствами;
- торможение при повороте радиусом 35 м на дороге с равномерными сцепными свойствами.

В данной статье представлены результаты математического моделирования режима равномерного движения в правом повороте радиусом 35 м.

Изменения линейных отклонений автомобиля, связанных с учетом дополнительных сносов реакций (см. рисунок), вызваны появлением и ростом момента  $M_{y2}$  на управляемых колесах. При этом чем больше скорость автомобиля  $V_a$ , тем больше момент  $M_{y2}$ , который обуславливает рост угла поворота  $\Theta$  управляемых колес, а значит, и рост связанных с ним моментов: весового и гироскопического [4].



Абсолютные изменения расчетных линейных отклонений легкового автомобиля при учете сносов нормальной реакции опорной поверхности (режим — равномерное движение в правом повороте радиусом 35 м):

1 — передняя ось; 2 — задняя ось





*that taking into account the trails of the reactions of bearing surface significantly changed the modeling results of the cars movement.*

**Keywords:** *mathematical modeling, elastic rolling wheel, shift of reaction.*

УДК 629.365

## **Методика оценки живучести торсионных валов быстроходных гусеничных машин на этапе проектирования**

© | Дубин Дмитрий Андреевич  
Наказной Олег Алексеевич

dubin.connect@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Приведен алгоритм исследования живучести торсионных валов гусеничных машин. Предлагаемая методика основана на разработанной имитационной модели распространения поверхностной полуэллиптической трещины в цилиндрической части торсионного вала. Применение методики на этапе проектирования позволит избежать внезапных отказов торсионных валов, вызванных распространением начальных технологических дефектов, что должно обеспечить гарантированную наработку не ниже требуемых значений и повысить надежность систем поддрессоривания гусеничных машин.*

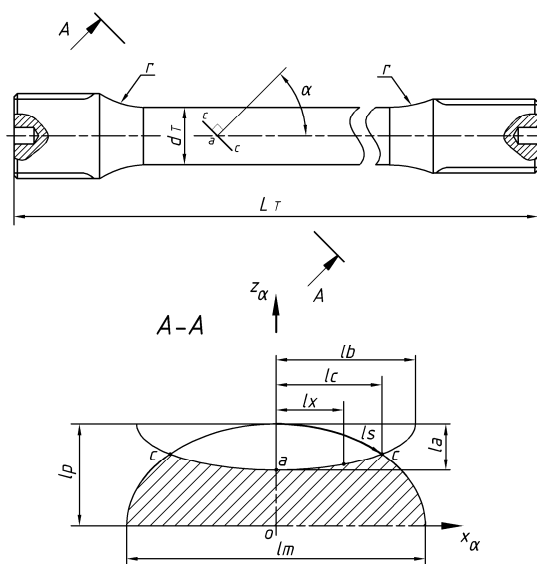
**Ключевые слова:** *торсионный вал, поверхностная трещина, гусеничная машина, живучесть.*

**Введение.** Опыт эксплуатации показывает, что торсионные валы разрушаются при уровнях нагружения существенно ниже расчетных значений, и связано это с усталостными явлениями в деталях, которые способствуют образованию усталостных трещин и их распространению под действием циклически изменяющейся нагрузки, возникающей при движении гусеничной машины по неровностям местности. На сегодняшний день, проблема усталости металла достаточно хорошо изучена и на практике успешно применяют различные конструктивные решения, которые в совокупности с технологическими мероприятиями способствуют повышению усталостной прочности торсионных валов. Однако по мере накопления статистических данных о характере и количестве отказов гусеничной техники можно заключить, что наибольшее количество отказов приходится на ходовую часть, где одной из причин является разрушение упругого элемента подвески. Разрушения часто происходят при значениях наработки меньше гарантированной и установленной в требованиях по эксплуатации для конкретного образца гусеничной техники.

Преждевременные отказы могут происходить из-за конструктивных ошибок, которые приводят к общей перегруженности системы поддрессоривания (увеличение массы машины без модернизации базового шасси), что ведет к увеличению уровня рабочих напряжений в торсионных валах и как следствие ускоренной инициации усталостных явлений. Другой возможной и зачастую неизбежной причиной, харак-

терной для крупносерийного производства, являются технологические дефекты в материале деталей. Проводить тщательный контроль качества или использовать более точные средства диагностики дефектов в силу разных обстоятельств не представляется возможным, вследствие чего на момент начала эксплуатации в деталях ходовой части или системы поддрессоривания могут существовать начальные дефекты. Для торсионных валов подобные дефекты, как правило, носят технологический характер и образуются на этапе производства в процессе механической обработки [1]. Однако надежность торсионных систем поддрессоривания можно повысить на этапе проектирования путем учета возможного наличия начальных технологических дефектов в упругом элементе. С этой целью была разработана методика оценки живучести торсионных валов, основанная на аппарате линейной механики разрушения (ЛМР) [2].

**Описание методики.** Предлагаемая методика оценки живучести базируется на разработанной имитационной модели распространения поверхностной полуэллиптической трещины в цилиндрической части торсионного вала (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).



**Рис. 1.** Схема торсионного вала с поверхностной полуэллиптической трещиной

Для реализации методики помимо характеристик трещиностойкости материала вала требуется задать ряд технологических параметров, таких как уровень остаточных напряжений поверхностных слоев  $\tau_{ост}$  и значение технологического допуска на несоосность кронштейнов подвесок  $[\delta]$ . Так же с целью задания начального размера трещины  $l_n$ , необходимо определить предел чувствительности применяемого метода неразрушающего контроля. Реализация методики предполагает выполнение четырех основных этапов: анализ нагруженности торсионных валов; определение поправочных коэффициентов; расчеты критического размера трещины и периода эксплуатации торсионного вала с трещиной.

**Этап № 1. Анализ нагруженности торсионных валов.** Этот этап предполагает использование методов и средств численного моделирования прямолинейного движения гусеничной машины по неровностям местности [3] и включает в себя синтезирование дорожных условий, расчет режимов движения и математическое моделирование рабочих процессов гусеничной машины, движущейся по трассе [4]. В результате должны быть получены кинематические и силовые параметры нагружения торсионных валов в функции времени движения.

**Этап № 2. Определение поправочных коэффициентов.** В рамках ЛМР механическая ситуация в окрестности фронта трещины полностью описывается коэффициентом интенсивности напряжений (КИН). Было установлено, что усталостные трещины в цилиндрической части торсионных валов можно считать трещинами нормального отрыва. При совпадении плоскости поверхностной полуэллиптической трещины с положением главных площадок преобладают деформации I типа, деформации типов II и III и соответствующие им коэффициенты интенсивности  $K_{II}$  и  $K_{III}$  являются незначительными по отношению к  $K_I$ . Таким образом, значения КИН для двух точек фронта трещины будет определяться зависимостями

$$K_{I_{ci}} = \sigma_{_li} \sqrt{\pi l_{s_i}} F_{I_{ci}}; \quad (1)$$

$$K_{I_{ai}} = \sigma_{_li} \sqrt{\pi l_{a_i}} F_{I_{ai}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{_li}$  — значения главных растягивающих напряжений в области трещины;  $l_{s_i}$ ,  $l_{a_i}$  — длина и глубина трещины;  $F_{I_{ci}}$ ,  $F_{I_{ai}}$  — поправочные коэффициенты;  $i$  — номер подвески.

Поправочные коэффициенты являются функцией диаметра торсионного вала, геометрических размеров трещины, ее ориентации, а так же условий нагружения. Определение поправочных функций для трещин проводится с использованием МКЭ методом поэтапного прорастивания трещины по длине и глубине путем последовательного перестроения сетки конечных элементов [5]. Для различных соотношений  $l_a/l_b$  трещины на каждом шаге определяется КИН для точек  $a$  и  $c$  фронта. Полученное значение КИН подставляется в (1) и (2) для выражения  $F_I$ . Усталостные трещины распространяются в плоскости, перпендикулярной действию главных растягивающих напряжений. Необходимо учесть, что для случая сложного напряженного состояния угловое положение главных площадок изменяется в зависимости от угла закрутки торсионного вала. Таким образом, поправочные коэффициенты вычислены быть  $dsxbckty$  для нескольких угловых положений трещины, диапазон изменения которых определяется условиями нагружения вала.

**Этап № 3. Определение критического размера трещины.** В рамках данного этапа определяется критический размер трещины  $l_k$ , при котором происходит разрушение. С этой целью проводят анализ трещиностойкости торсионного вала. Получают значения критической длины или глубины трещины в зависимости от отношения  $l_a/l_b$ . Момент наступления предельного состояния определяется по силовому критерию Ирвина. Когда действующий уровень КИН в одной из точек фронта трещины достигает порогового значения, называемого вязкостью разрушения  $K_{Ic}$ :

$$K_{I_{max}} > K_{Ic}, \quad (3)$$

где  $K_{Ic}$  — критический коэффициент интенсивности напряжений.

**Этап № 4. Анализ живучести.** На данном этапе определяется период эксплуатации торсионного вала с трещиной от начального значения  $l_n$ , соответствующего

пределу чувствительности применяемого МНК, до критического значения  $l_k$ . Рост трещины предполагается осуществлять параллельно для двух точек фронта

$$\begin{cases} \frac{dl_{c-i}}{dN} = C_i \Delta K_i^{n_i}; \\ \frac{dl_{a-i}}{dN} = C_i \Delta K_i^{n_i}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $N$  — количество циклов нагружения,  $C, n$  — эмпирические коэффициенты.

В выражениях (1), (2) для получения КИН требуется найти главные растягивающие напряжения в области трещины. В общем случае торсионные валы испытывают сложное напряженное состояние от действия крутящего момента  $M_{кр}$  как преобладающего силового фактора со стороны рычага подвески. Вследствие несоосности опор, а также деформации корпуса, дополнительно со стороны большой оси балансира и кронштейна подвески возникает изгибающий момент  $M_{изг}$  и перерезывающая сила  $P$ . В процессе эксплуатации торсионные валы испытывают температурные деформации, вследствие чего на головки торсионных валов будет действовать сжимающая сила  $P_{сж}$  (рис. 2).

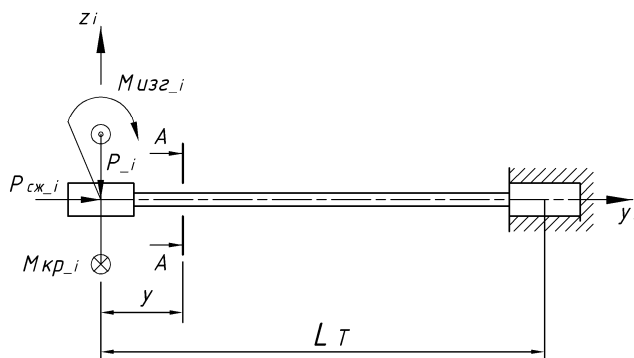


Рис. 2. Расчетная схема торсионного вала

Поскольку поверхностные слои рабочей части торсионных валов испытывают плоское напряженное состояние, значения главных напряжений можно определить как

$$\sigma_{1-i} = \frac{1}{2} \left( \left( \frac{(M_{изг_i} - P_i y) z_i}{I_{m-x}} - \frac{P_{сж}}{F} \right) + \sqrt{\left( \frac{(M_{изг_i} - P_i y) z_i}{I_{m-x}} - \frac{P_{сж}}{F} \right)^2 + 4 \left( \frac{M_{кр-i} \rho}{I_p} - \tau_{ост} \right)^2} \right). \quad (5)$$

**Выводы.** Применение данной методики позволит избежать преждевременных отказов торсионных валов, вызванных распространением начальных технологических дефектов, что должно обеспечить гарантированную наработку не ниже требуемых значений и повысить надежность систем поддресоривания гусеничных машин.

## Литература

- [1] Бернштейн М.Л. *Атлас дефектов стали*. Пер. с нем. Москва, Металлургия, 1979, 188 с.
- [2] Партон В.З., Морозов Е.М. *Механика упругопластического разрушения. Основы механики разрушения*. Москва, Издательство ЛКИ, 2008. 352с.
- [3] Дядченко М.Г., Котиев Г.О., Наумов В.Н. *Основы расчета систем поддрессоривания гусеничных машин на ЭВМ*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 30 с.
- [4] Котиев Г.О. *Прогнозирование эксплуатационных свойств систем поддрессоривания военных гусеничных машин*. Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000, 265 с.
- [5] Морозов Е.М. *ANSYS в руках инженера. Механика разрушения*. Москва, ЛЕНАНД, 2010, 456 с.

## Damage Tolerance Assessment Method of Torsion Shafts of High-Mobility Tracked Vehicles

© | Dubin D.A.  
Nakaznoi O.A.

dubin.connect@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This article presents method of damage tolerance assessment of torsion shafts of tracked vehicles. The proposed method is based on the developed simulation model for the propagation of a surface semi-elliptical crack in the cylindrical part of the torsion shaft. The application of the method at the design stage will avoid sudden failure of torsion shafts caused by the spread of initial technological defects, which should ensure guaranteed production of at least the required values and increase the reliability of suspension systems.*

**Keywords:** *torsion shaft, surface crack, tracked vehicle, damage tolerance.*

УДК 629.331 + 629.3.027.3

## Метод оценки реологических свойств пружин, выполненных с применением полимерных композиционных материалов в системах поддрессоривания колесных машин

© | Евсеев Кирилл Борисович  
Карташов Александр Борисович

Kb\_evseev@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Проведен обзор моделей, позволяющих учитывать вязкоупругие свойства пружин, выполненных с применением полимерных композиционных материалов. Рассмотрены особенности решения уравнений с дробными производными, описывающие рассмотренные модели. Получено уравнение напряженно-деформированного состояния композитной пружины, учитывающее реологические свойства материала. Разработана*

*модель в среде MATLAB/Simulink для расчета композитных пружин. Изготовлена и испытана композитная пружина, которая позволила сравнить упругие характеристики пружины, полученные в результате моделирования и эксперимента. Авторы статьи определили область применения таких пружин в автомобилестроении и направления совершенствования композитных пружин, используемых в колесных машинах.*

**Ключевые слова:** композитная пружина, подвеска, композиционные материалы.

Анализ применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в автомобильной отрасли устанавливает тенденции к росту с каждым годом использования деталей из них в узлах и агрегатах автомобилей. Одним из перспективных направлений использования деталей, выполненных с применением ПКМ, является их применение в системах поддрессирования колесных машин (КМ).

Актуальным вопросом становится снижение массы автомобиля в целом, а также неподдрессоренных масс. Стеклопластиковые пружины позволяют добиться не только снижения масс, но и ряда других преимуществ по сравнению со стальными: обеспечение больших ходов подвески, высокая прочность, отсутствие коррозии, экономически выгодное производство, хорошая усталостная выносливость, малая ползучесть, хорошие вибро- и шумоизолирующие свойства, возможность обеспечения взаимозаменяемости со стальной пружиной, возможность получения сложных форм и прогрессивных нагрузочных характеристик, наличие демпфирующих свойств. Благодаря всему этому использование пружин, выполненных на основе ПКМ в качестве упругих элементов автомобиля, является логическим и актуальным направлением работ. Широкое применение композитных пружин в автомобилестроении требует изучения новых подходов к проектированию, так как в таких элементах необходимо учитывать внутренние гистерезисные потери, возникающие из-за вязкоупругих свойств материала, поэтому актуальным вопросом является создание метода расчета таких пружин.

Для учета свойств вязкоупругости были предложены различные модели, разработанные Максвеллом, Фойгтом и Кельвином [1], которые можно использовать не только для учета свойств сплошной среды (густых растворов, упругих тел и суспензий), но и для описания и учета свойств ПКМ.

Уравнения с целочисленными производными, описывающие различные модели, обладают недостаточной адекватностью с точки зрения их качества или имеют большое число слагаемых, поэтому для качественного описания рассматриваемых моделей используется аппарат дробных производных [2]. При таком подходе дробно-дифференциальным обобщением стандартной трехпараметрической модели с целочисленными производными является четырехпараметрическая модель Зенера, описываемая уравнением

$$\sigma(t) + \tau^\alpha {}_0D_t^\alpha \sigma(t) = E \left[ \varepsilon(t) + \theta^\alpha {}_0D_t^\alpha \varepsilon(t) \right],$$

где  ${}_0D_t^\alpha$  — дробная производная.

В связи с особенностью численных методов решения, которые применены в работе, использовано определение дробной производной, которое называется дробной производной Грюнвальда — Летникова с конечным пределом. Определение этой производной получено путем рассмотрения конечных разностей, т. е. определение из приращения функции и аргумента, при этом вид самой функции может быть случайным. В среде MATLAB Simulink вычисления осуществляются дискретно с постоян-

ным или переменным шагом, кроме этого, внешнее силовое или кинематическое возмущение в реальных объектах зачастую носит случайный характер, поэтому определение дробной производной Грюнвальда — Летникова лучше всего подходит для решения такого вида задач.

Прогиб пружины, изображенной на рис. 1, можно определить, используя интеграл Мора:

$$\lambda = \int_l \frac{M_k M_{k1}}{GJ_k} dz = \frac{8FD^3n}{Gd^4},$$

где  $D$  — средний диаметр пружины;  $n$  — число ее рабочих витков;  $d$  — диаметр прутка пружины;  $G$  — модуль сдвига.

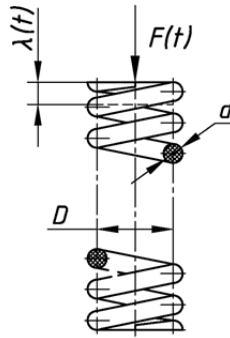


Рис. 1. Основные параметры спиральной пружины и схема ее нагружения

Четырехпараметрическая модель [0] стандартного линейного тела для случая кручения описывается уравнением:

$$\tau(t) + \zeta^\alpha D^\alpha [\tau(t)] = G [\gamma(t) + \theta^\alpha D^\alpha [\gamma(t)]].$$

Применяя преобразования Лапласа и заменяя упругие параметры на соответствующие параметры при учете свойств вязкоупругости, получаем дифференциальное уравнение с дробными производными, связывающее прогиб пружины  $\lambda(t)$  с действующей на пружину силой  $F(t)$ :

$$\lambda(t) + \theta^\alpha D^\alpha [\lambda(t)] = \frac{8D^3n}{Gd^4} [F(t) + \zeta^\alpha D^\alpha [F(t)]].$$

На основе этого уравнения была составлена модель в среде MATLAB Simulink, позволяющая описывать упругие свойства пружины с учетом реологических процессов. Модель оформлена в виде подсистемы, входным параметром которой является прогиб пружины, т. е. кинематическое воздействие, а выходным параметром — усилие.

Для проверки адекватности рассматриваемой модели была изготовлена композитная пружина из стеклопластика. Нагрузочная характеристика, полученная при моделировании такой пружины, показана на рис. 2, из которого следует, что при максимальном прогибе (ось абсцисс) пружины возникающие в ней усилия (ось ординат)

совпадают с экспериментально снятой нагрузочной характеристикой. Отдельный интерес представляет петля гистерезиса, получаемая при моделировании с использованием аппаратов дробного дифференцирования и наблюдаемая в проведенном эксперименте при работе пружины, изготовленной с применением ПКМ: требуется провести ряд дополнительных экспериментальных работ, на основе которых можно уточнить параметры, входящие в состав четырехпараметрической модели и описывающего ее дробно-дифференциального уравнения.

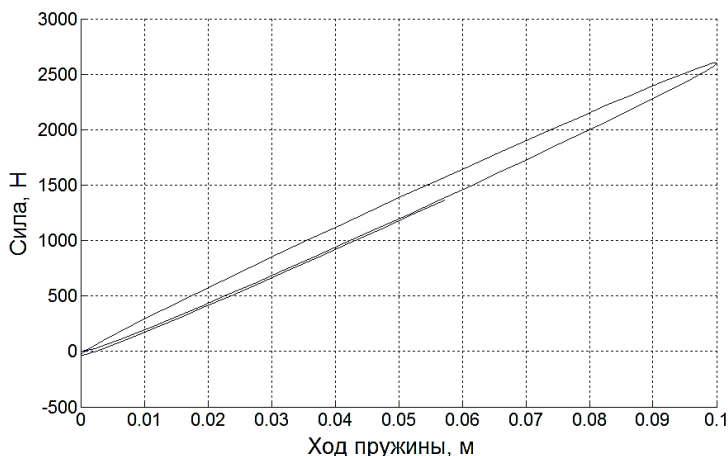


Рис. 2. Нагрузочная характеристика композитной пружины, полученная при моделировании

Разработанная модель композитной пружины дает возможность прогнозировать и учитывать реологические свойства ПКМ. Для прогнозирования таких свойств необходимо проводить эксперименты для уточнения и систематизации параметров, входящих в состав четырехпараметрической модели композитной пружины.

### Литература

- [1] Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. *Сопротивление материалов*. Москва, Наука, 1986, 560 с.
- [2] Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. *Демпфирование колебаний*. Москва, Мир, 1988, 448 с.
- [3] Учайкин В.В. *Метод дробных производных*. Ульяновск, Изд-во «Артишок», 2008, 512 с.

## Method for Calculating the Rheological Properties of Springs Made Using Polymer Composite Materials in Wheel Suspension Systems

© | Evseev K.B.  
Kartashov A.B.

Kb\_evseev@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article describes the use of models which take into account the viscoelastic properties of springs made of polymer composite materials. The special features of solving equations with*



*fractional derivatives that describe these models are reviewed. The authors obtained the equation of the stress-strain state of the composite spring which takes into account the rheological properties of the material. The model for calculation of composite spring characteristics is developed in MATLAB/Simulink. A composite spring was manufactured and tested. Its elastic characteristics were compared with the characteristics obtained by the model. The authors have determined the field of application of such springs in the automotive industry and the directions of improvement of composite springs used in wheeled vehicles.*

**Keywords:** composite spring, suspension, composites.

УДК 629 33

## Раздельная жидкостная система охлаждения

© | Зацепин Владислав Алексеевич  
| Лебедева Елена Геннадьевна

skb.smk@yandex.ru

Самарский машиностроительный колледж, Самара, 443066, Россия

*В студенческом конструкторском бюро колледжа разработана раздельная жидкостная система охлаждения двигателя внутреннего сгорания, состоящая из двух независимых подсистем — системы охлаждения головки блока и системы охлаждения блока цилиндров). Для циркуляции охлаждающей жидкости применяется двухкамерный насос, радиатор, трубопроводы и два термостата. Раздельная жидкостная система охлаждения двигателя внутреннего сгорания относится к образцам машиностроения в частности к системам жидкостного охлаждения двигателей внутреннего сгорания.*

**Ключевые слова:** жидкостная система охлаждения, двигатель внутреннего сгорания, термостат, радиатор.

Известно, что при существующей жидкостной системе охлаждения циркуляция охлаждающей жидкости осуществляется одновременно в полости головки блока и блоке цилиндров двигателя. Известна система жидкостного охлаждения двигателя внутреннего сгорания, состоящая из общей рубашки охлаждения блока цилиндров и его головки, для циркуляции охлаждающей жидкости через радиатор, вентилятор, насос и двух клапанный термостат [1–3]. В клапане термостата, сообщающего общую рубашку блока и его головки с радиатором, выполнено калибровочное отверстие, обеспечивающее срабатывание термостата и начало циркуляции только после прогрева деталей цилиндропоршневой группы до рабочей температуры [4].

Недостатком известного технического решения является сложность в установлении размера калибровочного отверстия для каждой модели двигателя. Исследованием установлено, что в период запуска и прогрева двигателя образуется высокая, до 200 °С, температура в полости головки блока, а циркуляция охлаждающей жидкости в блоке цилиндров запаздывает. В это время не в режиме работает газораспределительный механизм установки на оптимальную температуру 90...95 °С. К этому недостатку мы привыкли. В целях устранения конструкторской недоработки двигателя

разработана раздельная жидкостная система охлаждения (РЖСО), изображенная на рисунке. Раздельная жидкостная система охлаждения, обеспечивает оптимизацию температуры двигателя для его работы на всех режимах, она отводит чрезмерное тепло с головки блока и снижает влияние температуры головки блока на работу клапанного механизма и на состояние электропроводов и трубопроводов. Другая подсистема служит для охлаждения блока цилиндров, которая состоит из рубашки охлаждения блока цилиндров для циркуляции охлаждающей жидкости через двухкамерный насос, радиатор, трубопроводы и свой термостата.

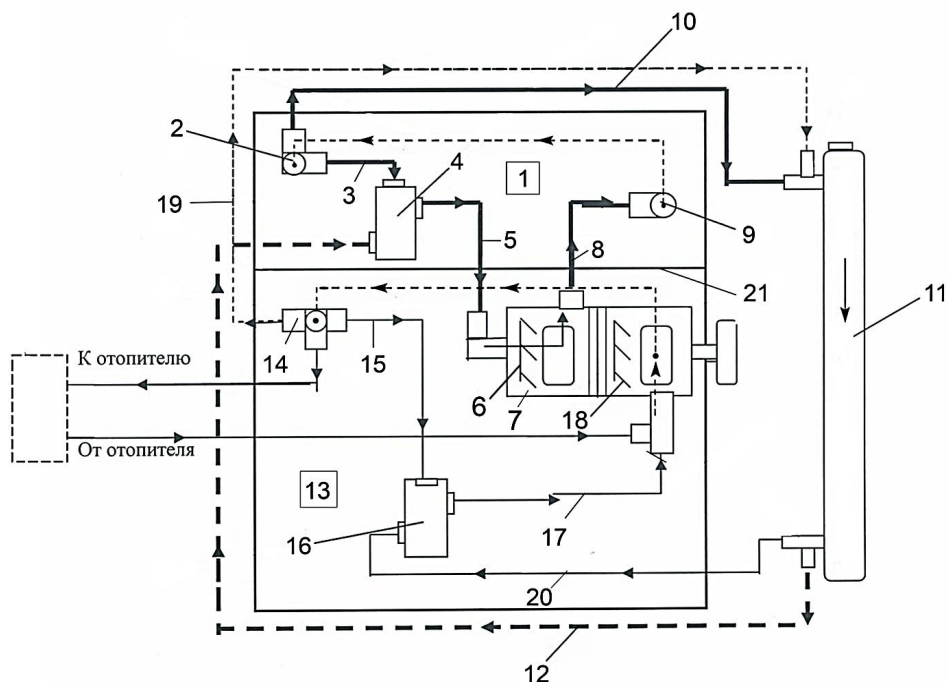


Схема раздельной жидкостной системы двигателя внутреннего сгорания

В подсистемы входят общие узлы для двух систем: двухкамерный водяной насос, (одна камера для циркуляции охлаждающей жидкости в головке блока, другая для циркуляции охлаждающей жидкости в блоке цилиндров), радиатор для передачи тепла из охлаждающей жидкости в атмосферу и датчик температуры. Рубашки охлаждения головки блока и блока цилиндров разделены прокладкой, расположенной между блоками и его головкой. По мере эксплуатации и снижения технического состояния автомобиля происходит нарушение режима обеспечения оптимальной температуры так как в системе при нагревом двигателе отсутствует контур циркуляции охлаждающей жидкости по малому кругу.

В СКБ колледжа разработана конструкция раздельной системы охлаждения, которая решает задачу уменьшение износа и повышения ресурса за счет двух полноценных независимых систем циркуляции охлаждающей жидкости — раздельно в головке блока и в блоке цилиндров — как по малому, так и по большому кругу. Экспериментально установлено, что при пуске и прогреве двигателя идет чрезмерный нагрев охлаждающей жидкости в головке блока. Для снятия чрезмерного тепла в го-

ловке блока выполнена подсистема ее жидкостного охлаждения, отдельной от подсистемы охлаждения блока цилиндров, циркулирующей охлаждающей жидкости с радиатором. Для этого рубашка охлаждения головки блока, разделена прокладкой от рубашки охлаждения блока, сообщается через двухкамерный насос, свой термостат, и трубопроводы с радиатором. Раздельная жидкостная система охлаждения содержит две независимые друг от друга системы: охлаждения головки блока цилиндров и охлаждения блока цилиндров. Система жидкостного охлаждения головки блока состоит из рубашки в головке блока, трубопроводов, термостата. Система жидкостного охлаждения блока цилиндров состоит из рубашки в блоке цилиндров, трубопроводов, термостата. Общими узлами двух систем охлаждения являются двухкамерный водяной насос, радиатор и прокладка. Две системы охлаждения обеспечивают раздельную циркуляцию охлаждающей жидкости как в головке блока, так и в блоке цилиндров через радиатор. Два контура циркуляции охлаждающей жидкости в головке блока разделены от двух контуров циркуляции охлаждающей жидкости в блоке цилиндров прокладкой, что позволяет повысить эффективность отвода тепла в атмосферу как из головки блока, так и из блока цилиндров.

Принцип работы раздельной жидкостной системы охлаждения заключается в раздельной циркуляции охлаждающей жидкости как в блоке цилиндров, так и в головке блока цилиндров. Внедрение раздельной системы охлаждения:

- повышает ресурс работы КШМ и ГРМ.
- повышает технико-экономические характеристики двигателя.

#### Литература

- [1] Плеханов П.Г., Хабибулин А.Т., Лебедева Е.Г., Михайлова Л.Н., Филипишин Д.В., Стальнов А.С. *Учебная установка коробки переключения передач*. Пат. 94743 РФ, МПК G09B 9/02. Заявл. 25.12.2009. Оpubл. 27.05.2010, бюл. № 15, 2 с.
- [2] Плеханов П.Г., Хабибулин А.Т. *Автомобили (основы устройства)*: учеб. пособие. Самара, Изд-во «Инсома-пресс», 2013.
- [3] Плеханов П.Г., Хабибулин А.Т. *Регламентные работы технического обслуживания автомобилей (основы устройства)*: учеб. пособие- Самара: Изд-во «Инсома-пресс», 2012.
- [4] Кухарев М.Н., Бурдыкин В.Д., Белоглазов А.В. Система жидкостного охлаждения двигателя внутреннего сгорания. Пат. 2280178 РФ, А01Р6/16. Заявл. 21.03.2005. Оpubл. 20.07.2006.

## Separate Liquid Cooling System

© | Zatsepin V.A.  
Lebedeva E.G.

skb.smk@yandex.ru

Samara machine-building College, Samara, 443066, Russia

*The student design Bureau of the College is developed by a separate liquid cooling system of an internal combustion engine. Separate liquid cooling system consists of two independent subsystems (cooling system cylinder head and cooling system block tsilindrov). Coolant circulation is used, double chamber pump, radiator, piping and two thermostat. Separate liquid cooling system of an internal combustion engine relates to the field of engineering, in particular to liquid cooling systems of internal combustion engines.*

**Keywords:** *liquid cooling system, internal combustion engine, thermostat, radiator.*

УДК 629.33

## Разработка энергоэффективного закона управления движением электробуса с использованием метода динамического программирования

© Косицын Борис Борисович  
Котиев Георгий Олегович

kositsyn\_b@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*В настоящее время актуальной проблемой является снижение энергозатрат городского автомобильного электротранспорта. В статье предложен способ решения данной проблемы путем разработки энергоэффективного закона управления движением электробуса по городскому маршруту. Для решения поставленной задачи разработан алгоритм на основе метода динамического программирования. При помощи предложенного метода получена оптимальная фазовая траектория на выделенном участке дороги. По результатам работы метода сделаны выводы о применимости предложенного метода в городской транспортной сети.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, электробус, динамическое программирование, городской транспорт.

Проблемы энергоэффективности в мире с каждым годом вызывают все больший научный интерес. Особенно это касается городского автомобильного электротранспорта [1–3], так как при снижении энергозатрат станет возможным:

- увеличение пассажировместимости автомобильного электротранспорта путем рационального выбора параметров накопителя энергии (количества батарей) на борту, а следовательно, снижения снаряженной массы;
- снижение стоимости автономного электротранспорта за счет уменьшения требуемого количества батарей для обеспечения необходимого запаса хода;
- увеличение запаса хода автономного электротранспорта при той же емкости элемента питания.

Таким образом, создание энергоэффективного метода управления электробусом по заданному городскому маршруту представляется актуальной задачей.

Суть предлагаемого метода состоит в программном управлении скоростью движения электробуса на пути между остановками для посадки и высадки пассажиров при заданном времени с целью минимизации энергозатрат на движение. В этом случае водитель управляет только «желанием» двигаться, а система управления должна обеспечить расчетную скорость электробуса, посредством тягового момента электромашин, подводимого к колесам, тормозного момента рекуперативного тормоза и тормозного момента, создаваемого рабочей тормозной системой. Предполагается возможным использование данного метода на городских маршрутах с наличием выделенной полосы движения для маршрутного транспорта.

Задачу энергоэффективного закона управления скоростью электробуса между остановками на городском маршруте сформулируем как задачу оптимизации: определить закон изменения скорости  $v(s)$  от пройденного пути электробуса на маршруте

при движении из точки маршрута с фазовыми координатами  $s_1, v_1 = 0$  в точку маршрута  $s_2, v_2 = 0$  за время  $T = t_2 - t_1$  при минимизации потребляемой энергии на движение, определяемой целевой функцией:

$$J = \int_{t_1}^{t_2} (N_p - N_T + N_{м.т}) dt,$$

где  $N_p$  — мощность разряда накопителя, развиваемая при разгоне электробуса;  $N_T$  — мощность зарядки накопителя при рекуперативном торможении;  $N_{м.т}$  — мощность, рассеянная при использовании рабочей тормозной системы.

Для определения связи  $N_p$  и  $N_T$  с  $v$  применим последовательность преобразования мощности при движении электробуса, показанную на рис. 1.

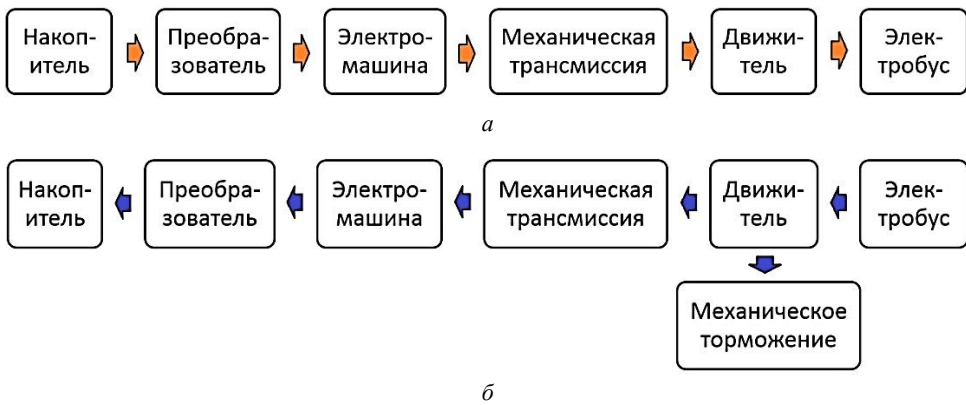


Рис. 1. Преобразование мощности при движении электробуса  
а — разряда накопителя; б — заряда накопителя

Для решения поставленной задачи был применен метод динамического программирования Беллмана [4], принцип которого заключается в том, что оптимальная стратегия управления обладает следующим свойством: каково бы ни было первоначальное состояние системы и решение в начальный момент, последующие решения должны составлять оптимальную стратегию управления относительно состояния, полученного в результате первого решения [4]. Таким образом, вычисляя значение функции Беллмана в каждой точке фазового пространства, мы получаем двумерный массив минимальных значений энергий, которые необходимо затратить для перемещения электробуса из рассматриваемой точки пространства в конечную.

Данным алгоритм был реализован в пакете MATLAB [5], а также был проведен расчет для электробуса, разработанного специалистами МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ООО «ЛиАЗ». Для расчета был выбран прямолинейный участок маршрута длиной 100 м, время прохождения маршрута 20 с.

Результат вычислений представлен на рис. 2.

Полученную зависимость можно разделить на три зоны:

- разгон с ускорением равным установленному ограничению ( $1\text{ м/с}^2$ );
- выбег;
- рекуперативное торможение с максимальным замедляющим моментом.

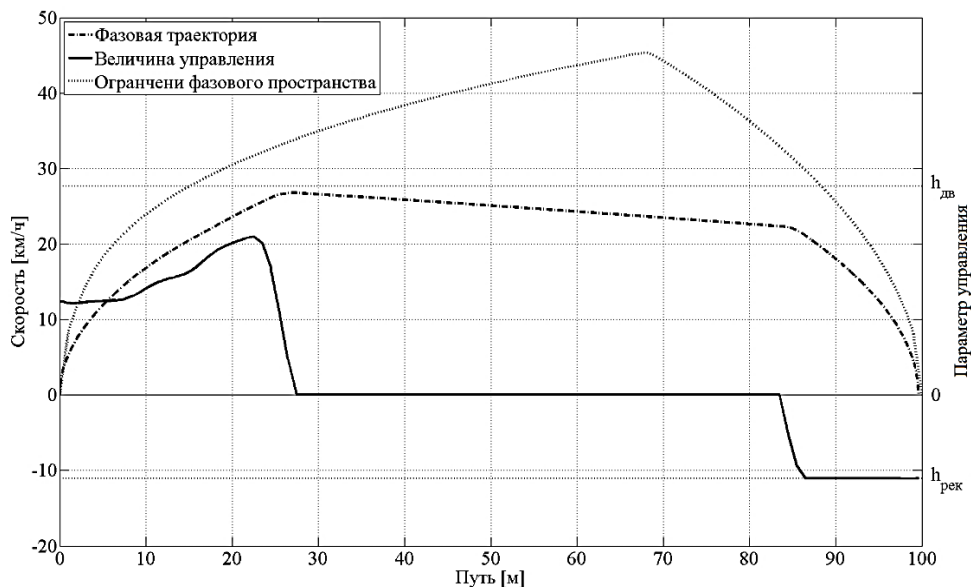


Рис. 2. Энергоэффективный закон движения электробуса

Кроме того, согласно полученной зависимости, водитель не должен пользоваться рабочей тормозной системой, она ему необходима только для полной остановки электробуса.

**Вывод.** Расчет энергоэффективного закона управления по реализованному алгоритму занимает достаточно большой промежуток времени, тем не менее по окончании работы реализованного алгоритма будут получены минимальные значения энергий, которые необходимо затратить для перемещения из данной точки фазового пространства в конечную. Полученный массив значений энергий можно использовать, чтобы находить энергоэффективную траекторию для движения из любого рассмотренного состояния системы в конечное, без повторного вычисления значений функции Беллмана. Так, моделирование движения электробуса из другого рассмотренного состояния системы в конечное займет от нескольких секунд до нескольких минут, в зависимости от сложности используемой модели движения. Система управления должна реализовать полученный оптимальный закон изменения скорости движения электробуса на маршруте, водитель же должен лишь управлять «желанием» двигаться и вмешиваться в управление в экстренных ситуациях.

*Статья написана по результатам работ, проведенных при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № ДН01/0001/216/15 между ООО «ЛиАЗ» и МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

### Литература

- [1] Баранов Л.А., Мелешин И.С. Энергооптимальное управление движением поезда с рекуперативным тормозом при учете ограничений на фазовую координату. *Наука и техника транспорта*, 2010, № 4, с. 19–29.

- [2] Ghaviha N., Bohlin M., Wallin F., Dahlquist E. Optimal Control of an EMU Using Dynamic Programming. *Energy Procedia* 75, 2015, pp. 1913–1919.
- [3] Ghaviha N., Bohlin M., Wallin F., Dahlquist E. Optimal Control of an EMU Using Dynamic Programming and Tractive Effort as the Control Variable. *Proceedings of the 56th SIMS*, 2015, pp. 377–382.
- [4] Беллман Р. *Динамическое программирование*. Москва, Изд-во иностранной литературы, 1960, с. 400.
- [5] *Mathworks.Com* [Электрон. ресурс] URL: <http://www.mathworks.com> (дата обращения 08.04.2017).

## Developing an Energy Efficient Control Law by the Dynamic Programming Method for an Electric Bus

© | Kositsyn B.B.  
Kotiev G.O.

[kositsyn\\_b@bmstu.ru](mailto:kositsyn_b@bmstu.ru)

BMSTU, Moscow 105005, Russia

*Reduction of energy consumption of the urban electric transport remains a pressing challenge. The author propose a way to solve this problem by development of an energy-efficient control law of the movement of an electric bus along the urban route. To solve this problem, an algorithm is developed based on the dynamic programming method. With the help of the proposed method, an optimal phase trajectory was obtained on a selected road. Based on the results of the method, conclusions are drawn regarding the applicability of the proposed method in the urban transport network.*

**Keywords:** energy efficiency, electric bus, dynamic programming, urban transportation.

УДК 629.114.2.001.2(75)

## Создание универсального гусеничного трактора класса 0,6-2,0: силовая передача и гидропневмопривод

© | Крючков Виталий Алексеевич  
Федоткин Роман Сергеевич

[smash@list.ru](mailto:smash@list.ru)  
[frs89@bk.ru](mailto:frs89@bk.ru)

Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», Москва, 109428, Россия

*Рассмотрена возможность использования в конструкции универсального гусеничного трактора класса 0,6-2,0 полнопоточной гидрообъемной передачи с отдельным приводом на каждый борт с целью импортозамещения поставляемых из-за рубежа коммерческих моделей механических и гидрообъемномеханических трансмиссий. Описаны возможные варианты подключения такой трансмиссии. Указаны ее преимущества и недостатки. Показано, что сравнительно невысокий уровень КПД может быть компенсирован возросшей производительностью, благодаря лучшей загрузке двигателя.*

**Ключевые слова:** универсальный трактор, гусеничный трактор, трансмиссия, гидрообъемная передача, полнопоточная гидрообъемная передача, гидрообъемномеханическая трансмиссия, импортозамещение.

В настоящее время в сельскохозяйственном тракторостроении наибольшее распространение получили механические трансмиссии (ТМ) с непосредственным механическим управлением переключением передач, механические ТМ с гидравлическим управлением переключением передач и гидрообъемномеханические двухпоточные трансмиссии [1].

Механические ТМ с непосредственным управлением, наряду с относительной простотой конструкции, обладают сравнительно высокими значениями КПД. Аналогичные ТМ с гидравлическим управлением, помимо выигрыша в КПД (если не брать во внимание потерянную мощность, отобранную на питание гидравлической системы) позволяют реализовать переключение под нагрузкой без разрыва потока мощности, благодаря чему осуществляется выбор нужной передачи непосредственно в процессе движения, что позволяет эффективнее загрузить двигатель. Гидрообъемномеханические двухпоточные ТМ, за счет второго гидравлического потока мощности, позволяют оптимально загружать двигатель, а также менять передачу в бесконечном диапазоне передаточных чисел, получая значения КПД иногда даже большие, чем в механических ТМ, за счет меньшего числа передаточных звеньев в основном механическом потоке мощности [1].

Несмотря на широкую распространенность в мировом сельскохозяйственном тракторостроении механических и гидрообъемномеханических трансмиссий, отечественная промышленность не производит их серийных унифицированных моделей. Механические ТМ, выпускаемые отечественными компаниями, специализирующимися на производстве сельскохозяйственных тракторов, входящие в состав серийно выпускаемых машин, не соответствуют зарубежному уровню по качеству изготовления, а производство отечественных гидрообъемномеханических двухпоточных ТМ на данный момент отсутствует. Тем временем достаточное количество отечественных компаний серийно выпускает гидрообъемные передачи (ГОП) типа ГСТ, которые не уступают по качеству аналогичным передачам зарубежного производства и позволяют компоновать полнопоточные гидрообъемные ТМ.

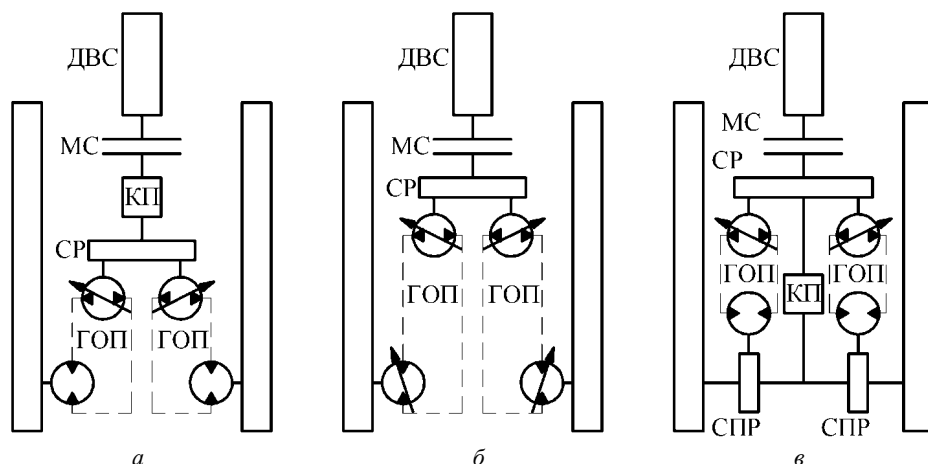
Полнопоточные ГОП, применительно к тракторам сельскохозяйственного назначения, незаслуженно забыты. Исследования показывают, что, несмотря на сравнительно невысокий КПД таких ТМ, производительность трактора оснащенного ГОП, при прочих равных условиях, повышается на 16...30 % за счет лучшей загрузки двигателя [2–4], что компенсирует потерю КПД. Кроме того, современные технологии производства гидромашин позволяют получать КПД не ниже 80 % во всем рабочем диапазоне [5].

В рамках проекта по созданию универсального трактора класса 0,6-0,9 и с целью импортозамещения иностранной продукции предложено в конструкции ТМ разрабатываемого трактора использовать полнопоточную ГОП с независимым приводом на каждый борт. В этом случае схема будет содержать следующие элементы (см. рисунок а): сцепление (МС); двухдиапазонную коробку передач (КП); согласующий редуктор (СР) и две бортовые ГОП, выполненные по раздельно агрегатной схеме. В этой схеме возможно подобрать такую комбинацию гидромашин и передач в КП, чтобы одна передача обеспечивала работу гидронасоса на максимальной частоте вращения при максимальной частоте вращения двигателя, позволяя реализовывать



наибольшую скорость в транспортном диапазоне, а другая передача — номинальную частоту вращения гидронасоса при номинальной частоте вращения двигателя для формирования рабочего диапазона скоростей.

Существенным преимуществом такой схемы является возможность управления гидронасосами независимо друг от друга. При этом, воздействуя на одни и те же элементы управления насосов, осуществляется как изменение скорости движения машины, так и ее поворот с бесконечным числом фиксированных радиусов, путем забегания одной гусеницы и отставания другой. Все вместе создает предпосылки для организации управления гусеничной машиной по «автомобильному» типу — с помощью рулевого колеса.



Варианты схем трансмиссии гусеничного трактора класса 0,6-2,0:

а — с полнопоточной ГОП; б — с полнопоточной ГОП с управляемыми гидромоторами;  
в — с двухпоточной побортной ГОП; СПР — суммирующий планетарный ряд

Вариант такой схемы с управляемыми гидронасосами и управляемыми гидромоторами показан на рисунке б. Тогда насосами регулируется скорость движения машины, а гидромоторами — диапазон скоростей.

Помимо этого возможна реализация схемы с двумя ГОП, расположенными по бортам машины, в составе гидрообъемномеханической ТМ (см. рисунок в). При этом сохраняется высокий КПД и добавляется возможность реализации поворота за счет забегания и отставания гусениц.

#### Выводы.

1. Благодаря свойствам ГОП, позволяющим обеспечивать наиболее полную загрузку двигателя, возможно использовать ее полнопоточный вариант подключения в конструкции трансмиссии гусеничного трактора класса 0,6-2,0.

2. Для обеспечения наиболее эффективной работы ГОП планируется применение КП минимум с двумя передачами, обеспечивающими работу в рабочем и транспортном диапазоне скоростей, или применение комбинации из управляемых гидронасосов и управляемых гидромоторов.

3. При побортной схеме установки гидрообъемной передачи при воздействии на одни и те же элементы управления она изменяется (как скорость, так и направление движения трактора), что способствует переходу на управление с помощью руля.

## Литература

- [1] Шарипов В.М. *Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов*. Москва, МГТУ «МАМИ», 2002, 300 с.
- [2] Городецкий К.И., Крумбольдт Л.Н., Щельцын Н.А. *Конструирование и расчет составных частей объемного гидропривода*: учеб. пособие. Москва, МАМИ, 1994, 139 с.
- [3] Петров В.А. *Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин*. Москва, Машиностроение, 1988, 248 с.
- [4] Крумбольдт Л.Н., Головашкин Ф.П. Подвижность быстроходных и специальных тяговых машин, трансмиссии которых оснащены гидрообъемной передачей // *Известия МГТУ «МАМИ»*, № 1 (5), 2008, с. 137–154.
- [5] *Гидросила. Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы. Каталог продукции*. Москва, ТД «Гидросила», 2017, 64 с.

## The Development of Multipurpose Crawler Tractor of 0,6-2,0 Class: Power Train and Hydropneumatic Drive

© | Kryuchkov V.A.  
Fedotkin R.S.

smash@list.ru  
frs89@bk.ru

Federal agricultural research center all-Russian Institute of mechanization of agriculture, Moscow, 109428, Russia

*The possibility of applying of full-flow hydrostatic drive in structure of multipurpose crawler tractor of 0,6-2,0 class has been reviewed. The possible variants of connection of such drive have been described. The benefits and drawbacks of it have been showed. The article is shown, that comparatively low level of efficiency is may be compensated by increased productivity due to better engine load.*

**Keywords:** multipurpose tractor, crawler tractor, power train, hydrostatic drive, full-flow hydrostatic drive, HSD, hydrostatic-mechanical drive, import substitution.

УДК 634.0323.13.375

## Расчетный метод оценки вибронегруженности кабины трактора с помощью имитационной модели

© | Кузьмин Виктор Александрович  
Федоткин Роман Сергеевич

kuzmin.viktor92@mail.ru  
frs89@bk.ru

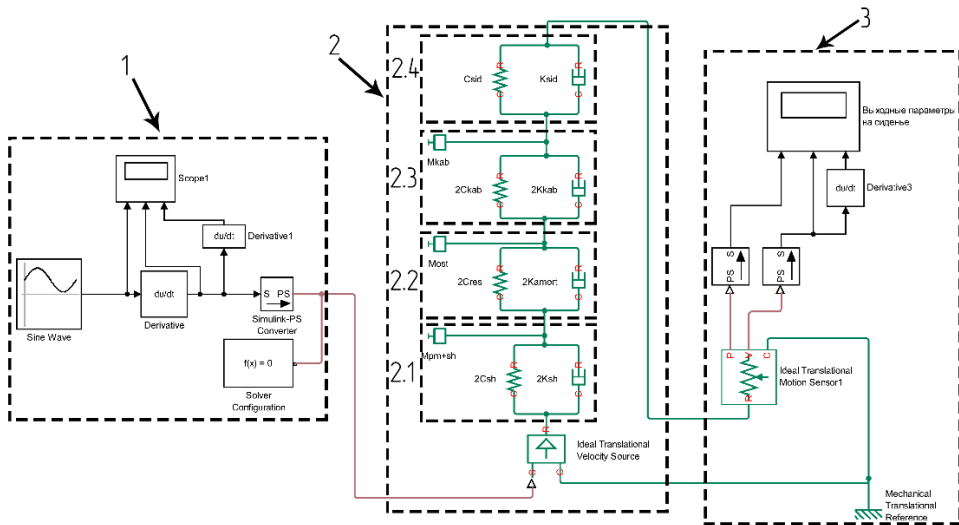
Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», Москва, 109428, Россия

*Приведена сравнительная оценка виброзащитности кабины сельскохозяйственного колесного трактора класса 40 кН с точки зрения виброускорения кабины. В результате работы имитационной модели были получены показатели виброускорений на сиденье оператора для трех вариантов поддрессирования кабины и ча-*

стоты колебания 22,2 Гц, с амплитудой 0,1 м. При этом были определены показатели виброскорости, виброперемещения и виброускорения на сиденье оператора. На основании представленных данных сделан вывод о том, какой вариант наиболее подходящий.

**Ключевые слова:** плавность хода, сравнительная оценка, имитационная модель, Matlab/Simulink, сельскохозяйственный трактор.

Одними из наиболее важных качеств тягово-транспортных машин являются плавность хода и вибронегруженность узлов и агрегатов машины, особенно на сиденье оператора и органах управления [1]. Очевидна необходимость снижения трудоемкости и повышения точности аналитических исследований с применением современных программных средств [2, 3]. Одним из вариантов решения может быть упрощенная имитационная модель, разработанная в системе Matlab/Simulink и основанная на реальной динамической/математической модели конкретной машины (рис. 1).



**Рис. 1.** Упрощенная имитационная модель для оценки эффективности виброзащиты различных вариантов конструкции подвески колесного трактора

Модель состоит из трех блоков: блок возмущений 1, блок поддресоренных масс 2, блок вывода данных 3. Достоинством нашей модели, безусловно, является ее универсальность, т. е. она может использоваться для анализа колесных машин в принципе. В результате работы имитационной модели, в сравнительной оценке были испытаны три варианта поддресоривания кабины трактора, состоящие из четырех виброизоляторов Continental ContiTech SCHWINGMETALL 48694.1-6, двух виброизоляторов Continental ContiTech SCHWINGMETALL 48694.1-6 вместе с двумя кабинными амортизаторами MSEE30/15x44A2, четырех корабельных амортизаторов АКСС-400М ГОСТ 17053.1-80. При этом исследуется вариант с неподдресоренным мостом. По результатам работы имитационной модели получены данные, показанные на рис. 2–4.

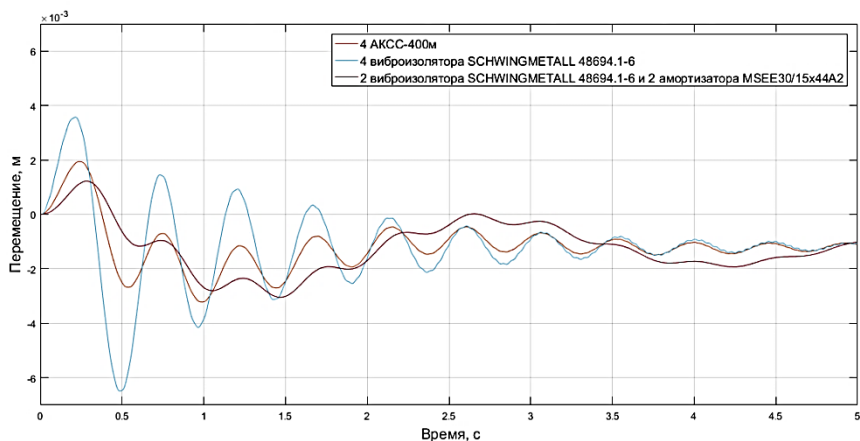


Рис. 2. Зависимость перемещения кабины с различными вариантами поддрессирования

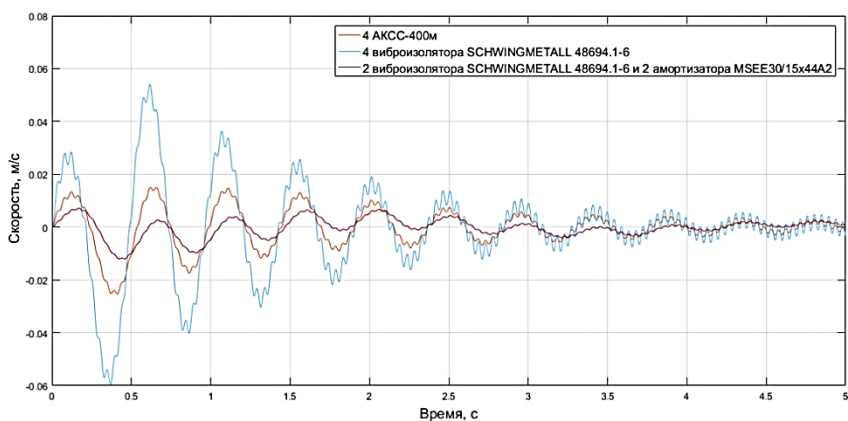


Рис. 3. Зависимость скорости перемещения кабины с различными вариантами поддрессирования

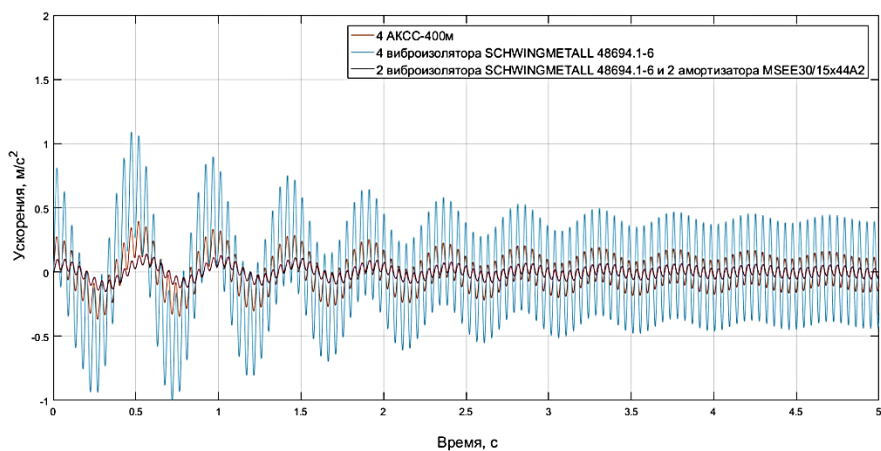


Рис. 4. Зависимость виброускорения кабины с различными вариантами поддрессирования

С помощью разработанной имитационной модели можно произвести сравнительную оценку виброзащиты различных вариантов конструкции системы подвески колесного трактора и любой другой колесной машины в принципе. Из графиков понятно, что в данном случае наиболее оптимальным вариантом конструкции подвески кабины по значениям виброускорений является вариант с двумя виброизоляторами Continental ContiTech SCHWINGMETALL 48694.1-6 вместе с двумя кабинными амортизаторами MSEE30/15x44A2.

**Выводы.** На основании изложенного можно сказать, что имитационная модель работает корректно и виден результат, получаемый с ее помощью (виброускорение, виброскорости, виброперемещения). Следовательно, эту модель можно и нужно, использовать в работе по оценке вариантов поддрессирования и выбора лучшего из них.

### Литература

- [1] Купрюнин Д.Г., Щельцын Н.А., Бейненсон В.Д., Федоткин Р.С., Белый И.Ф., Ревенко В.Ю. Экспериментальное исследование сравнительных показателей гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов. Известия МГТУ «МАМИ», 2016, № 3 (29), с. 16–24.
- [2] *Вибрации в технике: Справочник*: В 6 т. Т. 6. Защита от вибрации и ударов / Под ред. К.В. Фролова. Москва, Машиностроение, 1995, 456 с.
- [3] Шеховцов К.В. *Снижение уровня вибронегативности рабочего места оператора трактора за счет применения динамических гасителей колебаний в системе поддрессирования кабины*. Дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2014, 159 с.

## Calculation Method for Evaluation of Vibration Loading of the Tractor Cab by Means of a Simulation Model

© | Kuzmin V.A.  
Fedotkin R.S.

kuzmin.viktor92@mail.ru  
frs89@bk.ru

Federal agricultural research center all-Russian Institute of mechanization of agriculture, Moscow, 109428, Russia

*In the article compares the vibroprotection of the cab of a 40kN agricultural wheeled tractor in terms of vibration acceleration of the cabin. The tests were carried out in an imitation model of a tractor prepared in the Matlab / Simulink software complex using the Simscape library. The vibration acceleration parameters on the operator's seat were obtained for 3 cab suspension variants for a 22.2Hz oscillation frequency, with an amplitude of 0.1 m. At the same time, the parameters of vibration velocity, vibro-displacement and vibration acceleration were determined on the operator's seat. Based on the data presented, it was concluded which is the most appropriate option.*

**Keywords:** smooth running, comparative evaluation, simulation model, Matlab / Simulink, agricultural tractor.

УДК 634.0323.13.375

## Экспериментальное исследование упругодемпфирующих характеристик виброизоляторов различных типов системы поддрессоривания кабины колесного трактора

© Кузьмин Виктор Александрович<sup>1</sup> kuzmin.viktor92@mail.ru  
 Овчаренко Александр Сергеевич<sup>2</sup> peterbilt@list.ru  
 Федоткин Роман Сергеевич frs89@bk.ru

<sup>1</sup> Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», Москва, 109428, Россия

<sup>2</sup> ОАО «Научно-исследовательский институт стали», Москва, 127591, Россия

*Проведен сравнительный анализ упругодемпфирующих показателей некоторых виброизоляторов кабины, с точки зрения способности эффективно гасить колебания. На основании экспериментальных данных была построена зависимость деформации от нагрузки при режимах нагружения и разгружения. Полученные графики были описаны математическим уравнением и, исходя из этого, был посчитан коэффициент поглощения энергии, которая определяет эффективность виброизолятора.*

**Ключевые слова:** упругодемпфирующая характеристика, система поддрессоривания кабины, колесный трактор.

Основным методом оценки вибронегруженности машины является эксперимент по нормативным показателям [1]. Эксперимент является комплексной операцией, требующей обширную материально-техническую базу и очень трудоемкой, что, безусловно, сказывается на конечной стоимости машины [2]. При этом проведение эксперимента, в отношении оценки вибронегруженности, не всегда является обоснованным, так как можно все свести к лабораторным испытаниям виброэлементов на стенде.

Для оценки упругодемпфирующих характеристик, было выбрано три вида виброизоляторов: виброизолятор 923-6700200 производства Freudenberg-Megulastik (рис. 1, а), виброизолятор Continental ContiTech SCHWINGMETALL 48694.1-6 (рис. 1, б) и корабельный амортизатор АКСС-400М (рис. 1, в). Представленные упругие элементы испытывали на сжатие/отбой в соответствии с требованиями, представленными в ГОСТ 17053.1–80, на машине «УТС 112-50». Специально для проведения испытаний был изготовлен универсальный индентор и три подпорки, для закрепления виброизоляторов.

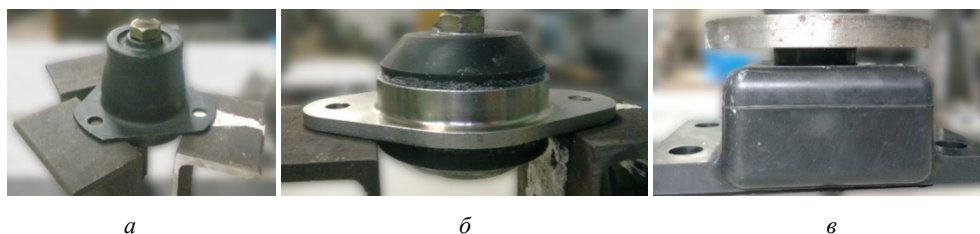
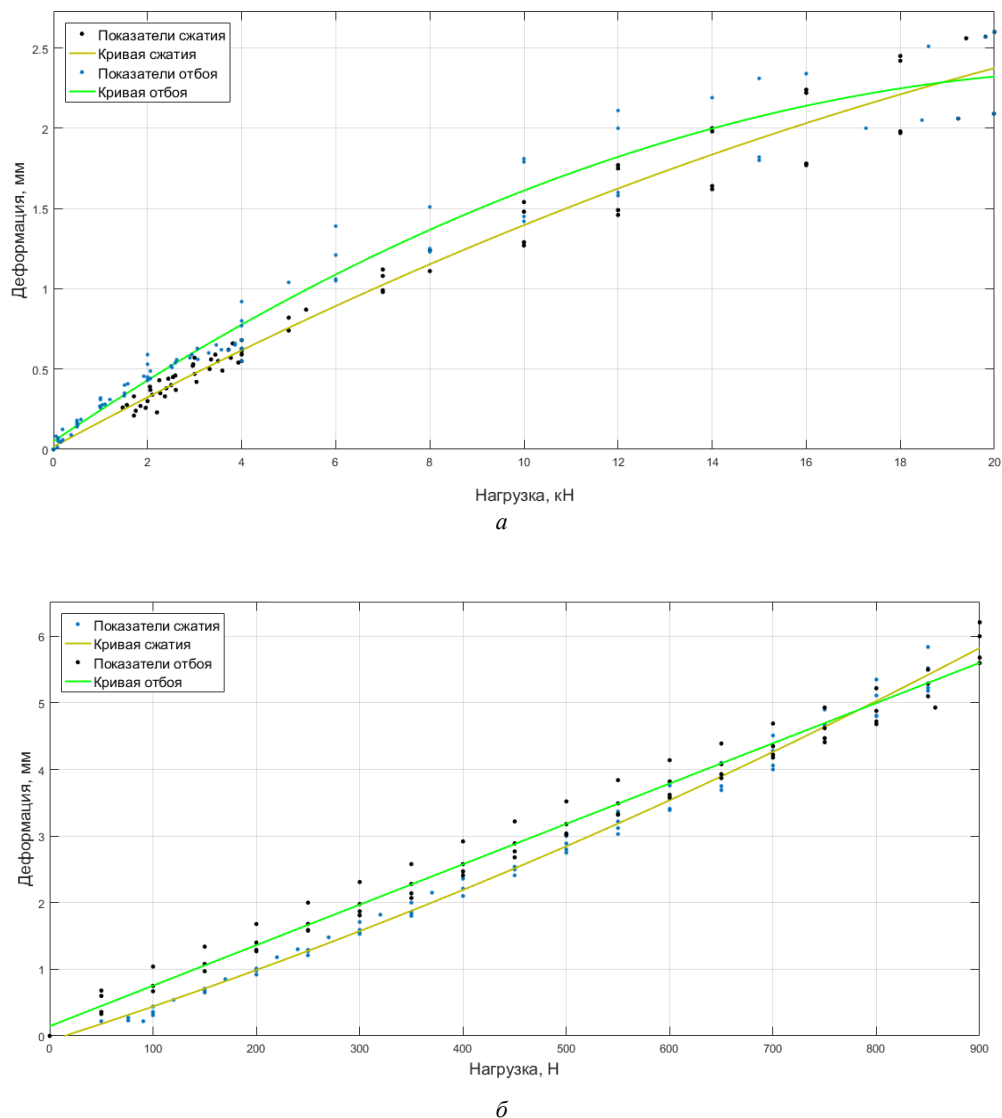
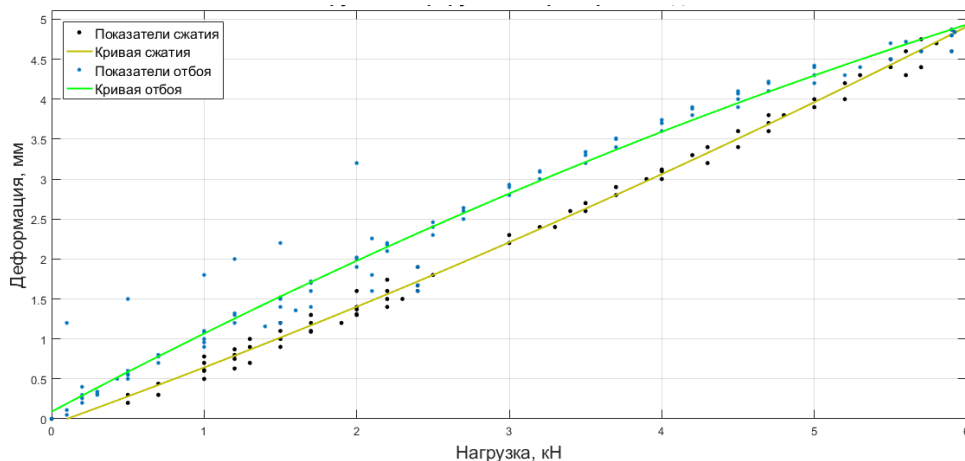


Рис. 1. Испытываемые виброизоляторы

В результате проведения экспериментов были проанализированы полученные данные и статистически обработаны. Результаты представлены на рис. 2 и сведены в таблицу. По полученным графикам был определен коэффициент поглощения энергии  $\psi$ , т. е. найдена энергия, рассеянная за один цикл деформирования, и определена работа диссипативных сил [3].



**Рис. 2 (начало).** Упругодемпфирующие характеристики:  
*a* — корабельного амортизатора АКСС-400М (ГОСТ 17053.1–80); *б* — виброизолятора Continental ContiTech SCHWINGMETALL 48694.1-6



6

**Рис. 2 (окончание).** Упругодемпфирующие характеристики:  
 в — виброизолятора 923-6700200 производства Freudenberg-Megulastik

**Результаты обработки экспериментальных данных**

Вариант	Уравнения кривой сжатия	Уравнение кривой отбоя	$\psi$
а	$f(x) = -0,002x^2 + 0,162x$	$f(x) = -0,004x^2 + 0,212x$	0,11
б	$f(x) = 2,075 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 0,004x$	$f(x) = -5,984 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 0,006x$	0,109
в	$f(x) = 0,03x^2 + 0,641x$	$f(x) = -0,043x^2 + 1,078x$	0,161

На основании всего сказанного выше можно сделать вывод, что виброизолятор 923-6700200 производства Freudenberg-Megulastik является лучшим из предложенных по критерию поглощаемой энергии за один цикл. При этом в дальнейшем планируется отказаться от эксперимента в принципе и заменить его математической имитационной моделью.

**Литература**

- [1] Шеховцов К.В. *Снижение уровня вибронегруженности рабочего места оператора трактора за счет применения динамических гасителей колебаний в системе подрессоривания кабины*. Дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2014, 159 с.
- [2] Купрюнин Д.Г., Щельцын Н.А., Бейнсон В.Д., Федоткин Р.С., Белый И.Ф., Ревенко В.Ю. Экспериментальное исследование сравнительных показателей гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов. Известия МГТУ «МАМИ», 2016, № 3 (29), с. 16–24.
- [3] *Вибрации в технике: Справочник*: В 6 т. Т. 6. Защита от вибрации и ударов / Под ред. К.В. Фролова. Москва, Машиностроение, 1995, 456 с.



## Experimental Study of Elastic-Damping Characteristics of the Vibration Isolators of Various Types Cab Suspension System of a Wheeled Tractor

© | Kuzmin V.A.<sup>1</sup>  
Ovcharenko A.S.<sup>2</sup>  
Fedotkin R.S.<sup>1</sup>

kuzmin.viktor92@mail.ru  
peterbilt@list.ru  
frs89@bk.ru

<sup>1</sup> Federal agricultural research center all-Russian Institute of mechanization of agriculture, Moscow, 109428, Russia

<sup>2</sup> OJSC "Research Institute of Steel", Moscow, 127591, Russia

*A comparative analysis of the elastic-damping indexes of some cabin vibration insulators is carried out in terms of the ability to effectively quench fluctuations. Based on the experimental data we plotted the deformation amount of the load when loading and unloading modes. The resulting graphs were described by a mathematical equation, and based on this, the value of the energy absorption coefficient that determines the efficiency of the vibration isolator was calculated.*

**Keywords:** elastic-damping characteristic, cab cushion system, wheel-type tractor.

УДК 629.33

## Двухмассовый маховик коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания

© | Лядов Артем Анатольевич  
Плеханов Петр Георгиевич

Самарский машиностроительный колледж, Самара, 443066, Россия

*В студенческом конструкторском бюро колледжа разработана новая конструкция двухмассового маховика с автоматически регулируемой массой. Двухмассовый маховик коленчатого вала повышает технико-экономические показатели двигателя и динамику автомобиля.*

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, двухмассовый маховик, коленчатый вал, кривошипно-шатунный маховик.

На работу двигателя внутреннего сгорания влияют некоторые факторы [1, 2].

- Частые перегрузки автомобиля — загрузка салона, багажника и прицепа превышает все разумные пределы. При движении на такой перегруженной машине в течение продолжительного времени снижается ресурс деталей кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и двигателя. Большая масса маховика на увеличенных оборотах коленчатого вала также снижает ресурс деталей КШМ и увеличивает расход топлива.

- Масса маховика при длительной работе на увеличенных скоростях влияет на срок службы деталей КШМ двигателя. Для сравнения, если на трехкилометровой

дистанции по кроссу вы будете бежать так же быстро, как и на 100 м, то вам не избежать быстрой усталости и потери сил. Последствия в этом случае для человеческого организма могут быть плачевными. То же самое происходит и с двигателем автомобиля. Температура, давления, скорость вращения коленчатого вала характеризуют условия, в которых работают механизмы двигателя. Количество «взрывов» в цилиндрах, периодичность колебаний температуры и давления за одну секунду не могут не влиять на продолжительность «жизни» деталей двигателя КШМ.

- Ускорение износа двигателя из-за экологии. Грязный воздух и грязные дороги укорачивают жизнь не только человеку, но и разрушающе действуют на структуру металла, уменьшая ресурс двигателя.

Техническое решение в новой, разработанной авторами статьи, конструкции маховика направлено на снижение его массы, поскольку большая масса маховика отрицательно сказывается на работу двигателя при больших оборотах коленчатого вала. Для повышения ресурса двигателя масса двухмассового маховика (рис. 1) выполнена с автоматической регулировкой [3, 4].

В конструкцию двухмассового маховика (рис. 2) входят: внешний и внутренний диски, ролики, шарики, замки и накладка, которая крепится к внешнему диску.



Рис. 1. Общий вид двухмассового маховика

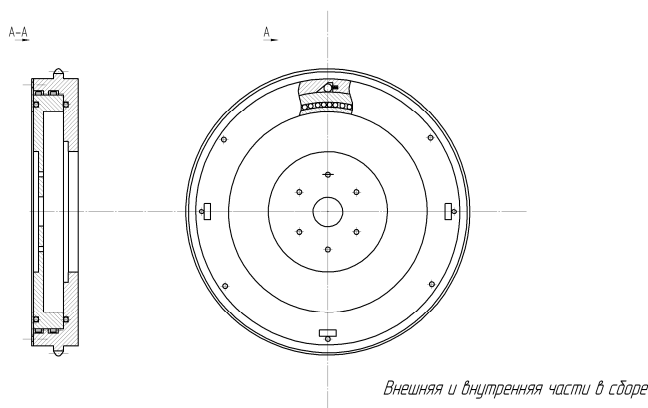


Рис. 2. Общий вид конструкции маховика

Работает маховик следующим образом. При малых оборотах коленчатого вала внешний и внутренний диски вращаются как одно целое (замок закрыт). При больших оборотах коленчатого вала замок автоматически раскрывается и вращается только внутренний диск (малой массы). Известно, что на больших оборотах коленчатого вала достаточно малой массы маховика.

Внедрение двухмассового маховика позволяет:

- снизить расход топлива на высшем диапазоне числа оборотов коленчатого вала;
- уменьшить ударную нагрузку на коленчатый вал благодаря демпфированию маховика;
- увеличить ресурс деталей кривошипно-шатунного механизма;
- улучшить динамику и повысить технические и эксплуатационные характеристики автомобиля.

### Литература

- [1] Шестопалов С.К. *Устройство, техническое обслуживание и ремонт легковых автомобилей*. Москва, Академия, 2007, 544 с.
- [2] Вершигора В.А. *Автомобили «Жигули» ВАЗ-2110, -2112. Устройство, техническое обслуживание*. Москва, Транспорт, 1993.
- [3] Плеханов П.Г. *Регламентные работы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие*. Самара, ООО «Офорт», 2010, 260 с.
- [4] Плеханов П.Г., Хабибулин А.Т., Семенчук В.Н., Порецков М.Е., Стрижов В.П., Беляев Д.В., Доедалин В.В. Маховик коленчатого вала с автоматически регулируемой массой: Пат. № 2492375 РФ, F16/F15/30. Заявл. 18.05.2011ю Оpubл. 10.09.2013. Бюл. № 25.

## The Dual-Mass Flywheel Crankshaft ICE

© | Lyadov A.A.  
| Plekhanov P.G.

Samara Engineering College, Samara, 443066, Russia

*The college student design bureau has developed a new design of a two-mass flywheel with automatically adjustable weight. The dual-mass flywheel Crankshaft boosts technical and economic parameters of the engine and vehicle dynamics.*

**Keywords:** *internal combustion engine, dual-mass flywheel, the crankshaft, the crank flyw.*

УДК 621.436

## Создание универсального гусеничного трактора класса 0,6-2,0: система адаптации дизельного двигателя для работы на альтернативных видах топлива

© Овчинников Евгений Валентинович evo-xpro-info@yandex.ru  
Савельев Геннадий Степанович 5780805@mail.ru  
Кочетков Максим Николаевич

Федеральный научный агроинженерный центр «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства», Москва, 109428, Россия

*Рассмотрены вопросы создания, при незначительных конструктивных изменениях, систем адаптации дизельного двигателя для работы на альтернативных видах топлива, повышающие экономическую эффективность сельскохозяйственного производства.*

**Ключевые слова:** эффективность, система адаптации, газомоторное топливо, мобильная сельскохозяйственная техника, альтернативные виды топлива.

Учитывая значительные затраты на топливо, которые по себестоимости различных сельскохозяйственных культур достигают до 20 %, а также постоянно растущие цены на топливо и сельхозпродукцию, поиск более дешевого альтернативного моторного топлива для сельскохозяйственной техники является актуальной задачей [1]. Однако использование альтернативного моторного топлива осложняется из-за ряда его недостатков.

Например, использование рапсового масла (РМ) ограничивается его высокой вязкостью относительно дизельного топлива (ДТ), а также температурой самовоспламенения. Газомоторные топлива, такие как сжиженный природный газ (СПГ) и компримированный природный газ (КППГ), ограничивают его использование в связи с дорогостоящим оборудованием для адаптации работы двигателя, а также заправщиками и газонаполнительными станциями. Что касается сжиженного углеводородного газа (СУГ), то его применение в дизельном двигателе осложняется появлением детонации, значительно снижающей ресурс двигателя [2].

В данной статье кратко рассмотрены несколько систем адаптации дизельного двигателя для работы на рапсовом масле и на СУГ по газодизельному процессу.

Система адаптации для работы на рапсовом масле включает в себя систему автоматизированного управления переключения двух видов топлива — РМ и ДТ. Она предназначена для того, чтобы неблагоприятные режимы работы на рапсовом масле, такие как холостой ход, запуск двигателя и остановка двигателя, происходили на ДТ, так как на данных режимах работы происходит неполное сгорание рапсового масла, влекущее за собой попадание масла в картер двигателя и повышенное нагарообразование в камере сгорания и на распылителях форсунок.

Система адаптации для работы на рапсовом масле состоит из двух баков и двух линий топливоподающей аппаратуры, задача которых — доставить топливо от бака к топливному насосу высокого давления (ТНВД). Первая линия состоит из основного бака для РМ, подогревателя, фильтра грубой очистки, топливоподкачивающего насоса, двух фильтров тонкой очистки, редукционного клапана. Вторая линия состоит из бака

для ДТ, фильтра грубой очистки, электрического топливного насоса, фильтра тонкой очистки, редукционного клапана. Две линии подключаются через трехходовой электромагнитный клапан к ТНВД. Сливные магистрали подключаются к трехходовому электромагнитному клапану и далее, в зависимости от типа используемого топлива, в один из баков. Переключение типа топлива осуществляется в автоматическом режиме управляющим модулем, который управляет электромагнитным клапаном и электрическим топливным насосом, получая данные от датчиков температуры топлива, температуры охлаждающей жидкости, давления топлива, положения рейки ТНВД [3, 4].

Система адаптации для работы на СУГ по газодизельному процессу имеет ряд элементов, предназначенных для устранения детонационных режимов работы. Система питания газодизеля содержит электронную систему регулирования подачи и переключения топлива, которая состоит из блока управления, получающего сигналы от датчиков температуры охлаждающей жидкости, отработавших газов, воздуха, давления газа, положения рейки подачи жидкого топлива, частоты вращения коленчатого вала, положения верхней мертвой точки, детонации, расхода воздуха, электронной педали подачи топлива, ручного регулятора подачи топлива, переключателя режима «Дизель-Газодизель», переключателя «Ручной-Автоматический» [5, 6].

Система питания газодизеля содержит систему перепуска отработавших газов, состоящую из исполнительного устройства управления заслонкой перепуска отработавших газов из выпускного коллектора во впускной, установленной после воздушного фильтра.

Результаты испытаний показали, что система адаптации питания газодизеля обеспечивает исключение явления детонации на всех режимах работы двигателя в газодизельном режиме, имеет более простую конструкцию, высокую надежность, автоматизированный перевод двигателя на газодизельный процесс, автоматизированную подачу жидкого и газообразного топлива посредством всережимного управления подачей при изменении скоростного и нагрузочного режимов работы газодизеля, улучшает топливную экономичность двигателя за счет замещения жидкого топлива газом, снижает токсичность отработавших газов двигателя.

#### Литература

- [1] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В. Комплексное использование Газомоторного топлива в сельскохозяйственном производстве. Сб. науч. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий», 2014, с. 136–140.
- [2] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Уютов С.Ю. *Определение экономически целесообразного вида газомоторного топлива для мобильной сельскохозяйственной техники*. Агропанорама, 2016, № 3, с. 26–29.
- [3] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Овчинников А.В. *Способ снижения нагарообразования в двигателе, работающем на топливе из растительного масла*. Пат. на изобретение RUS 2539307. Оpubл. 07.06.2013.
- [4] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Овчинников А.В. *Система питания автотракторного дизеля*. Пат. на изобретение RUS 2538470 07.06.2013.
- [5] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Родионов А.В., Родионов А.В., Уютов С.Ю., Фурман В.В. *Система питания газодизеля*. Пат. на изобретение RUS 2617017. Оpubл. 02.12.2015.
- [6] Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Уютов С.Ю., Родионов А.В., Родионов А.В. *Система питания автотракторного дизеля*. Пат. на полезную модель RUS 169838. ОPubл. 27.05.2016.

## The Development of Multipurpose Crawler Tractor of 0,6-2,0 Class: Diesel Engine Adaptation System to Work on Alternative Fuels

© | Ovchinnikov E.V.  
Savel'ev G.S.  
Kochetkov M.N.

evo-xpro-info@yandex.ru  
5780805@mail.ru

FSBSI «SSAC VIM», Moscow, 109428, Russia

*In this article the questions of creation, with no significant structural changes, systems of adaptation of the diesel engine operating on alternative fuels, increasing economic efficiency of agricultural production.*

**Keywords:** *efficiency, the system of adaptation, gas fuel, mobile agricultural machinery, alternative fuels.*

УДК 62-567.1

### Анализ характеристик ударного виброгасителя

©	Башмур Кирилл Александрович	bashmur@bk.ru
	Нашиванов Иван Сергеевич	fp7175@gmail.com
	Петровский Эдуард Аркадьевич	petrovsky_quality@mail.ru

Сибирский федеральный университет, институт нефти и газа, Красноярск, 660041, Россия

*Приведен анализ характеристик ударного виброгасителя, механическая модель которого составлена в программе ANSYS. При этом получены зависимости амплитуд от соответствующих частот колебаний, в связи с чем становится возможным сделать вывод о целесообразности применения виброгасителей ударного принципа действия.*

**Ключевые слова:** ударный виброгаситель, модель, колебания.

Оборудование различных областей машиностроения зачастую подвергается значительным уровням вибрации [1]. На сегодняшний день разработано множество конструкций амортизаторов, демпферов и виброгасителей. Одним из таких устройств является виброгаситель ударного принципа действия, в общем случае состоящий из шара или тела иной формы, перемещающегося в пространстве между упорами [2].

Современные средства автоматизированного проектирования позволяют строить 2D/3D-модели реальных объектов и проводить их анализ [3]. В нашем случае применяется гармонический анализ, с помощью которого можно описать динамическое поведение конструкции [4]. На рис. 1 представлена механическая система, предназначенная для снижения величины амплитуды колебаний какого-либо объекта. Проведем анализ данной системы. На нижний объект цилиндрической формы приложим гармоническую силу и введем ограничения на перемещения вдоль осей  $X$  и  $Z$  для всех объектов, так как рассматриваются продольные колебания.

Полученная гармоническая сила подавляется за счет выбора соответствующих параметров пружин и виброгасящей массы. В этом случае виброгаситель способен «забирать» на себя колебания, так как он вовлекается в колебательный процесс, при котором деформирование дополнительной пружины и перемещение виброгасящей массы развивает силу, противоположную вынуждающей силе и уравнивает ее [5]. На рис. 2 показаны зависимости амплитуд от соответствующих частот колебаний.

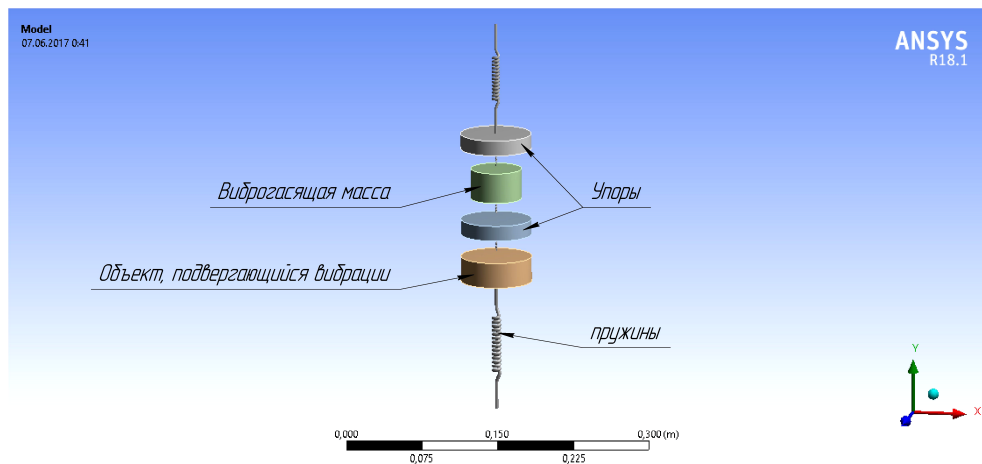


Рис. 1. Упруго-механическая модель виброударной системы

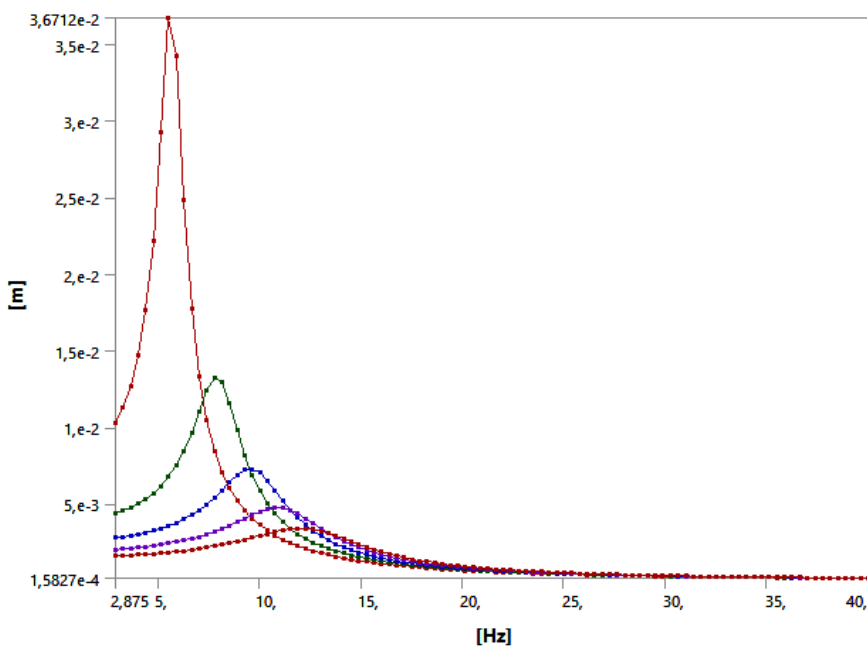


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика процесса виброгашения

Таким образом, в классическом ANSYS Mechanical при моделировании устройства для уменьшения влияния колебаний можно определять его основные вибродинамические характеристики и параметры. В нашем случае это изменение зависимости амплитуды от частоты колебаний.



## Литература

- [1] Башмур К.А., Петровский Э.А. Динамика системы верхнего привода буровой установки. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*, 2013, № 5, с. 4-7.
- [2] Башмур К.А., Петровский Э.А. *Виброгаситель-калибратор*. Пат. 2533793 Российская Федерация, МПК E21B 17/07 (2006.01) E21B 17/10 (2006.01). № 2013138759/03. Заявл. 20.08.2013. Оpubл. 20.11.2014, бюл. № 32, 3 с.
- [3] Дмитриева Л.А., Чихачева О.А., Лукьянов А.С. Компьютерное моделирование при изучении дисциплины «Детали машин и основы конструирования». *Сб. тр. конф. «Science, Technology and Life — 2015»*. Карловы Вары (Чехия) — Москва. Киров, МЦНИП, 2016, с. 401–405.
- [4] Дорошин А.В. *Использование САЕ-пакета ANSYS в задачах динамики конструкций (космическое машиностроение)*: Электронное учебное пособие. Самара, ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)», 2013.
- [5] Топильская С.В. Моделирование системы амортизации прецизионных гиросприборов. *Навигация и управление движением*. Матер. XVII конф. молодых ученых, 2015, с. 445–452.

## Analysis of Impact Damper Descriptions

©	Bashmur K.A.	bashmur@bk.ru
	Nashivanov I.S.	fp7175@gmail.com
	Petrovsky E.A.	petrovsky_quality@mail.ru

Siberian Federal University, institute of oil and natural gas, Krasnoyarsk, 660041, Russia

*In hired the analysis of impact damper efficiency, the mechanical model of that is made in the program ANSYS, is conducted. Dependences of amplitudes are thus got on corresponding frequencies of vibrations, in this connection becomes possible to draw conclusion about expedience of impact damper application.*

**Ключевые слова:** *impact damper, model, vibration.*

УДК 67.05

## Индукционная пайка волноводов из алюминиевых сплавов для космических аппаратов связи

© Гусев Виктор Юрьевич <sup>1</sup>	gus@iss-reshetnev.ru
Михнев Михаил Михайлович <sup>1</sup>	mix@iss-reshetnev.ru
Кадочникова Наталья Сергеевна <sup>2</sup>	nataliehadina@gmail.com
Кудрявцев Илья Владимирович <sup>2</sup>	kudrilya@rambler.ru
Сильченко Петр Никифорович <sup>2</sup>	psilchenko@sfu-kras.ru

<sup>1</sup> АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва», Железногорск, 662972, Россия

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, 660041, Россия

*Разработана технология, оборудование и программа для автоматизированной пайки тонкостенных волноводов из алюминиевых сплавов для космических аппаратов связи. Проведенные расчеты термоупругого состояния волноводов при пайке и уточнение технологических приемов позволили получить высокое качество готового изделия.*

**Ключевые слова:** космический аппарат, волновод, индукционная пайка, технология, оборудование, автоматическая система управления.

Качество и вес конструкций алюминиевых волноводных трактов космических аппаратов (КА) связи определяется технологией их изготовления. Существовавшая ранее пайка волноводов и тепловых алюминиевых труб открытым пламенем с использованием защитной газовой среды не позволяет получать требуемое качество изделий, так как пайка — ручная и качество зависит от квалификации исполнителя. Возможны и недогрев и перегрев деталей с образованием дефектов паяных швов: пор, непропаев и др. Эти трудности в известной мере ограничивают область применения пайки изделий из алюминия, заменяя ее болтовым либо заклепочным соединением деталей.

Для комплексного решения проблемы разработаны технология и оборудование пайки изделий из алюминия и его сплавов в обычной атмосфере без применения защитных средств нагрева паяемой области контакта деталей на основе индукционного нагрева [1]. Область контакта соединяемых элементов для пайки и припой покрываются специальным флюсом, который имеет реакционную способность снимать окисную пленку на паяемых элементах при достижении определенной температуры и в течение определенного, очень малого промежутка времени (0,5...3,0 с). Материал припоя имеет такие характеристики, чтобы получаемый паяный шов между соединяемыми элементами волноводного тракта имел физико-механические свойства, одинаковые или же очень близкие к свойствам алюминиевого сплава, из которого изготовлены паяемые детали для обеспечения равнопрочности и равнодеформируемости от температурных воздействий.

Весь технологический процесс и его автоматизированная система управления построены таким образом [2], чтобы получить качественный паяный шов за время действия реакции флюса по снятию окисной пленки и защите места контакта соединяемых пайкой элементов для образования качественного паяного шва при температуре, отличающейся от температуры плавления основного материала на  $\pm(3...5)$  °С.

В результате процесс нагрева должен протекать быстро, но не должен превышать температуру плавления материала паяемых деталей в любой локальной точке.

Авторами данной работы разработана установка, состоящая из отдельных устройств, средств, блоков, ПЭВМ и программного обеспечения для реализации всех необходимых условий пайки. При работе установки компьютерный блок управления, согласно программе, подает управляющее напряжение на источник питания установки индукционного нагрева, который через согласующее устройство с помощью индуктора нагревает зону пайки сборочной единицы. Видеокамера постоянно отслеживает и подает оптическую информацию через контроллер на компьютерный блок управления, который с помощью программы сравнивает первоначальное изображение припоя в зоне пайки с текущим изображением.

Во время расплавления припоя видеокамера фиксирует геометрическое изменение припоя, а компьютерный блок управления меняет управляющее напряжение, подающееся на генератор и через фиксированный промежуток времени отключает его. В результате короткого промежутка времени нагрева паяемого соединения и точности автоматизированного процесса слежения за расплавлением припоя удастся достичь температуры активации флюса и плавления припоя без оплавления и эрозии основного материала волноводно-распределительной системы. Таким образом, применяемый в предлагаемой технологии скоростной нагрев исключает человеческий фактор при пайке, оставив оператору функции вспомогательных и подготовительных работ.

Высокая прочность соединения достигается применением в качестве припоя материала, по своим свойствам максимально приближенного к материалу паяемых деталей, а также проведенными в пакете прикладных программ Ansys расчетами термомеханического состояния волноводов в процессе пайки с последующим уточнением технологического процесса.

Для экспериментальной оценки механических характеристик паяных швов проводился полный цикл испытаний, которые показали, что прочность паяного соединения столь высока, что разрушение всегда происходит по основному материалу изделия.

Разработанная технология и оборудование для пайки волноводных трактов космических аппаратов используется в АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

*Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности.*

#### **Литература**

- [1] Сильченко П.Н., Михнев М.М., Гусев В.Ю., Чупилко В.Д., Липин А.Н., Корчагин А.И. Способ изготовления волноводно-распределительных систем из алюминиевых сплавов Пат. № 2317184 РФ, МПК D31/02. Опубл. 20.02.2008, бюл. № 5.
- [2] Сильченко П.Н., Кудрявцев И.В., Тестоедов Н.А., Михнев М.М. Комплексная оценка влияния конструктивно-технологических и сборочно-монтажных факторов на эксплуатационные параметры волноводов космических аппаратов. *Вестник СибГАУ*, 2013, спец. выпуск № 4, с. 96–104.

## The induction Soldering of Waveguides from Aluminum Alloys for Communication Spacecrafts

© Gusev V.Y. <sup>1</sup>	gus@iss-reshetnev.ru
Mikhnev M.M. <sup>1</sup>	mix@iss-reshetnev.ru
Kadochnikova N.S. <sup>2</sup>	nataliechadina@gmail.com
Kudryavtsev I.V. <sup>2</sup>	kudrilya@rambler.ru
Silchenko P.N. <sup>2</sup>	psilchenko@sfu-kras.ru

<sup>1</sup>JSC Academician M.F. Reshetnev Information satellite systems, Zheleznogorsk, 662972, Russia

<sup>2</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russia

*The technology, the equipment and the program for the automated soldering of thin-walled wave guides from aluminum alloys are developed for communication spacecrafts. The carried-out calculations of a thermoelastic condition of wave guides at the soldering and specification of processing methods has allowed to receive high quality of finished product.*

**Keywords:** spacecraft, waveguide, induction soldering, technology, equipment, automatic control system.

УДК 629.782

### Разработка тепловой защиты композитного крыла многоцветового космического аппарата туристического класса

© Агеева Татьяна Геннадьевна	tageeva888@gmail.com
Ашихмина Екатерина Руслановна	katrin-katushka@yandex.ru
Резник Сергей Васильевич	
Просунцов Павел Викторович	pavel.prosuntsov@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлены результаты моделирования прогрева конструкции крыла суборбитального многоцветового космического аппарата туристического класса. Обшивка крыла представляет собой сэндвич-панель из гибридного полимерного композиционного материала и арамидного сотового заполнителя. Для моделирования ее прогрева необходимо определить тепловые нагрузки, действующие на крыло и корпус аппарата во время его спуска в атмосфере, а также теплофизические характеристики материалов обшивки крыла. В результате расчетов получено распределение температуры в обшивке крыла и определены рациональные участки размещения элементов тепловой защиты и их толщины.*

**Ключевые слова:** многоцветовые космические аппараты, тепловое проектирование, тепловая защита.

С развитием ракетно-космической техники возникает потребность в разработке современных аппаратов, использование которых позволит снизить стоимость выведения полезного груза на орбиту. В связи с этим создаются многоцветовые системы, с помощью которых можно достичь повышения экономической эффективности за счет частичного или полного сохранения дорогостоящих частей конструкции. В МГТУ им. Н.Э. Баумана в течение нескольких лет ведутся работы по проектированию крылатого многоцветового космического аппарата туристического класса (МКА ТК) «Одуванчик», предназначенного для полетов по суборбитальной траектории [1]. Ракетоплан выполнен по самолетной схеме с высоко расположенным треугольным крылом прямой стреловидности по передней кромке.

Одним из конструктивных элементов, в значительной степени определяющим массовую эффективность аппарата, является его крыло, состоящее из трехслойной обшивки и двух лонжеронов. Обшивка представляет собой сэндвич-панель, состоя-

щую из арамидного сотового наполнителя (СЗ) и тонких слоистых обшивок из гибридного полимерного композиционного материала (ГПКМ). Лонжероны выполнены из углеродного однонаправленного материала с углами укладки  $[0/\pm 45/90]$ .

Для определения температурного состояния поверхности МКА ТК проведено моделирование аэродинамического обтекания в модуле Fluid Flow (CFX) программного пакета Ansys. Рассматривали наиболее теплонагруженный участок полета — спуск в атмосфере под максимальным углом атаки. Параметры внешней среды (температура и давление воздуха в зависимости от высоты) были заимствованы из ГОСТ 4401–81.

В результате моделирования аэродинамического обтекания построена зависимость температуры адиабатической поверхности МКА ТК в характерных точках от высоты полета (рис. 1). Наиболее теплонагруженными зонами являются носовая точка фюзеляжа (максимальная температура —  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а также основание корневой хорды кромки крыла (максимальная температура —  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

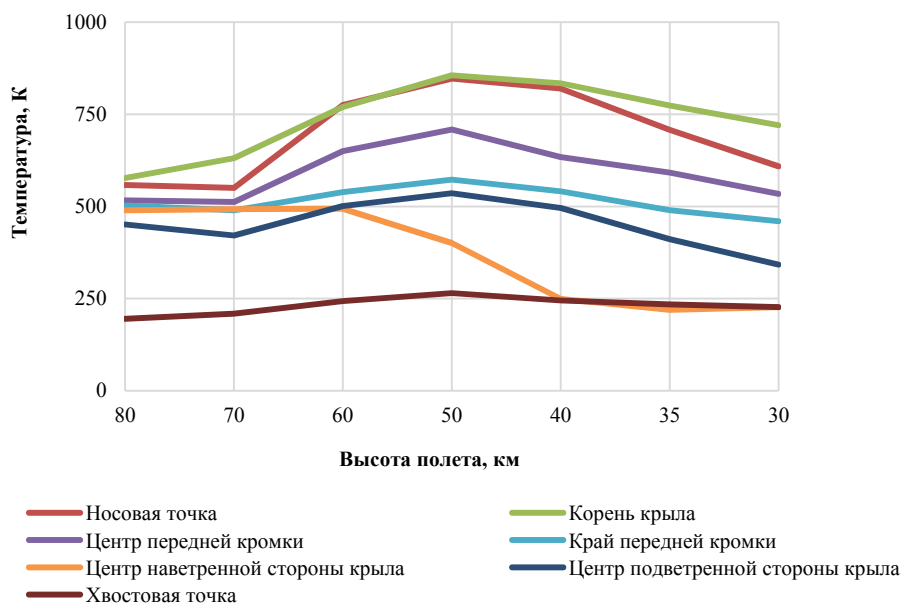


Рис. 1. Зависимость температуры адиабатической поверхности МКА ТК от высоты полета для характерных точек, К

Тепловое проектирование крыла МКА ТК проводили в модуле нестационарного теплообмена *Transient Thermal* программного пакета Ansys. Использовали оптимальную с точки зрения массы, прогиба и прочности обшивку с продольным разбиением на секции [2]. Необходимые для проектирования зависимости эффективной теплопроводности сэндвич-панели обшивки крыла были определены расчетно-теоретическим путем с использованием пакетов программ MSC Digimat и Ansys Steady State Thermal. При этом учитывали комбинированный радиационно-кондуктивный теплоперенос в объеме сотового наполнителя. При тепловом проектировании сэндвич-панель обшивки крыла рассматривали как однослойный анизотропный материал.

Результаты, полученные при моделировании аэродинамического обтекания — коэффициент теплоотдачи и температура среды у поверхности крыла МКА ТК — были экспортированы в модуль *Transient Thermal* программного пакета Ansys и использовались в качестве внешней тепловой нагрузки. Считали, что во внутреннем объеме крыла происходит радиационный теплообмен между неравномерно нагретыми зонами. Также учитывали радиационный теплообмен внешней поверхности крыла с окружающей средой. Таким образом были получены данные о прогреве конструкции крыла МКА ТК для различных моментов времени. Было выявлено, что в зоне кромки крыла и на секциях наветренной стороны температура превышает теплостойкость полиимидного связующего (350 °С), и они нуждаются в дополнительной тепловой защите.

В качестве материала тепловой защиты применен легкий, высокопрочный материал на основе фенольного связующего и стеклокристаллических микросфер — сферопластик. Была проведена серия расчетов, в ходе которых моделировалась установка на различные секции крыла теплозащитного покрытия переменной толщины. Выявлено, что оптимальным вариантом является нанесение на наиболее теплонагруженные участки крыла — кромку, заглушку, а также секции 1 и 6 крыла — слоя сферопластика толщиной 10 мм, а на секцию 2 — 5 мм (рис. 2). Секция 5 в дополнительной тепловой защите не нуждается.

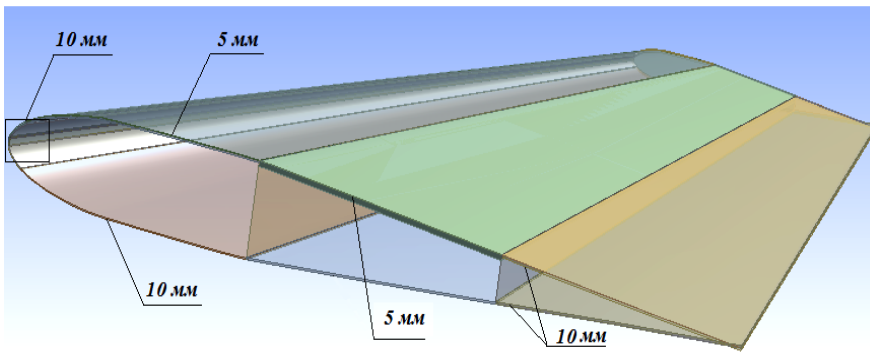


Рис. 2. Размещение и толщина теплозащитного покрытия из сферопластика

При использовании такой тепловой защиты температура обшивки крыла не превышает 311 °С, что обеспечивает надежное функционирование силовой конструкции.

### Литература

- [1] Резник С.В., Просунцов П.В, Агеева Т.Г. Оптимальное проектирование крыла суборбитального многоразового космического аппарата из гибридного полимерного композиционного материала. *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*, 2013, № 17, с. 38–42.
- [2] Агеева Т.Г., Ашихмина Е.Р., Просунцов П.В. Оптимизация структуры гибридного композиционного материала для обшивки крыла многоразового космического аппарата туристического класса. *Актуальные проблемы российской космонавтики: Труды ХLI Академических чтений по космонавтике*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, с. 44.

## Development of Thermal Insulation for Composite Wing of Tourist class Reusable Space Vehicle

©   Ageyeva T.G.	tageeva888@gmail.com
Ashikhmina E.R.	katrin-katushka@yandex.ru
Reznik S.V.	
Prosuntsov P.V.	pavel.prosuntsov@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article presents the results of modeling the warming of the wing of tourist class suborbital reusable space vehicle. The modeling was required determination of the thermophysical characteristics of materials for wing skin. Wing skin is a sandwich panel made of a hybrid polymer composite material and aramid honeycomb core. Aerodynamic thermal loads, which forces on vehicle during reentry, were found. The data from aerodynamic loads allowed to determine the most heat-loaded areas of the wing for additional thermal protection.*

**Keywords:** reusable space vehicles, wing, thermal design, thermal protection

УДК 629.7.058.82

## Болтовое соединение тонкостенных композитных конструкций

©   Ажевский Ярослав Анатольевич	azhevsky.yaroslav@mail.ru
Новиков Андрей Дмитриевич	novikov.andrey.sm13@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия

*Проведен обзор проблематики обеспечения болтового соединения тонкостенных композитных конструкций. Обоснована актуальность применения закладного элемента для трехслойных панелей. Разработан новый материал для местного упрочнения сотового заполнителя. Сделаны выводы о дополнительном упрочнении тонкостенных композитных конструкций.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, трехслойные панели, сферопластик, закладной элемент, углесферопластик. ПВХ-пенопласт, алюминиевые соты.

Космическая индустрия развивается огромными темпами. Количество аппаратов на орбите с каждым годом неуклонно растет. В связи с этим возникает вопрос о способах установления связи с космическими аппаратами и кораблями, находящимися на орбите Земли и за ее пределами.

На сегодняшний день единственным решением является спутниковая связь. Она основана на принципе использования искусственных спутников Земли в качестве ретрансляторов, которые выведены на очень большую высоту, и таким образом, охватывающих территорию почти в половину Земного шара [1].



Современные тенденции направлены на снижение массы антенны. В МГТУ, начиная с 2013 г., разрабатываются новые подходы к проектированию рефлекторов зеркальных космических антенн [2, 3]. В качестве исходных данных для проектирования взята геометрическая модель рефлектора (рис. 1) космической спутниковой антенны.



Рис. 1. Геометрическая модель рефлектора

Было принято решение выполнить усиление конструкции ребер в качестве трехслойной панели [4]. При вариации сердечника рассматривались три вида материалов: жесткий ПВХ-пенопласт, алюминиевые и арамидные соты. В качестве закладного элемента решили использовать сферопластик или его модификации. Для определения подходящего материала проводили моделирование сжимающего нагружения моделей. Обшивка во всех случаях выполнена из высокомодульного углепластика.

Результаты расчетов представлены на рис. 2.

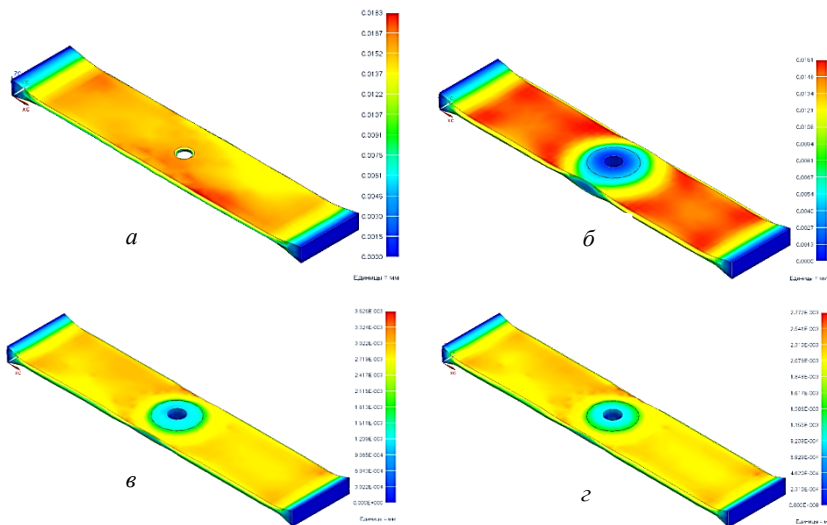
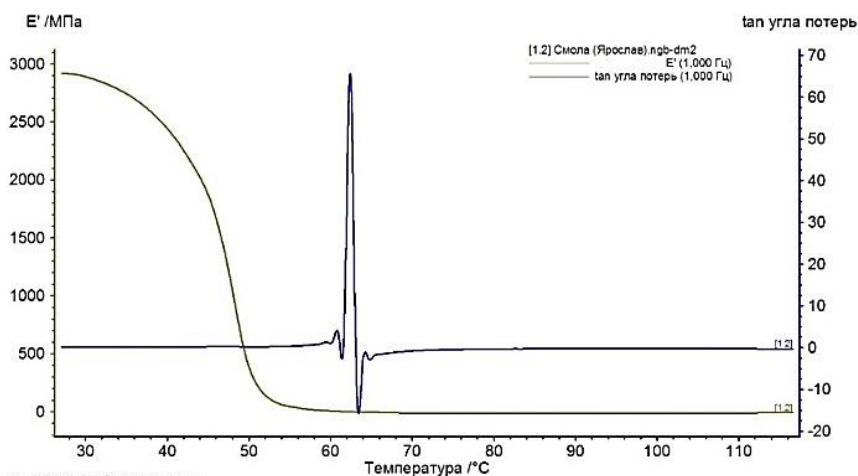


Рис. 2. Результаты симуляций: сердечника из жесткого пенопласта без усиления (а), из жесткого пенопласта с усилением из сферопластика (б), из арамидных сот с усилением из сферопластика (в) и алюминиевых сот с усилением из сферопластика (з)

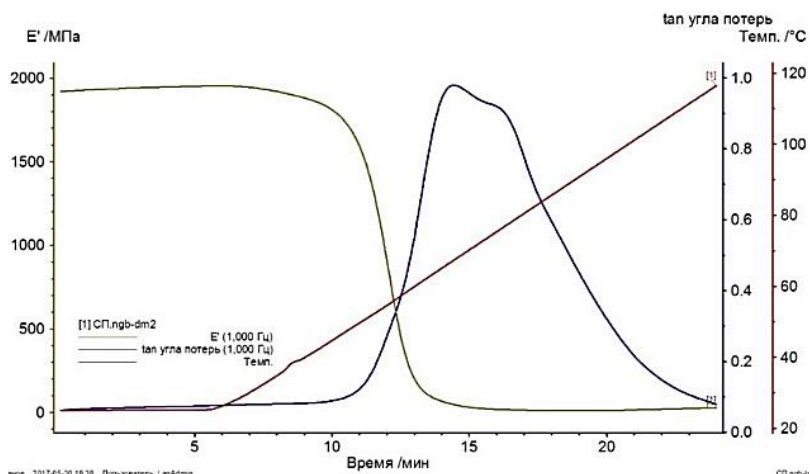
Исходя из полученных значений, можно сделать вывод, что наиболее подходящей композицией для укрепления ребер рефлектора является трехслойная панель с сердечником из алюминиевых сот с усилением под болтовое соединение из сферопластика и обшивкой из высокомодульного углепластика.

Сферопластик имеет высокую трещиностойкость, но плохо работает на изгиб. Для увеличения значения изгибной прочности решено было добавить рубленые углеродные волокна.

Для проверки данного технологического решения использован метод динамического механического анализа. В данном опыте рассматриваются три типа образцов: эпоксидная смола холодного отверждения марки Т20-60, сферопластик и углесферопластик на ее основе. Результаты испытаний представлены на рис. 3.



а



б

Рис. 3 (начало). Результаты испытаний: а — эпоксидная смола Т20-60; б — сферопластик

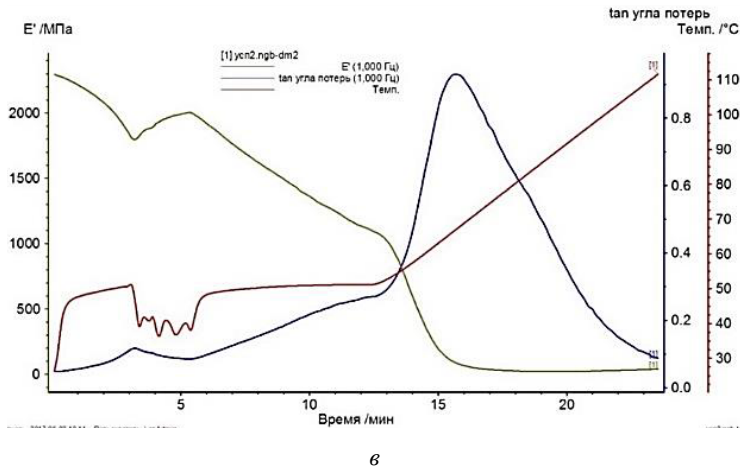


Рис. 3 (окончание). Результаты испытаний:  
в — углесферопластик

Из полученных результатов следует, что углесферопластик лучше других образцов справляется с изгибными нагрузками.

Таким образом, можно сделать вывод, что для усиления ребер рефлектора лучше всего использовать трехслойные панели с сердечником из алюминиевых сот и усилением под болтовое соединение в виде углесферопластика.

#### Литература

- [1] Фролов О.П., Вальд В.П. *Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи*. Москва, Горячая линия — Телеком, 2012, 496 с.
- [2] Prosuntsov P.V., Reznik S.V., Mikhailovsky K.V., Novikov A.D., Zaw Ye Aung Study variants of hard CFRP reflector for intersatellite communication. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 153, no. 1. 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/153/1/012012. 7 p.
- [3] Reznik S.V., Novikov A.D. Comparative analysis of the honeycomb and thin-shell space antenna reflectors. *Thermophysical Basis of Energy Technologies — 2016*. DOI: 10.1051/mateconf/2017920101292. 5 p.
- [4] Васильев В.В., Барынин В.А., Разин А.Ф. Анизотридные композитные сетчатые конструкции — разработка и приложение к космической технике. *Композиты и наноструктуры*, 2009, № 3, с. 38–50.

## Bolted Connection of Thin-Walled Composite Structures

© Azhevsky Y.A.  
Novikov A.D.

azhevsky.yaroslav@mail.ru  
novikov.andrey.sm13@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The review of the problem of providing a bolted connection of thin-walled composite structures is carried out. The relevance of the application of the embedded element for three-layer panels is substantiated. A new material for local hardening of a hundredth filler has*

*been developed. Conclusions are drawn about additional strengthening of thin-walled composite structures.*

**Keywords:** *composite materials, sandwich panels, spheroplasty, mortgage element, carbon-spheroplasty, PVC-foam, aluminium honeycombs.*

УДК 629.023:533.69.048

## **Влияние основных элементов авиалайнера на точность определения аэродинамических нагрузок на крыло из полимерных композиционных материалов**

© Барановски Сергей Владиславович      serg1750@mail.ru  
Михайловский Константин Валерьевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия

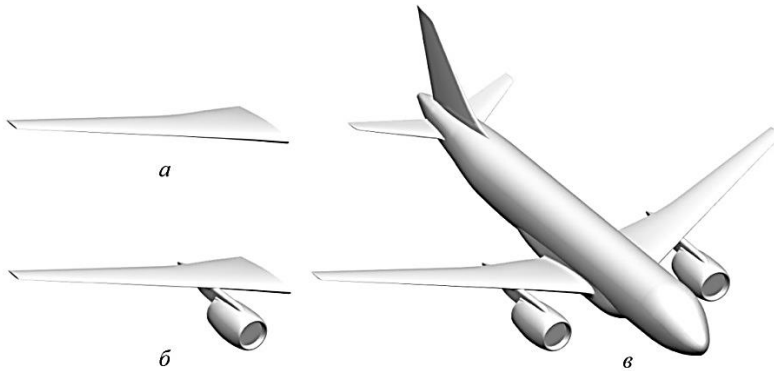
*При проектировании современных пассажирских авиалайнеров с крылом из полимерных композиционных материалов следует учитывать множество факторов. Немаловажное значение имеет четкое представление о последовательности действий в условиях возрастающей сложности и сокращающихся сроках проектов. Таким образом, универсальная методика должна облегчить и ускорить процесс проектирования. В работе выполнен расчет задачи внешней аэродинамики крыла с учетом основных компонентов пассажирского среднемагистрального авиалайнера. Рассмотрены варианты расчета аэродинамических нагрузок без учета элементов авиалайнера, с двигателем на пилоне под крылом, целого авиалайнера. Проанализировано влияние элементов авиалайнера, габаритов расчетной области и размера характеристического элемента сетки конечных объемов на продолжительность и точность расчета. Определены рациональные параметры исходных данных при проектировании крыла на начальных этапах.*

**Ключевые слова:** *авиалайнер, крыло, аэродинамические нагрузки, двигатель, компоновочная схема, конечный элемент, параметрическое моделирование.*

На начальных этапах проектирования любого летательного аппарата, в том числе пассажирского авиалайнера, одно из первостепенных значений приобретает аэродинамическая компоновочная схема. От нее зависит подъемная сила, лобовое сопротивление, которые влияют на конструктивные параметры, например на тип двигателя, массу полезного груза и пр. [1]. Для рациональной компоновки важно учитывать взаимное расположение основных элементов летательного аппарата: фюзеляжа, крыла, хвостового оперения, двигателей и т. д., применяя методы междисциплинарной оптимизации [2]. Оптимизируются такие элементы конструкций, как мотогондолы двигателя, расположенные на пилоне под крылом [3]. Полная компоновка авиалайнера рассматривается в рамках решения задачи аэродинамики всей конструкции [4].

Целью данной работы является разработка универсальной методики проектирования крыла из полимерных композиционных материалов, которая позволит упро-

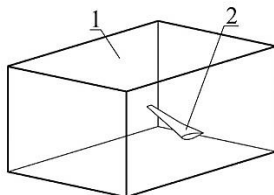
стить разработку модели крыла на стадии проектных расчетов. Для этого рассматривался процесс получения нагрузок на крыло от скоростного напора в рамках методики проектирования крыла и отдельно — аэродинамическая поверхность стреловидного крыла со спрямленным участком и несимметричным аэродинамическим профилем среднемагистрального авиалайнера (рис. 1, *а*), крыло с мотогондолой двигателя, крепящейся на пилоне под ним (рис. 1, *б*), целый авиалайнер (рис. 1, *в*).



**Рис. 1.** Варианты геометрических моделей:  
*а* — крыло; *б* — крыло с мотогондолой двигателя на пилоне; *в* — авиалайнер

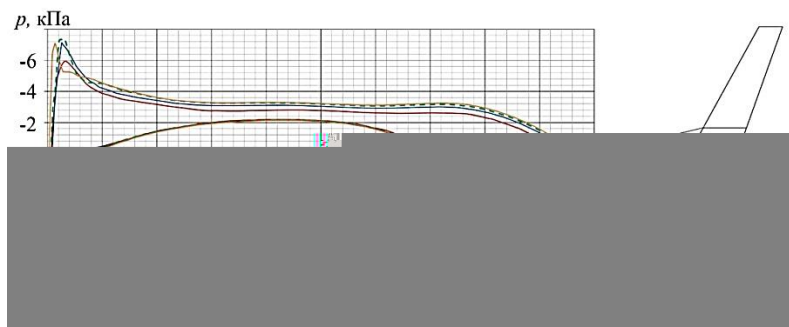
Кроме учета геометрии самого планера изучалось изменение размера расчетной области и сетки конечных объемов на крыле в целях получения зависимостей продолжительности и точности расчетов от этих параметров. Габариты расчетной области варьировались исходя из размера длины хорды крыла, как уменьшая, так и увеличивая принятое в расчетах значение в 20–30 длин хорды [5]. Исследовалось влияние диффузора и двухконтурности двигателя.

Для указанных геометрических моделей проводился параметрический расчет определения аэродинамической нагрузки на крыло в программном комплексе ANSYS 16 с помощью модуля CFX. Для расчета принят крейсерский режим полета, параметры атмосферы выбирались в соответствии с ГОСТ 4401–81. Выбрано три угла атаки, соответствующие различным режимам полета (рис. 2).



**Рис. 2.** Вид расчетной области:  
*1* — расчетная область; *2* — тело в потоке

В результате расчета получены и проанализированы значения давления, температуры по крылу и характер обтекания потоком. На рисунке 3 представлены отдельные результаты расчетов распределения давления по профилю крыла.



**Рис. 3.** Распределения давления по профилю крыла, при рассмотрении отдельно аэродинамической поверхности крыла и варьировании характерного размера элемента сетки конечных объемов на поверхности объекта исследования, м:  
 — 0,160; — — — — 0,08; — · — · — 0,04; — — — — 0,02

На основе анализа влияния основных элементов авиалайнера на точность определения аэродинамических нагрузок на крыло с помощью параметрического моделирования получены следующие данные:

- значения аэродинамических нагрузок, характер обтекания потоком, временные зависимости продолжительности подготовки и проведения расчета;
- рекомендации по учету элементов авиалайнера на стадии проектных расчетов;
- зависимости по учету влияния габаритов расчетной области и характерного размера сетки конечных объемов на продолжительность и точность расчетов.

### Литература

- [1] Житомирский Г.И. Конструкция самолетов. Москва, Машиностроение, 2005, 406 с.
- [2] Petersson O., Daoud F. Multidisciplinary optimization of aircraft structures with respect to static and dynamic aeroelastic requirements. *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress*. Berlin, Germany, 2012. pp. 1–7.
- [3] Зленко Н.А., Курсаков И.А. Оптимизация геометрии узла подвески мотогондолы под крылом пассажирского самолета на основании численных расчетов с использованием уравнений RANS. *Ученые записки ЦАГИ*, 2015, т. 46, № 5, с. 21–38.
- [4] Xiangyu, G., Ciampa P.D., Nagel B. High fidelity aerodynamic optimization in distributed overall aircraft design. *AIAA Paper*, 2016, no. 2016–3508, pp. 1–19.
- [5] Вождаев В.В., Косушкин К.Г., Миргазов Р.М. Расчет аэродинамических характеристик крыла с профилем САНР в условиях естественного ламинарно-турбулентного перехода. *Науч. вестник МГТУ ГА*, 2013, № 188, с. 92–98.

## Influence of Airliner Basic Elements on the Determination Accuracy of Polymer Composite Wing Airload

© | Baranovski S.V.  
 | Mikhailovskiy K.V.

serg1750@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Large number of factors take into account when designing modern passenger airliners with a polymer composite wing. At the same time, complexity of design is growing up and duration*

*of project is continuously shrink. Therefore, a clear vision of designing steps plays one of the main roles. Therefore, the method should facilitate and accelerate the polymer composite wing design process. The airload with taking into account the main components of the passenger medium-range airliner is calculated in this work. The wing, wing with engine nacelle and airliner are considered. The influence of airliner elements, calculated area dimensions and finite volumes grid size on the duration and calculation accuracy is analyzed. The rational parameters of the basic data for early stage of the wing designing are determined.*

**Keywords:** *airliner, wing, airload, engine, design layout, finite element, parametrical modeling.*

УДК 620.1:691.175.3

## **Технология формования и свойства гибридных композитов на основе органического нетканого материала**

© | Тун Лин Хтет

tunlinhtet64509@gmail.com

| Городецкий Михаил Алексеевич

mikgord@gmail.com

| Малышева Галина Владленовна

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия

*Исследованы технологии формования и свойств гибридных композиционных материалов на основе органического нетканого материала. В качестве примера рассмотрен образец нетканого материала на основе полиэтилентерефталата. Приведены результаты экспериментов на образцах. Эти исследования могут быть полезны при разработке новых технологических решений для повышения качества изготовления гибридных композитов на основе нетканого материала.*

**Ключевые слова:** *гибридные композиты, нетканые материалы, технология формования, полиэтилентерефталат.*

В настоящее время гибридные композиты очень популярны, поскольку объединяют многие полезные функции, которые одновременно не могут быть ни в каком другом материале. Они обладают уникальными механическими, термическими, оптически-ми, электронными, биологическими свойствами, могут найти применение практически во всех отраслях науки, техники и быта в современном мире.

Гибридные композиты представляют собой искусственно получаемые вещества и соединения с определенными свойствами, отличными от свойств натуральных материалов, — повышенной плотностью и износостойкостью, прочностью и термопластичностью, легкостью и долговечностью.

Нетканые материалы состоят из двух элементов, один из которых играет роль базового, а второй — связующего. Базовый элемент, несущий основную нагрузку при эксплуатации, является основой нетканого материала. В качестве базового материала используют волокнистый холст, систему нитей, полимерную пленку, имеющую волокнистую структуру, ткани или сочетания этих материалов. В производстве нетканых материалов используются механическая, химическая технологии и их соче-

тания. Правильный выбор скорости протяжки, геометрический и температурный профиль фильеры, совместимость волокон и полимерной матрицы, правильная организация пропитки полимером — все это определяет качество конечного материала.

Одним из новых методов пропитки связующим нетканого наполнителя является инфузионная пропитка под вакуумом. О качестве такой пропитки можно судить только после окончания всего технологического процесса. Поэтому создание технологических рекомендаций весьма актуально и позволяет создать новые эффективные технологические процессы и повысить качество изготавливаемого продукта.

Цель настоящей работы состоит в исследовании технологии формования и свойств гибридных композиционных материалов на основе органического нетканого материала. Примером взят образец нетканого материала на основе полиэтилентерефталата.

Для достижения поставленной цели в работе были проведены:

- обзорный анализ современного рынка гибридных композитов;
- экспериментальные исследования структуры и свойств композиционного материала и его наполнителя — нетканого материала «Сорик» с помощью томографа и электронного микроскопа;
- исследование влияния температуры и механической нагрузки на композит с помощью динамико-механического анализа;
- инфракрасный анализ химического состава наполнителя;
- определение режимов формования композита и способы производства наполнителя;
- исследование кинетики процесса пропитывания многослойного пакета, состоящего из стеклянной ткани и нетканого полиэфирного армирующего материала.

Экспериментальные исследования проводились в межотраслевом инженерном центре композиционных материалов при МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В результате проведенных исследований образцов композиционного материала и его наполнителя — нетканого материала «Сорик» с помощью инфракрасного анализа установлен его химический состав, т. е. полиэтилентерефталат. С помощью томографа и электронного микроскопа выявлены микротрещины в композиции, а посредством динамико-механического анализа установлены значения модуля упругости композитов с одним и двумя слоями нетканого материала (модуль упругости КМ, в составе которого два слоя нетканого материала, повышается на 20 %). Была исследована динамика модулей упругости при воздействии температуры, в частности, до 150 °С: у однослойного композита значение модуля упругости падает на 20 %, у двухслойного — на 30 % за одно и тоже время. Установлено, что используемый нетканый материал позволяет уменьшить время пропитывания на 40 %. Вследствие проведенного анализа технологических факторов, влияющих на качество композиционного материала для каждой технологической операции, составлен перечень возможных ошибок, что позволит их избежать при разработке новых технологических решений.



## Forming Technology and Properties of Hybrid Composites Based on Organic non-Woven Fabric

© Thun Lin Het  
Gorodetsky M. A.  
Malysheva G.V.

tunlinhtet64509@gmail.com  
mikgord@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The technologies of forming and properties of hybrid composite materials based on organic nonwoven material have been studied. As an example, a sample of a non-woven material based on polyethylene terephthalate was considered. The results of experiments on samples are given. These studies can be useful in developing new technological solutions for improving the quality of manufacturing of hybrid composites based on non-woven fabric.*

**Keywords:** hybrid composites, non-woven materials, molding technology, polyethylene terephthalate.

УДК 629.7.023.224

## Расчетно-теоретическое определение теплопроводности иглопробивного каркаса для углерод-керамических материалов

© Тараскин Никита Юрьевич  
Просунцов Павел Викторович  
Баринов Дмитрий Яковлевич

trzzz@mail.ru  
pavel.prosuntsov@mail.ru  
dybarinov@gmail.com

<sup>1</sup> МГТУ им. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Москва, 105005, Россия

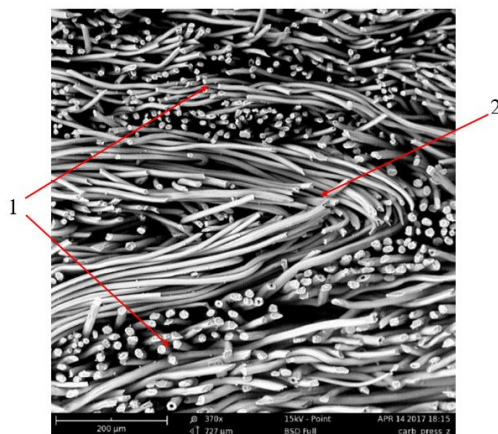
*Проведено многоуровневое моделирование процесса теплопереноса в представительном элементе объема и расчетным путем определена теплопроводность материала, которая сопоставлена с экспериментальными данными.*

**Ключевые слова:** углерод-керамические материалы, иглопробивной каркас, микроструктура, теплопроводность, тепловая защита.

В настоящее время в целом ряде стран (Россия, США, Китай и др.) создаются новые космические корабли (КК), к конструкциям которых предъявляются требования многократного использования их спускаемых аппаратов. Так, для КК «Орион» создается теплозащитный щит из углерод-углеродного материала АСС-6 [1]. Снижение массы теплозащитного щита может быть достигнуто за счет применения пористых углерод-керамических материалов, в которых высокие механические характеристики достигаются за счет применения углерод-углеродного каркаса, защита которого от действия высокотемпературного окислительного потока обеспечивается нанесением на

углеродные волокна тонкого слоя карбида кремния [2]. В настоящее время в качестве основы для изготовления углерод-керамического композиционного материала (УККМ) нашли применение иглопробивные каркасы [3], причем именно структура каркаса во многом определяет характеристики будущего УККМ.

С использованием электронного микроскопа Phenom Pro X был проведен анализ микроструктуры иглопробивных нетканых углеродных каркасов плотностью  $150 \text{ кг/м}^3$  (непрессованный) и  $610 \text{ кг/м}^3$  (прессованный) [4]. Анализ изображений (рис. 1) показал, что углеродные волокна средним диаметром  $20 \text{ мкм}$  расположены в основном в параллельных слоях нетканого холста и хаотично ориентированы в плоскости. В непрессованном материале перпендикулярно слоям холста проходят углеродные нити, образованные при помощи иглопробивной машины и стягивающие отдельные слои. Интервал между отдельными нитями составляет в среднем  $1400 \text{ мкм}$ , диаметр нити —  $150 \text{ мкм}$ , в каждой нити содержится в среднем  $40$  волокон. Во время прессования материала нити изгибаются, при этом угол относительно направления прессования составляет  $75,5^\circ$ .



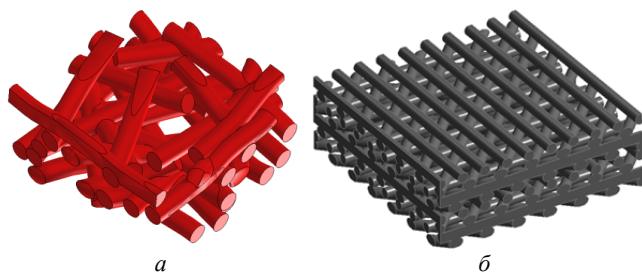
**Рис. 1.** Фотография среза углеродного каркаса плотностью  $610 \text{ кг/м}^3$ , увеличение  $370\times$ :  
1 — слой холста; 2 — прошивочная нить

В основу расчетно-теоретического определения теплопроводности материала положено понятие представительного элемента объема (ПЭО). Был использован принцип многоуровневого моделирования, в рамках которого выделены микроуровень — слой холста и пробивная нить, а также мезоуровень — слой прессованного иглопробивного материала.

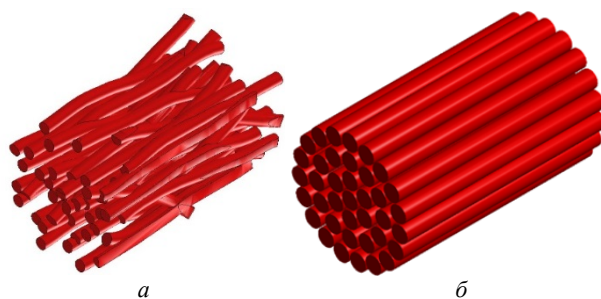
Для построения геометрических моделей ПЭО микроуровня применен пакет программ MSC.Digimat и Ansys Workbench. Модели ПЭО, созданные при помощи MSC.Digimat, учитывали кривизну и контакты между отдельными волокнами (рис. 2, а и 3, а). В упрощенных геометрических моделях ПЭО, созданных с использованием Ansys Workbench, принималось, что на микроуровне материал имеет регулярную структуру со средними значениями геометрических параметров (рис. 2, б и 3, б). При этом затраты вычислительных ресурсов на моделирование теплопереноса в упрощенных моделях были существенно ниже.

Геометрическая модель мезоуровня прессованного иглопробивного нетканого углеродного каркаса представлена на рис. 4. Размер модели ПЭО составляет  $1400 \times 1400 \times 1024$  мкм и выбран таким образом, чтобы его длина и ширина были равны среднему расстоянию между прошивочными нитями.

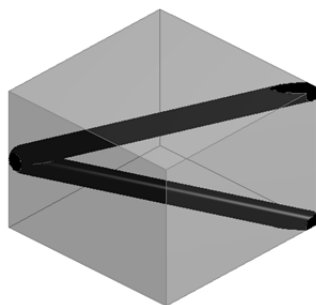
С использованием данных моделей ПЭО было проведено расчетно-теоретическое определение теплопроводности углеродного каркаса различной плотности. Также выполнены экспериментальные исследования теплопроводности иглопробивного углеродного каркаса с плотностью  $610 \text{ кг/м}^3$  методом лазерной вспышки результаты которых показали хорошее соответствие с расчетными значениями.



**Рис. 2.** Геометрическая модель ПЭО слоя холста в углеродном каркасе:  
*a* — модель MSC.Digimat; *б* — упрощенная модель



**Рис. 3.** Геометрическая модель ПЭО углеродной нити:  
*a* — модель MSC.Digimat; *б* — упрощенная модель



**Рис. 4.** Геометрическая модель ПЭО углеродного каркаса мезоуровня

## Литература

- [1] Walker S.P., Daryabeigi K., Samareh J.A., Armand S.C., Perino S.V. Preliminary Development of a Multifunctional Hot Structure Heat Shield. *AIAA Paper 2014-0350*, 2014, 13 p.
- [2] Просунцов П.В., Шуляковский А.В., Тараскин Н.Ю. Численное моделирование элемента тепловой защиты перспективного многоразового спускаемого аппарата капсульного типа. *Инженерно-физический журнал*, 2017, т. 90, № 1, с. 116–122.
- [3] Богачев Е.А. Высокотемпературные конструкционные композиционные материалы с минимальной структурной ячейкой. *Композиты и наноструктуры*, 2017, т. 9, № 1, с. 12–23.
- [4] Богачев Е.А., Мишуковский Ю.С., Белоглазов А.П., Бабкин В.П., Блонский А.Ю., Тимофеев А.Н., Денисов Ю.А. *Установка для получения нетканых материалов*. Пат. № 2549869 РФ, 1998.

## Theoretical and Numerical Characterization of the Thermal Conductivity of Carbon Needle-Punched Frame

©	Taraskin N.Y.	trzzz@mail.ru
	Prosuntsov P.V.	pavel.prosuntsov@mail.ru
	Barinov D.Y.	dybarinov@gmail.com

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Institute of Aviation Materials (ARIAM), Moscow, 105005, Russia

*Multilevel modeling of heat transfer in representative volume element is carried out and thermal conductivity of material are determined by a settlement way, which are compared with the experimental data.*

**Keywords:** *ceramic matrix composite, needle-punched frame, microstructure, thermal conductivity, thermal protection.*

УДК 681.786.23

## Размерный контроль строительства кораблей с использованием технологий 3D-моделирования и лазерного сканирования

© | Дятлев Андрей Владимирович  
Дзюнин Георгий Робертович

i.forge@rambler.ru  
feanor105@gmail.ru

АО «ПО «Севмаш»», Северодвинск, Архангельская обл., 164500, Россия

*Проект разработан в целях усиления контроля над производством и перехода к строительству кораблей и судов в точной геометрии. При строительстве современных кораблей выявлена проблема нехватки современных методов и инструментов измерения и контроля конструкций при строительстве. Для решения рекомендуется комплексное применение 3D-моделирования и лазерного сканирования. В данный апробируются методы контроля с применением 3D-моделирования и лазерного сканирования, разрабатываются методики проведения размерного контроля.*

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, лазерное сканирование, 3D-технологии, строительство кораблей, контроль геометрии, размерный контроль, судостроение.

Современная атомная подводная лодка (АПЛ) — это наиболее сложный технический проект, созданный человеком. Для обеспечения жизнедеятельности экипажа и выполнения боевых задач АПЛ оснащается множеством систем и механизмов, которые необходимо разместить в ограниченном объеме корпуса лодки. В связи с этим возникает высокая плотность компоновки и затесненность отсеков АПЛ.

По объективным причинам, связанным с особенностями проектирования, существующей технологией строительства и человеческим фактором, корпусные конструкции, фундаменты и сварное насыщение устанавливаются с отклонениями от проектной документации. При этом нарушается компоновка отсека, что ведет к возникновению коллизий и значительным затратам на переделки. Для сокращения их количества возникла необходимость в разработке нового метода выполнения работ.

Таким стал метод строительства с применением размерного контроля с использованием 3D-моделирования и лазерного сканирования. Его суть заключается в контроле геометрических размеров корпусных конструкций и координат установки корпусного насыщения, фундаментов, оборудования и систем на каждом этапе

строительства. К обязательным этапам относятся следующие: изготовление секций; формирование блок-секций; закатка зональных блоков; стыковка отсеков и т. д.

Задачу размерного контроля можно решить путем комплексного применения передовых технологий 3D-моделирования и лазерного сканирования. С помощью 3D-моделирования на основе проектной документации можно получить теоретическую модель конкретной конструкции или целого помещения корабля (рис. 1).

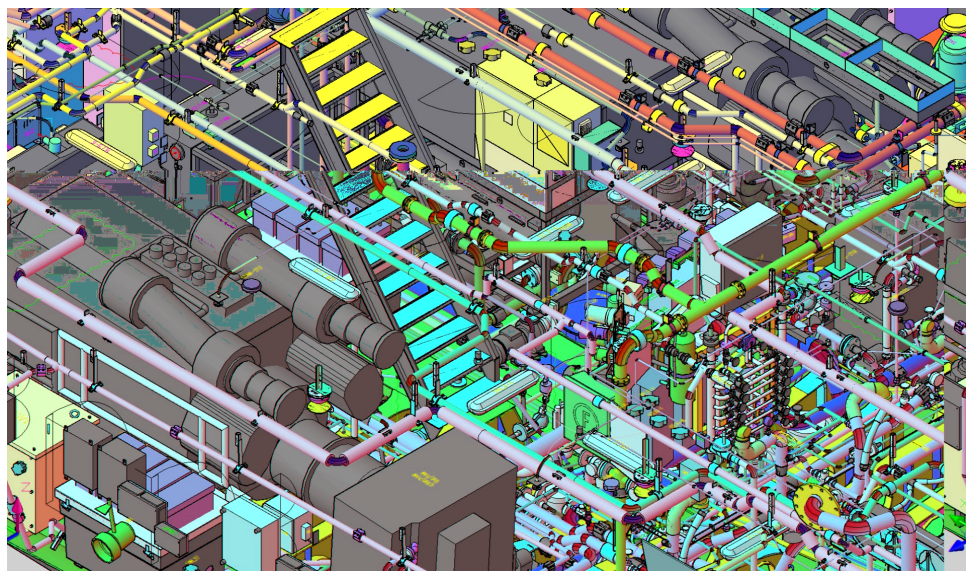


Рис. 1. 3D-модель помещения

Лазерное сканирование изготовленных конструкций позволяет получить облако точек, описывающее фактическую геометрию сканируемого объекта (рис. 2), определить путем сравнения с 3D-моделью полученные отклонения и выработать техническое решение для выполнения дальнейших работ.

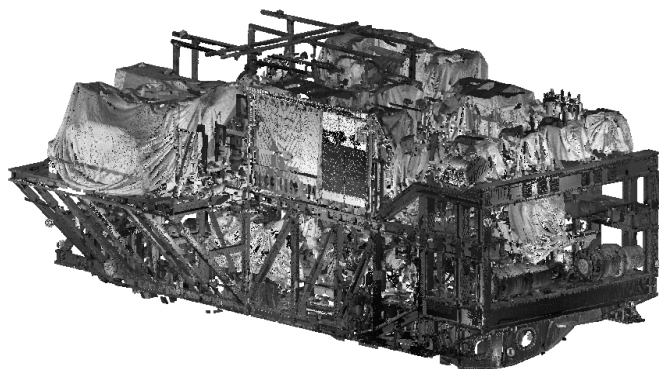


Рис. 2. Облако точек

Лазерный 3D-сканер состоит из лазерного дальномера и блока развертки лазерного луча (рис. 3). В качестве блока развертки выступают сервопривод и полигональное зеркало или призма. Сервопривод отклоняет луч на заданную величину в горизонтальной плоскости, при этом поворачивается вся верхняя часть сканера. Развертка в вертикальной плоскости осуществляется за счет вращения или качания зеркала.

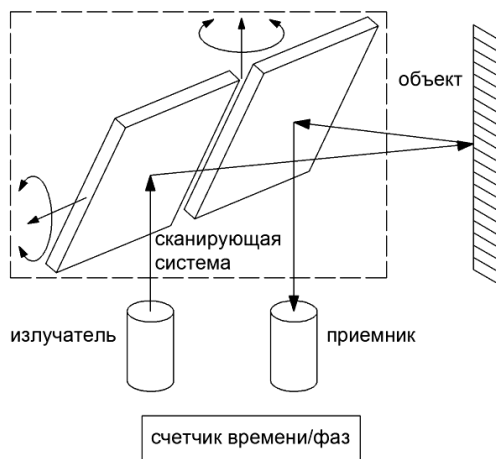


Рис. 3. Схема работы лазерного 3D-сканера

В процессе сканирования фиксируется направление распространения лазерного луча и расстояние до точек объекта.

Результатом лазерного сканирования является облако точек лазерных отражений от объектов (см. рис. 2), находящихся в поле зрения сканера, с четырьмя характеристиками: пространственными координатами ( $x, y, z$ ) и интенсивностью.

Для лазерного сканирования нами применяется лазерный трехмерный сканер с фазовым дальномером SURPHASER 100HSX. Диапазон измерения расстояний 1...50 м, допускаемое отклонение измерения дальности — не более 0,07 на 10 м, разрешение сканирования — от 24 до 90 точек на один градус.

Разработанный нами метод позволяет:

- определить критические отклонения геометрии корпусных конструкций и координат установки корпусного насыщения;
- своевременно выявлять ошибки в координатах установки фундаментов и оборудования;
- контролировать монтаж арматуры и узлов крепления трубопроводов и кабельных трасс;
- выполнить замеры, необходимые для виртуальной обработки процессов закатки зональных блоков и стыковки отсеков.

Данная методика в настоящее время апробируется на нашем предприятии при строительстве всех АПЛ.

Например, при монтаже патрубков ПРНУ на одном из объектов возникла потребность контроля установочных размеров. Единственной технологией позволяющей оперативно выполнить контроль, оказалось лазерное сканирование. В результате была выполнена работа по контролю более 40 патрубков ПРНУ. С учетом допусков



на установочные размеры 3 мм была выявлена необходимость повторного монтажа 15 патрубков.

Применение лазерного сканирования позволило выполнить оперативный контроль и обеспечить сроки закрытия удостоверений по системам.

Таким же образом с применением технологии лазерного сканирования была выполнена опытная работа по подтверждению замеров конуса торпедных аппаратов.

Была разработана методика выполнения размерного контроля геометрии блока зонального и его виртуальной закатки в отсек (рис. 4).

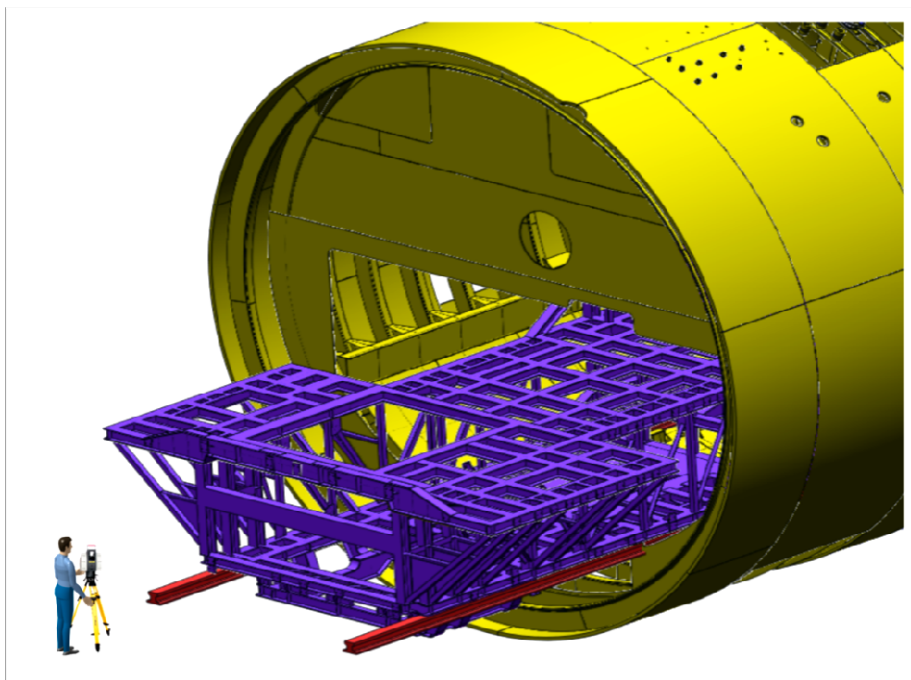


Рис. 4. Виртуальная закатка зонального блока

Выполненные опытные работы по этой методике на одном из объектов позволили определить следующее:

- выход за допуск размеров установки платиков, как на зональном блоке, так и на фундаментах основного корпуса;
- невозможность установки некоторых амортизаторов без доработки конструкции;
- наличие затруднений при закатке зонального блока, обусловленных некоторыми конструкциями, оборудованием и тросопроводами, уже установленными на объекте.

В связи с этим были выполнены необходимые доработки, что позволило закатить и установить зональный блок. Разработанная методика внедряется на серии АПЛ четвертого поколения и будет внедрена на других строящихся объектах.

Для обеспечения испытаний ЦТ с целью определения возможности выполнения операции по установке технологических заглушек, проведено лазерное сканирование конструкций межбортового пространства, на основе которого создана фактическая 3D-модель.



По результатам виртуального моделирования операции заведения заглушек в захлопки ЦТ выявлено пересечение заглушек, как с трассами ДУ так и с их подкреплениями.

По результатам моделирования выполнена доработка корпусных конструкций и трасс ДУ.

В настоящее время в АО «ПО» Севмаш» ведутся работы по ремонту корабля проекта 11442М. Работы выполняются по ассоциативной документации. Это позволило отказаться от макетировочных и трассировочных комиссий. Для оценки правильности установки корпусных конструкций, оборудования, трубопроводов и т. д. выполняется лазерное сканирование помещений корабля.

Также нами была проведена опытная работа по лазерному сканированию поверхности днища эллиптического (рис. 5), комингсов крышек и перьев НГР.

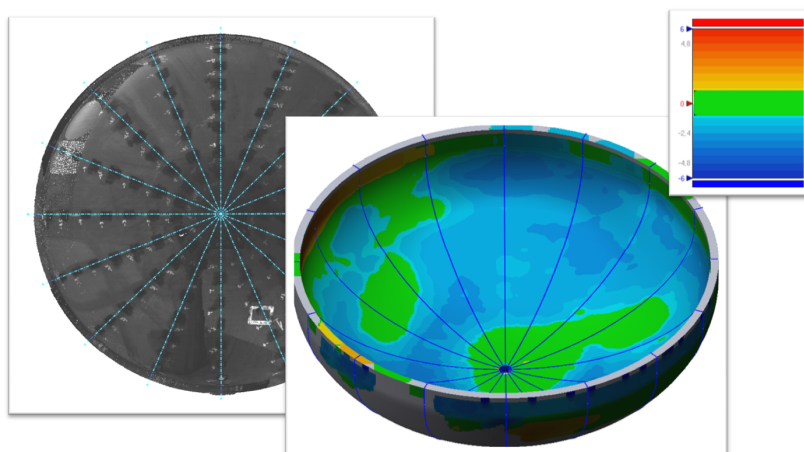


Рис. 5. Контроль поверхности днища эллиптического.

Анализ выполненных работ по лазерному сканированию показал следующее:

- возможно сканирование данного типа объектов для выполнения анализа отклонения формы вместо измерения шаблоном;
- точность измерения линейных размеров методом лазерного сканирования выше, чем при методе замера по шаблону;
- сокращается время (трудоемкость) измерений по сравнению с традиционным методом.

В ближайшее время планируется широкое применение размерного контроля методом лазерного сканирования.

Таким образом, разработанный нами метод размерного контроля с использованием передовых технологий 3D-моделирования и лазерного сканирования открывает возможности для выполнения заказов по строительству объектов в точной геометрии. Его внедрение на АО «ПО «Севмаш»» и на предприятиях группы компаний ОСК повысит производительность труда, значительно сократит издержки производства и сроки строительства кораблей и судов.

## Dimensional Inspection of Construction of Ships Using the Technology of 3D-modeling and Laser Scanning

© | Dyatlev A.V.  
| Dzyunin G.R.

i.forge@rambler.ru  
feanor105@gmail.ru

JSCo «ПО “Sevmach”», Severodvinsk, 164500, Russian Federation

*The project was developed with the purpose of strengthening of control over production and transition to the construction of ships and vessels in accurate geometry. The construction of modern ships has revealed a lack of modern methods and tools measurement and control structures during construction. The solution to this problem integrated application of 3D-modeling and laser scanning. Currently undergoing testing of the control method with the use of 3D modeling and laser scanning. Developed methodology for dimensional inspection.*

**Keywords:** 3D-modeling, laser scanning, 3D-technologies, the construction of ships, geometry control, dimensional control, shipbuilding.

УДК 681.786.23

## Реверсное проектирование на примере разработки 3D-модели стенда испытаний виброшумовых характеристик

© | Дятлев Андрей Владимирович  
| Дзюнин Георгий Робертович

i.forge@rambler.ru  
feanor105@gmail.ru

АО «ПО “Севмаш”», Северодвинск, Архангельская обл., 164500, Россия

*Проект разработан в целях получения 3D-модели помещений на основе лазерного сканирования и выпуска документации с точными координатами размещения трубопроводов и оборудования для последующей модернизации и ремонта или переноса информации для серийного производства.*

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, реверс-инжиниринг, лазерное сканирование, 3D-технологии, строительство кораблей, подводная лодка, судостроение, сканер.

На основе имеющегося опыта и с учетом особенностей подводного кораблестроения в АО «ПО “Севмаш”» разработана и в настоящее время реализуется комплексная программа модернизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) и процессов строительства объектов. Основное направление программы заключается в глубоком освоении технологий 3D-моделирования и реверс-инжиниринга.

Применительно к судостроению реверс-инжиниринг это создание электронных моделей уже изготовленных конструкций корабля, включая корпус, трубопроводы, кабельные трассы и оборудование, с помощью современных методов измерения.

Одним из направлений, по которому в АО «ПО «Севмаш»» были внедрены реверсивные технологии, стал перенос информации о принятых проектных решениях с головного заказа на серию. Цель работ — создание 3D-моделей и выпуск на их основе документации, дополняющей и детализирующей существующую РКД.

Главной тактико-технической характеристикой подводной лодки является ее скрытность, которая обеспечивается выполнением установленных требований к шумности оборудования, механизмов и других элементов судна.

В целях обеспечения этого параметра в АО «ПО «Севмаш»», был создан уникальный испытательный стенд для выполнения испытаний арматуры на соответствие виброшумовых характеристик (ВШХ) заданным требованиям (рис. 1).

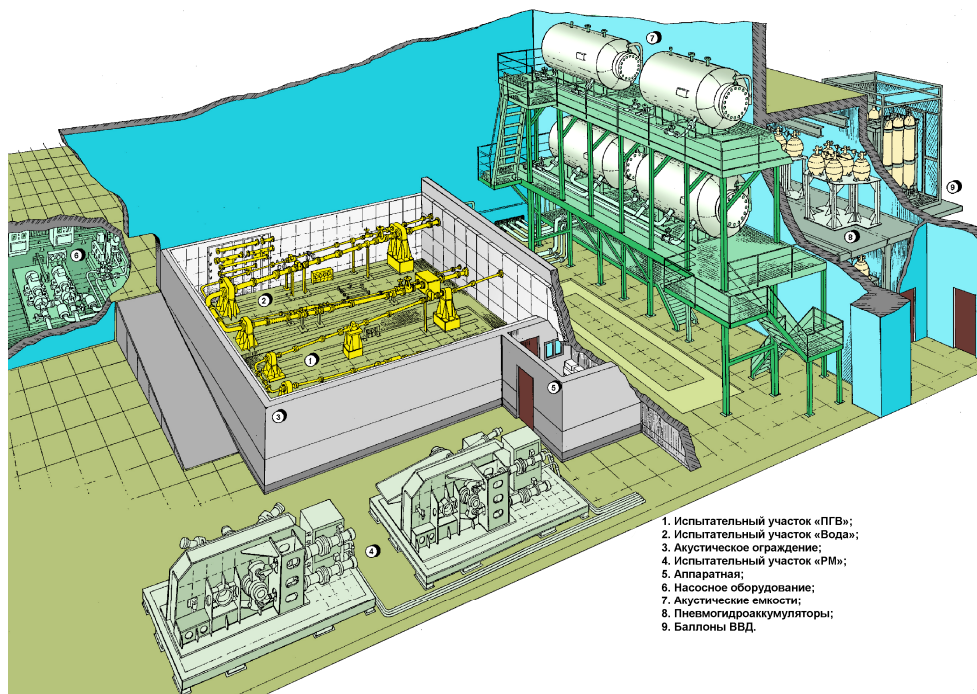


Рис. 1. Стенд испытания виброшумовых характеристик

Стенд спроектирован в 1990-е годы и по параметрам, расходу и давлению соответствовал определенному списку номенклатуры испытываемых объектов. Однако в настоящее время для строительства атомных подводных лодок (АПЛ) четвертого и пятого поколений появилась необходимость испытания нового оборудования. В связи с этим осуществляются модернизация стенда и доработка трубопроводов подачи рабочей среды к испытательному участку. Однако за годы эксплуатации стенд неоднократно подвергался ремонту, переделкам и улучшениям, в связи с чем оказалось, что достоверная конструкторская документация (КД) отсутствует. Тогда было принято решение создать 3D-модель «как построено», с применением лазерного сканирования (рис. 2).

Для выполнения этой задачи был использован сканер SURPHASER100HSX IR/SR, предназначенный для измерений трехмерных координат точек поверхности

инженерных объектов и сооружений. Конструктивно, сканер представляет собой корпус, вмещающий лазерный фазовый дальномер, оптико-зеркальную поворотнотклоняющую систему, электрический привод, датчики углов поворота и электронный управляющий блок.

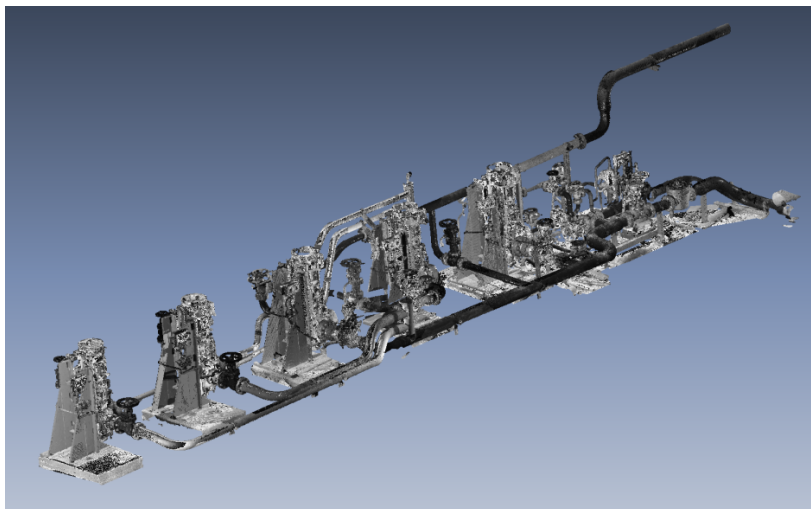


Рис. 2. Облако точек

На данном изображении (см. рис. 2) представлено облако точек насосного оборудования и технологического трубопровода, обслуживающих испытательный участок, в облегченном варианте. Здесь убраны стены, пол, потолок и прочие посторонние объекты, которые не входят в участок трубопровода подачи воды и не представляют интереса.

Представленное облако точек получено из 13 отдельно выполненных стоянок сканера и содержит около 50 млн точек.

На рис. 3 представлен результат обработки облака точек — твердотельная модель расположения трубопроводов и насосов. Имея модель, можно изменить трассы трубопроводов для обеспечения необходимых технических и эксплуатационных характеристик в целях выполнения испытаний новой арматуры.

Затем на основании имеющейся доработанной твердотельной 3D-модели разрабатываются эскизы для изготовления откорректированных участков трубопроводов (рис. 4).

При использовании лазерного сканирования трудоемкость разработки эскизов трассировки трубопроводов уменьшилась, а точность измерений оказалась на порядок выше традиционного метода замеров рулеткой.

Таким же образом это осуществляется и на АПЛ.

На головном объекте с использованием лазерного сканера фиксируются координаты расположения трубопроводов, кабельных трасс и оборудования. На основе полученной информации осуществляется разработка документации для строительства серийных заказов. В частности, выпущены альбомы координат размещения арматуры в помещениях объекта, по которым альбомам работают бригады. Получены положительные отзывы.

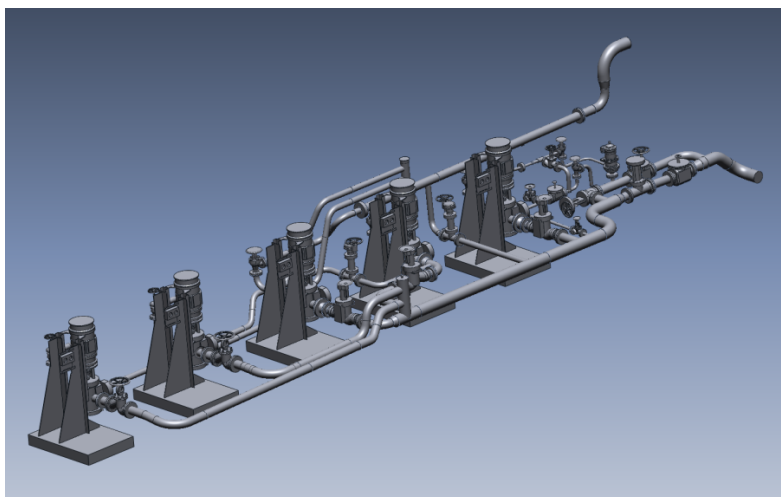


Рис. 3. Твёрдотельная модель

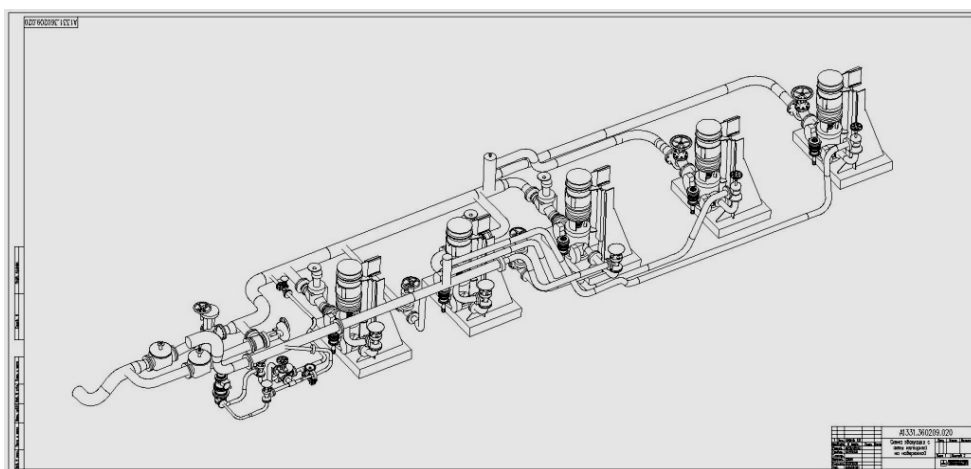


Рис. 4. Эскиз откорректированного участка трубопровода

В 2015 г. в качестве опытной работы для помещения одного из объектов с использованием технологии лазерного сканирования и 3D-моделирования разработана РКД на производство серийных заказов по фактическим координатам установки кабельных трасс.

По результатам опытной работы принято решение выполнить лазерное сканирование кабельных трасс в полном объеме заказа с целью корректировки РКД для строительства серийных кораблей проекта.

Подводя итог, можно сказать, что использование технологии реверс-инжиниринга при строительстве основных объектов имеет огромную перспективу, например:

- на основе лазерного сканирования можно получать 3D-модели помещений и выпускать документацию с точными координатами размещения трубопроводов и

оборудования для последующей модернизации и ремонта, или же переноса информации на серийное производство;

- поддержание рабочей 3D-модели помещений заказа в актуальном состоянии;
- получение электронных данных для автоматизированной гибки труб на станках с ЧПУ;

- проведение замеров в местах, где работа традиционными методами не представляется возможным без дополнительной технологической оснастки.

В настоящее время в АО «ПО «Севмаш» разрабатываются методики выполнения реверсного проектирования по различным специализациям, нарабатывается опыт промышленного использования современной техники и передовых технологий, использование которых уже в ближайшие годы даст возможность получить значительный экономический эффект.

## Reverse Engineering Using the Example of Developing a 3D-model of the Test Bench VNC

© | Dyatlev A.V.  
| Dzyunin G.R.

i.forge@rambler.ru  
feanor105@gmail.ru

JSCo «ПО «Sevmach"», Severodvinsk, 164500, Russian Federation

*The project was developed with the aim of obtaining a 3D model of premises based on laser scanning and issuing documentation with the exact coordinates of the location of pipelines and equipment for subsequent modernization and repair, or the transfer of information to mass production.*

**Keywords:** 3D-modeling, reverse engineering, laser scanning, 3D-technologies, shipbuilding, submarine, shipbuilding, scanner.

УДК 533.6.011.8

**Приближенный расчет термонапряжений в элементе  
конструкции высокоскоростного летательного аппарата**© Добрынина Александра Олеговна  
Шумаев Вячеслав Витальевичsanya-dobrynina@mail.ru  
shumaev@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Для заданных механических и тепловых воздействий на элемент конструкции летательного аппарата определяются поля термонапряжений. Для этого решается система уравнений термоупругости в квазистатической постановке с граничными условиями в общем виде. Приведены результаты расчета полей нормальных напряжений в оболочке из никель-хромового сплава, обтекаемой потоком воздуха, движущегося со скоростью  $M = 5$ . Вычисленные термонапряжения превышают предел прочности рассматриваемого материала.*

**Ключевые слова:** высокоскоростной летательный аппарат, температурное поле, температурные напряжения.

Поверхности высокоскоростных летательных аппаратов испытывают интенсивные тепловые потоки и, как следствие, сильный нагрев с большими перепадами температур [1], что приводит к возникновению температурных напряжений, которые важно учитывать при их проектировании.

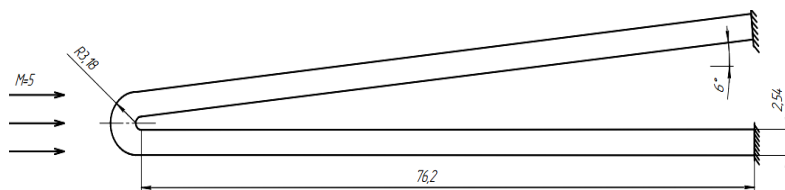
Математическая постановка задач такого класса сводится к численному решению системы уравнений термоупругости [2], что позволяет определить поля температур и перемещений, компоненты тензоров напряжений и деформаций в конструкционных элементах летательных аппаратов при соответствующих граничных и начальных условиях и заданных тепловых и механических воздействиях на эти конструкционные элементы.

В данной работе рассматривается следующая задача: оболочку с размерами, приведенными на рис. 1, обтекает воздух, движущийся со скоростью  $M = 5$ .

Задача рассматривается в двухмерной постановке и в установившемся режиме. Нагрев происходит за счет конвективного теплового потока, распределение которого по поверхности тела задано. Охлаждение происходит только за счет излучения со всей поверхности тела. Материал оболочки — никель-хромовый сплав. Оболочка

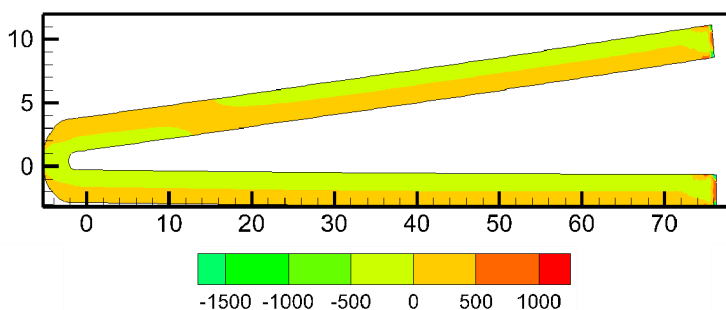
жестко заделана. Аэродинамические нагрузки учитываются в виде заданного распределения давления по поверхности тела [3].

Аналогичные задачи могут быть поставлены и решены и для вещества, находящегося в экстремальном состоянии или в сильном магнитном поле [4–12].

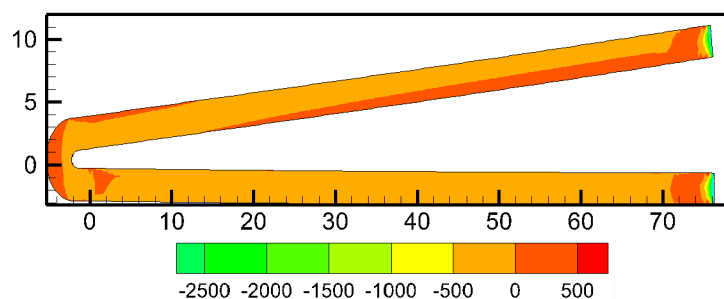


**Рис. 1.** Схема задачи по расчету температурных напряжений и деформаций в оболочке из никель-хромового сплава, обтекаемой газом, движущимся со скоростью  $M = 5$  (все размеры приводятся в миллиметрах)

Расчет проводился с помощью пакета конечно-элементного анализа ANSYS. Распределения нормальных напряжений по рассматриваемой оболочке приведено на рис. 2, 3.



**Рис. 2.** Распределение нормальных напряжений, Мпа, в горизонтальном направлении по оболочке, обтекаемой потоком воздуха, движущимся со скоростью  $M = 5$



**Рис. 3.** Распределение нормальных напряжений, Мпа, в вертикальном направлении по оболочке, обтекаемой потоком воздуха, движущимся со скоростью  $M = 5$



Из рис. 2, 3 видно, что наибольшее по модулю напряжение сконцентрировано вблизи заделки оболочки, при этом оно имеет значение, превышающее предел прочности рассматриваемого материала (320 МПа при 650 °С). Это позволяет сделать следующий вывод: элемент конструкции не выдерживает нагрузок при таких параметрах обтекания. В качестве возможных вариантов устранения этой проблемы можно рассмотреть применение другого материала (например, вольфрама), а также охлаждение данной оболочки изнутри.

*Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации (госзадание № 13.5240.2017/8.9).*

#### Литература:

- [1] Железнякова А.Л., Суржиков С.Т. На пути к созданию модели виртуального ГЛА. I. Москва, ИПМех РАН, 2013, 160 с.
- [2] Коваленко А.Д. Термоупругость. Киев, Вища школа, 1975, 216 с.
- [3] Pandey A.K., Dechaumphai P., Weiting A.R. Thermal-Structural Finite Element Analysis using Linear Flux Formulation. NASA Technical Memorandum 102746. 1990, 10 p.
- [4] Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V. Approximate method for calculating convective heat flux on the surface of bogiers of simple geometric shapes. Journal of Physics: Conference Series, 2017, vol. 815, issue 1, pp. 012024-8, Art. No. 012024. DOI: 10.1088/1742-6596/815/1/012124
- [5] Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V., Shumaev V.V. Application of Thomas – Fermi model to evaluation of thermodynamic proproties of magnetized plasma. Problems of Atomic Science and Technology, 2015, vol. 95, issue 1, pp. 97–99.
- [6] Кузенов В.В., Рыжков С.В. Отдельные элементы физико-математической модели гелий-конного разряда. Прикладная физика, 2015, № 2, с. 37–44.
- [7] Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V., Shumaev V.V. Numerical thermodynamic analysis of alloys for plasma electronics and advanced technologies. Problems of Atomic Science and Technology. 2015, vol. 98, issue 4, pp. 53–56.
- [8] Ryzhkov S.V. Current state, problems, and prospects of thermonuclear facilities based on the magneto-inertial confinement of hot plasma. *Problems of atomic science and technology*, 2010, no. 4 (7), pp. 105–110.
- [9] Костюков И.Ю., Рыжков С.В. Магнито-инерциальный ядерный синтез с лазерным обжатием замагниченной сферической мишени. *Прикладная физика*, 2011, № 1, с. 65–72.
- [10] Шумаев В.В. Расчет термодинамических функций плазмы алюминия для энергетических систем с высокой плотностью энергии. *Ядерная физика и инжиниринг*, 2016, № 5-6, с. 309–314.
- [11] Шумаев В.В., Рыжков С.В. Сравнение критериев зажигания D-T-мишени в условиях магнито-инерциального термоядерного синтеза. *Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2012, № 3. [Электрон. издание] <http://sntbul.bmstu.ru/doc/458155.html> (дата обращения 10.06.17).
- [12] Кузенов В.В., Лебо А.И., Лебо И.Г., Рыжков С.В. *Физико-математические модели и методы расчета воздействия мощных лазерных и плазменных импульсов на конденсированные и газовые среды*. Москва, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, 328 с.

## The Approximate Calculation of Thermal Stresses in the Structural Element of a High-speed Aircraft

© Dobrynina A.O.  
Shumaev V.V.

sanya-dobrynina@mail.ru  
shumaev@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*For given mechanical and thermal effects on the structural element of a high-speed aircraft, the distributions of thermal stresses are determined. For this purpose, a system of thermoelasticity equations is solved in a quasistatic formulation with boundary conditions in a general form. The results are the normal stress distributions in a shell of a nickel-chromium alloy flowed by a stream of air moving with a velocity  $M = 5$ . The calculated thermal stresses exceed the ultimate strength of the material.*

**Keywords:** high-speed aircraft, temperature field, temperature stresses.

УДК 05.13.11

## Методы визуализации многомерных данных при анализе однослойных углеродных нанотрубок

© Казаков Вадим Вячеславович  
Зинченко Людмила Анатольевна  
Цивинская Татьяна Анатольевна

kazakov.VADIM.2012@yandex.ru  
lzinchenko@bmstu.ru  
tsivinskaya\_t@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*При анализе сложных объектов с большим количеством параметров бывает недостаточно обычных средств визуализации. В данной работе, на примере анализа тепловых и электрических свойств углеродных нанотрубок использован метод параллельных координат и тепловые карты.*

**Ключевые слова:** когнитивные технологии, визуализация, углеродные нанотрубки.

**Введение.** С развитием технологий ученым приходится сталкиваться со все более сложными объектами изучения. Такие объекты могут иметь множество внутренних параметрических зависимостей. Для наших исследований мы выбрали однослойные углеродные нанотрубки (УНТ), которые характеризуются достаточно большим количеством различных параметров, таких как теплопроводность  $G$ , индексы хиральности  $m$  и  $n$ , диаметр  $D$ , электрические свойства (металлические или полупроводниковые) и др. Для эффективного анализа таких систем требуются новые, когнитивные подходы представления многомерных данных [1]. Программное обеспечение для аналитики тепловых свойств углеродных нанотрубок, представлено в [2]. Тепловые свойства нанотрубок, зависящие от хиральности, были рассмотрены в [3]. В этой работе мы используем оптимизированные тепловые карты и метод параллельных координат для работы с такими объектами.

На рис. 1 показано основное окно программы, оно делится на три секции: раздел с элементами управления; секция с диаграммой параллельных координат; секция с круговой тепловой картой. Тепловые карты дают нам полную картину распределения параметров во всем наборе данных и их кластеризации. Метод параллельных координат позволяет определить четкие взаимосвязи между параметрами. В этой работе мы используем диапазон диаметров УНТ от 8 нм до 8,2 нм.

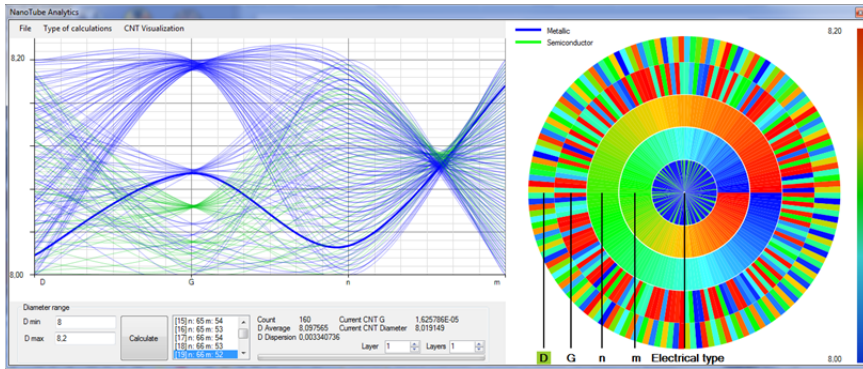


Рис. 1. Главное окно программы

**Параллельные координаты.** Основная проблема метода параллельных координат заключается в том, что данные могут быть расположены в разных диапазонах. Чтобы решить эту проблему, мы преобразовали все данные в один диапазон.

На рис. 2 изображено представление данных в виде параллельных координат с различными типами раскраски. На графике рис. 2, *a* раскраска зависит от диаметра УНТ, на рис. 2, *б* — от теплопроводности, на рис. 2, *в* — от индекса хиральности  $n$  и на рис. 2, *г* — от типа УНТ: металлический (зеленый) и полупроводниковый (синий).

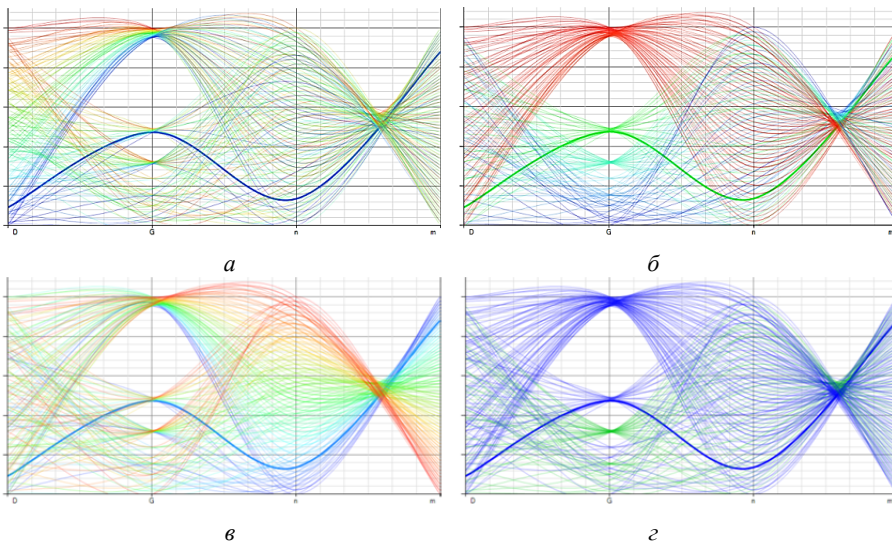
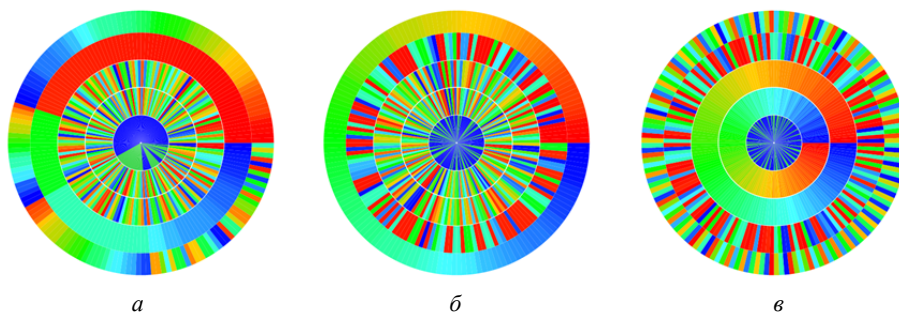


Рис. 2. Различные типы раскраски параллельных координат

**Тепловые карты.** Второй тип многомерного представления данных в нашей работе — это тепловые карты, их обычно используют, когда количество разных параметров коррелирует с количеством объектов. Однако в нашем случае количество объектов достаточно велико, и стандартные тепловые карты выглядят не информативно. Для решения этой проблемы мы решили использовать круговые тепловые карты.

На рис. 3 показаны тепловые карты с различной сортировкой: сортировка по теплопроводности (*а*), по диаметрам (*б*) и по индексу хиральности  $n$  (*в*).



**Рис. 3.** Представление данных тепловых карт с различными типами сортировки

**Заключение.** Разработанное программное обеспечение позволяет анализировать большой объем нанотрубок различного диаметра и выявлять закономерности в распределении их параметров. Данное программное обеспечение применяем не только для анализа УНТ, но и для экспериментов с различными типами визуализации и представления.

*Данная работа была частично поддержана грантом РФФИ 15-29-01115 офи-м.*

### Литература

- [1] Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezchikova E.V.: Simulation and Visualization in Cognitive Nanoinformatics. *Intern. J. Mathem. and Comp. Simul.*, 2014, no. 1, pp. 141–147.
- [2] Kazakov V., Verstov V., Zinchenko L., Makarchuk V. Visual Analytics Support for Carbon Nanotube Design Automation. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, vol. 449, pp. 71–78.
- [3] Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Makarchuk V.V., Rezchikova E.V., Kazakov V.V. Visual analytics in investigation of chirality-dependent thermal properties of carbon nanotubes. *J. Phys.: Conf. Series*, 2017, no. 1, p. 829.

## Methods for Visualization of Multidimensional Data in the Analysis of Carbon Nanotubes

© | Kazakov V.V.  
Zinchenko L.A.  
Tsivinskaya T.A.

kazakov.VADIM.2012@yandex.ru  
lzinchenko@bmstu.ru  
tsivinskaya\_t@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*When analyzing complex objects with a large number of parameters, conventional visualization tools are not enough. In this paper, using the analysis of the thermal and electrical properties of carbon nanotubes, we use the method of parallel coordinates and heat maps.*

**Keywords:** *cognitive technology, visualization, carbon nanotubes.*

УДК 004.942+534.1+629.7.06

## Исследование вибропрочности и виброустойчивости системы позиционирования

© | Косоруков Сергей Алексеевич

425ksa@mail.ru

АО «Государственный Рязанский приборный завод», Рязань, 390000, Россия

*Исследовано напряженно-деформированное состояние крепления датчиков позиционирования из состава системы позиционирования наشلемной системы целеуказания и индикации и дана оценка их виброустойчивости на наиболее вибрационно-нагруженных режимах полета вертолета.*

**Ключевые слова:** *наشلемная система целеуказания и индикации, система позиционирования, вибрация, вибропрочность, виброустойчивость.*

Базовой задачей наشلемных систем целеуказания и индикации (НСЦИ), все чаще применяемых в составе вертолетов, является определение угловых координат линии визирования летчика. Эта задача решается с помощью оптико-электронной системы позиционирования в состав которой входят датчики позиционирования, принимающие сигнал от реперных светодиодов, расположенных на установленном на защитном шлеме летчика, наشلемном модуле НСЦИ. Датчики позиционирования закрепляются с помощью системы кронштейнов на блоке индикатора лобового стекла (рис. 1). Таким образом, они являются жестко привязанными к фюзеляжу вертолета.

Одним из основных вредных воздействующих факторов в процессе полета вертолета является вибрация, которая может существенно ухудшить работу системы позиционирования. В качестве исходных параметров вибрации взяты данные натуральных измерений (измерительные датчики были установлены на блоке индикатора лобового стекла), выполненных АО «МВЗ им. М.Л. Миля» на различных режимах полета, а именно эквивалентные амплитуды виброускорений в  $[g]$  на частотах, наиболее

близких к собственным частотам узла датчиков системы позиционирования, т. е. тех, на которых с высокой вероятностью может возникнуть резонанс.

Параметрами, определяющими виброустойчивость системы позиционирования, являются следующие:

- линейное смещение точки, расположенной на пересечении оси объектива датчиков позиционирования и приемной поверхности матрицы-сенсора (точка  $A$ , см. рис. 2). При этом наиболее критичной является проекция  $L_{xy}$  линейного смещения  $L$  на плоскость  $XU$  расчетной системы координат (см. рис. 1).
- угловое смещение оси объектива датчиков позиционирования от первоначального положения (угол  $\alpha$ ).

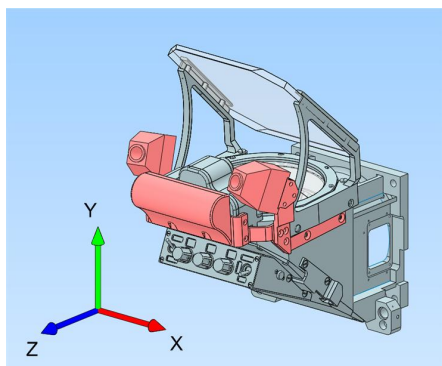


Рис. 1

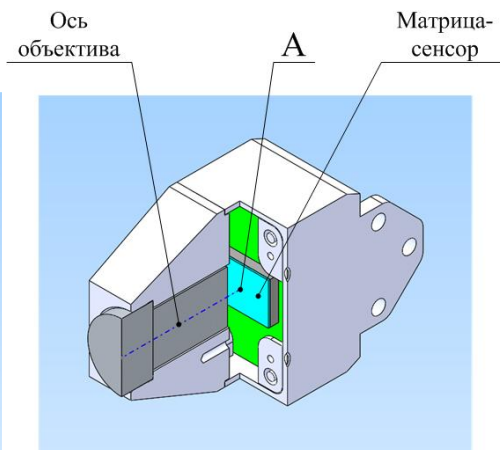


Рис. 2

Приведем допустимые значения этих параметров: амплитуда смещения  $L_{xy}$  точки  $A$  — не более 0,7 мм, амплитуда изменения угла  $\alpha$  — не более  $0,5^\circ$ . Помимо соблюдения вышеуказанных параметров необходимо, чтобы максимальные напряжения, возникающие в процессе работы в деталях узла крепления датчиков позиционирования не превышали допустимых.

В результате исследования выяснилось, что возникающие напряжения не превышают допустимых, но при этом полученные значения параметров, которые определяют виброустойчивость, выходят за заданные пределы. Таким образом, получается, что требование вибропрочности при данной конструкции выполняется, в то время как требование виброустойчивости нарушается. Отсюда следует вывод о том, что необходимо повышать жесткость узла крепления датчиков позиционирования. Это можно сделать путем изменения расположения точек крепления, а также путем изменения геометрической формы кронштейнов и/или с помощью применения более прочных и жестких материалов.

### Литература

- [1] Пановко Я.Г. *Основы прикладной теории колебаний и удара*. Ленинград, Машиностроение, 1976, 320 с.
- [2] Тимошенко С.П. *Прочность и колебания элементов конструкций*. Москва, Наука, 1975, 704 с.

- [3] *Прочность, устойчивость, колебания*: справочник в 3 т. / под ред. И.А. Биргера, Я.Г. Пановко. Москва, Машиностроение, 1968, т. 3, 567 с.
- [4] Петрухин В.В., Петрухин С.В. *Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации*: учеб. пособие. Москва, Инфра-Инженерия, 2010, 176 с.
- [5] *Конструкционные материалы*: справочник / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. Москва, Машиностроение, 1990, 688 с. (Основы проектирования машин).
- [6] Белецкий В.М., Кривов Г.А. *Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение)*: справочник / под общ. Ред. И.Н. Фридляндера. Киев, КОМИНТЕХ, 2005. 365 с.

## Research of Positioning System's Vibration Strength and Vibration Proper Functioning

© | Kosorukov S.A.

425ksa@mail.ru

Ryazan state instrument-making enterprise, Ryazan, 390000, Russia

*The Research of the stress-strain state of the mounting of positioning sensors (PS) from the positioning system's (PS) structure of the helmet mounted display system (HMDS) and the assessment of PS HMDS's vibration proper functioning on the most vibrational-weighted regimes of helicopter's flight are considered.*

**Keywords:** *HMDS, positioning system, vibration, vibration strength, vibration proper functioning.*

УДК 629.02

## Моделирование клиноременного вариатора с помощью программного обеспечения САПР

© | Стариков Алексей Игоревич

alexigorevich@mail.ru

Лукьянов Александр Сергеевич

Московский политехнический университет, Москва, 107023, Россия

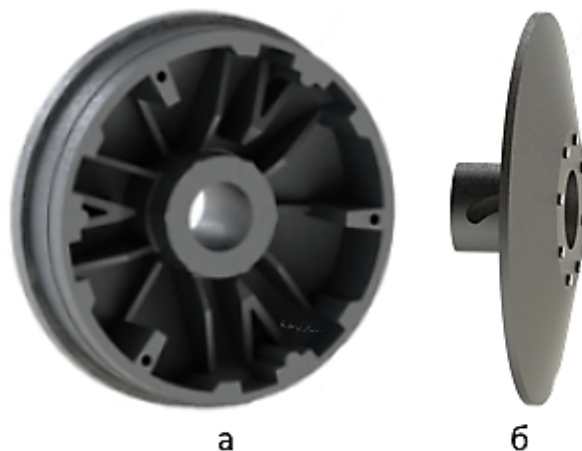
*В системах автоматизированного проектирования 3D-моделирование широко применяется для создания визуальных образов деталей машин. Модель, подготовленная в системах автоматизации, представляет собой точный цифровой 3D-образ изделия. Благодаря этому снижается потребность в изготовлении физических опытных образцов.*

**Ключевые слова:** *эскиз, модель, сборка, вариатор, шкив, ведущий, ведомый.*

Внедрение системы автоматизированного проектирования (САПР) в сфере машиностроения приобретает в настоящий момент особую актуальность. Технологии 3D-моделирования позволяют визуализировать изделие/объект до создания чертежей или опытных образцов. В созданную 3D-модель можно неоднократно вносить изме-

нения с целью достижения нужных технических характеристик, что значительно упрощает нахождение и исправление недочетов разрабатываемого изделия, а также позволяет экономить временные и денежные затраты. Анализ виртуальных моделей позволяет проработать множество вариантов построения конструкций изделия и выбрать из них наиболее оптимальное [1, 2].

В программном обеспечении САПР строим эскизы деталей ведущего и ведомого шкива клиноременного вариатора (КВ) по размерам натурального образца. Далее 2D-эскизы переводим в 3D-модель отдельных деталей (рис. 1) шкивов вариатора [3].



**Рис. 1.** Детали ведущего шкива:

*а* — подвижный диск ведущего шкива; *б* — подвижный диск ведомого шкива

Сделав сборку из отдельно построенных деталей и установив взаимосвязи между деталями, получаем рабочую 3D-модель клиноременного вариатора. После этих операций при перемещении подвижного диска ведущего шкива центробежные грузы находятся в определенном положении на кривой, параллельно происходит перемещение подвижного диска ведомого шкива и связанного с ним клинового механизма и пружины.

Разделив перемещение подвижного диска ведущего шкива вариатора на равные части, получим несколько рабочих положений. Для этого при построении взаимосвязи зададимся перемещением подвижного диска ведущего шкива относительно неподвижного. Для каждого положения создаем чертеж данной модели. При внесении изменений на 3D-сборке деталей или общей сборке происходят изменения и в самих 2D-чертежах. Например, далее приведен случай разделения перемещения подвижного диска на шесть положений. Впоследствии для расчета мы можем использовать 2D-чертежи каждого положения перемещения диска с нанесенными на нем необходимыми размерами (рис. 2).

Если совместить все шесть положений, можно увидеть изменение диаметра расположения ремня на шкивах вариатора, перемещение подвижных дисков, центробежных грузов (роликов) на ведущем шкиве, положение клинового механизма и пружины (на рис. 2 не указано) на ведомом шкиве (рис. 3).



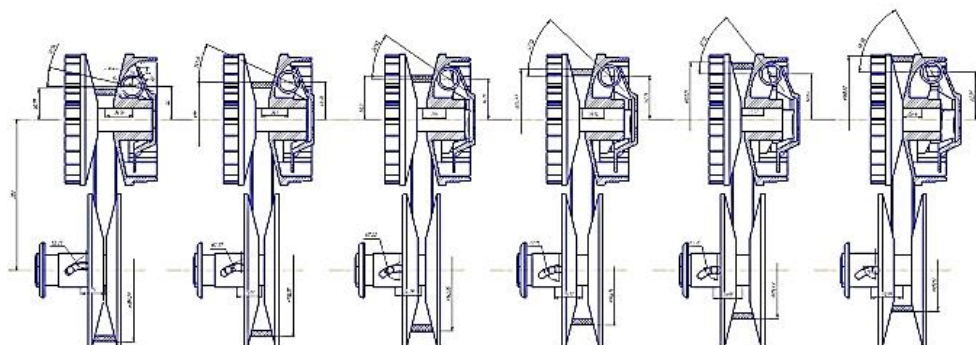


Рис. 2. 2D-чертежи шксти рабочих положений вариатора

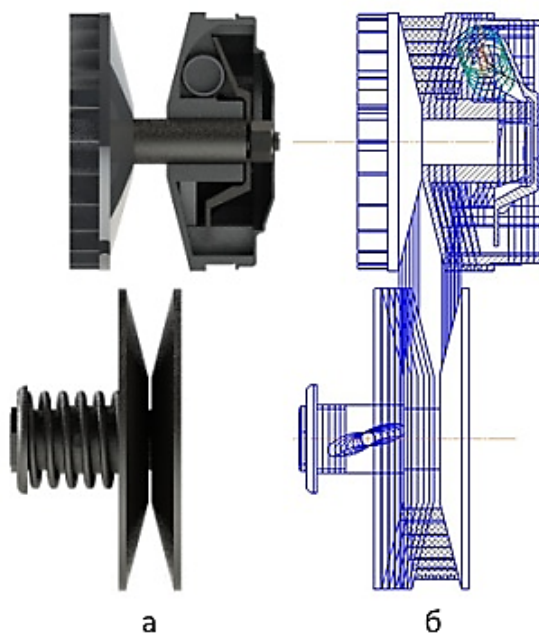


Рис. 3. *а* — 3D-модель шкивов вариатора;  
*б* — совмещение шести положений 2D-чертежа

С использованием САПР для 2D- и 3D-моделирования деталей машин возможно проработать сложные системы без затрат на натурные образцы, в том числе на моделирование и испытания. После соответствующих расчетов и проверок, построенную в программном обеспечении модель клиноременного вариатора можно подать на изготовление [4].

#### Литература

- [1] Дмитриева Л.А., Чихачева О.А., Лукьянов А.С. Компьютерное моделирование при изучении дисциплины «Детали машин и основы конструирования». *Матер. конф. "Science,*

*Technology and Life — 2015*”, Czech Republic, Karlovy Vary — Russia, Moscow, 24–25 December 2015, с. 401–405.

- [2] Стариков А.И., Лукьянов А.С., Дмитриева Л.А. Конструктивные изменения в силовой установке мотовездехода, позволяющие определить основные параметры и качественные характеристики работы клиноременного вариатора. *Сб. трудов VIII Всерос. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России»*. Москва, 23–26 сентября 2015 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, с. 573–577.
- [3] Дмитриева Л.А. Трехмерное моделирование червячного редуктора при изучении дисциплины «Детали машин и основы конструирования». Сбор. статей Междунар. науч.-практ. конф. «Закономерности и тенденции развития науки в современном обществе», 2016, Тюмень, с. 118–121.
- [4] Лукьянов А.С., Дмитриева Л.А., Стариков А.И. Новые варианты компоновочных схем цилиндрических зубчатых двухступенчатых редукторов». Сбор. статей Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные технологии научного развития», 2017, Казань, с. 93–96.

## The CAD-system Software for the V-belt CVT-modeling

© | Starikov A.I.  
| Lukyanov A.S.

alexigorevich@mail.ru

Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russia

*3D-modeling is widely used in the CAD systems for creating the visual samples of details of cars. The model in the CAD systems represents the true digital 3D-image of a product. The need for making the physical prototypes is reduced due to this.*

**Keywords:** *sketch, model, assembly, variator, pulley, leading, slave.*

УДК 614.8.084

## Регрессионные модели для выбора оптимального средства воспроизведения информации в интерактивных электронных технических руководствах

© | Варнавский Александр Николаевич

varnavsky\_alex@rambler.ru

Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань, 390005, Россия

*Рассмотрена задача персонализированного подхода к воспроизведению информации в интерактивных электронных технических руководствах с помощью видеоплеера или очков виртуальной реальности. Наряду с психофизиологическим тестированием проведен эксперимент по оценке эффективности просмотра видеороликов на персональном компьютере и в среде виртуальной реальности. Построены регрессионные модели, связывающие показатели эффективности просмотра с психофизиологическими показателями пользователей.*

**Ключевые слова:** интерактивное электронное техническое руководство, воспроизведение информации, виртуальная реальность, видеоролик, индивидуальные психофизиологические характеристики, психофизиологическое тестирование, восприятие, запоминание, линейная регрессия.

Интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР) являются неотъемлемым элементом современных систем технической эксплуатации сложных наукоемких изделий [1], они позволяют получить справочную и описательную информацию об эксплуатационных и ремонтных процедурах, связанных с изделием, и применяются в следующих областях: обучение персонала правилам эксплуатации и ремонта изделия; обеспечение справочным материалом об устройстве и принципах работы изделия; обеспечение персонала справочным материалом по эксплуатации изделия и регламентным работам; обеспечение персонала справочным материалом по ремонту изделия; обеспечение информацией о проведении операций с изделием (необходи-

мый инструмент и материалы, численность и квалификация персонала); диагностика оборудования и поиск неисправностей; автоматизированный заказ материалов и запасных частей; планирование и учет проведения регламентных работ; обмен данными между потребителем и поставщиком изделий [2].

От того, как выполнено ИЭТР, зависит восприятие информации, время на ее изучение, качество усвоения материала. На восприятие информации также влияет текущее психоэмоциональное состояние пользователя и его индивидуальные особенности и характеристики [3]. В этой связи актуальной является задача разработки персонализированных способов и средств предоставления информации пользователю с учетом его показателей.

Традиционным средством представления информации в ИЭТР являются интерактивные видеоролики, проигрываемые на персональном компьютере (ПК). Сейчас активно развивается направление использования виртуальной реальности (VR) для обучения и визуализации [4, 5]. При этом необходимо учитывать, что любая информационная среда является фактором риска, приводя к негативному изменению функционального состояния головного мозга и психики пользователя при работе с этой средой [6].

Целью работы является разработка регрессионных моделей для выбора оптимального средства (ПК или VR) для воспроизведения информации в ИЭТР. При этом критерием оптимальности является максимизация эффективности восприятия и запоминания информации пользователем с учетом его психофизиологических характеристик.

Для достижения поставленной цели был проведен эксперимент, заключающийся в просмотре испытуемыми в очках VR и на ПК видеороликов, на которых показан процесс настройки, работы и завершения работы химического реактора. По результатам просмотра испытуемому необходимо было запомнить команды реактору и показания индикаторов в контрольные моменты времени. В результате определялись следующие показатели:  $Ncom1$  — процент верно воспроизведенных команд после просмотра видеоролика на ПК;  $Nind1$  — процент верно воспроизведенных показателей индикаторов в контрольные моменты времени после просмотра видеоролика на ПК;  $Ncom2$  — процент верно воспроизведенных команд после просмотра видеоролика в среде VR;  $Nind2$  — процент верно воспроизведенных показателей индикаторов в контрольные моменты времени после просмотра видеоролика в среде VR.

Перед началом эксперимента проводили психофизиологическое тестирование, по результатам которого оценивали показатели оперативной памяти ( $mem$ ), уровня логического мышления ( $iq$ ) и отношение значения преобладания визуального канала восприятия информации к значению преобладания аудиального канала восприятия информации ( $va$ ).

Проведен регрессионный анализ и построены математические модели, связывающие показатели эффективности просмотра  $Ncom1$ ,  $Nind1$ ,  $Ncom2$ ,  $Nind2$  с психофизиологическими показателями пользователей  $mem$ ,  $iq$ ,  $va$ :

$$Nind1 = a_1 \cdot mem + a_2 \cdot va,$$

где  $a_1 > 0$ ,  $a_2 > 0$  и  $R^2 = 0,9593$  ( $F(2, 19) = 224$ ,  $p < 0,001$ );

$$Ncom1 = a_3 \cdot va,$$

где  $a_3 > 0$  и  $R^2 = 0,8845$  ( $F(1, 20) = 153,2$ ,  $p < 0,001$ );

$$Nind2 = a_4 \cdot tem,$$

где  $a_4 > 0$  и  $R^2 = 0.8754$  ( $F(1, 20) = 140,5, p < 0,001$ );

$$Ncom2 = a_5 \cdot tem^3 + a_6 \cdot iq^4,$$

где  $a_5 > 0, a_6 > 0$  и  $R^2 = 0,9566$  ( $F(2, 19) = 209,5, p < 0,001$ ).

Зная  $tem, iq, va$  и применяя данные модели, можно оценить насколько для данного пользователя будет эффективна работа с информацией с использованием того или иного средства воспроизведения.

Таким образом, с помощью данных моделей можно персонализированно подойти к выбору оптимального средства для представления информации в ИЭТР с учетом психофизиологических показателей и характеристик пользователей.

### Литература

- [1] Бром А.Е., Колобов А.А., Омельченко И.Н. *Интегрированная логистическая поддержка жизненного цикла наукоемкой продукции*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, 296 с.
- [2] Судов Е.В. *Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения*. Москва, ООО Издательский дом «Информбюро», 2006, 232 с.
- [3] Варнавский А.Н., Калинина С.И. Управление оптимальным представлением информации в интерактивных электронных технических руководствах. Сбор. тр. VII Всерос. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», Москва, 2014, с. 432–433.
- [4] Селиванов В.В., Селиванова Л.Н. Виртуальная реальность как метод и средство обучения. *Образовательные технологии и общество*, 2014, № 3, с. 378–391.
- [5] Третьякова Т.П. Аспекты применения технологии «Виртуальная реальность» в системе профессионального образования. *Вектор науки ТГУ*, 2010, № 2, с. 205–208.
- [6] Ежевская Т.И. Психологическое воздействие информационной среды на современного человека. *Психологические аспекты напряженности и конфликтологии*, 2009.

## Regression Models for Selecting the Optimal Means of Information Reproduction in Interactive Electronic Technical Manuals

© | Varnavsky A.N.

varnavsky\_alex@rambler.ru

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, 390005, Russia

*The problem of the personified approach to information reproduction in interactive electronic technical manuals with the help of a video player and virtual reality glasses is considered. Along with psychophysiological testing, an experiment was conducted to evaluate the effectiveness of watching videos on a personal computer and in a virtual reality environment. Regression models are constructed, linking the performance of viewing with the psychophysiological indicators of users.*

**Keywords:** *interactive electronic technical manuals, information reproduction, virtual reality, video, individual psychophysiological characteristics, psychophysiological testing, perception, memorization, linear regression.*

УДК 658.51

## Геометрическое моделирование интегрирующий фактор подготовки машиностроителя

© | Журбенко Павел Александрович  
| Гузненков Владимир Николаевич

wln83@mail.ru  
vn@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены вопросы геометрического моделирования, создания трехмерных геометрических моделей. Представлена стратегия построения электронных геометрических моделей деталей. Разработан учебный процесс по геометро-графическим дисциплинам на базе Autodesk Inventor, SolidWorks и Компас.*

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, системы автоматизированного проектирования, электронная геометрическая модель детали.

В соответствии со стратегией поддержки жизненного цикла изделий (PLM-технологии (Product Lifecycle Management)) и развитием электронного документооборота разрабатываются и утверждаются новые государственные стандарты Единой системы конструкторской документации (ЕСКД): ГОСТ 2.051–2013 ЕСКД «Электронные документы. Общие положения»; ГОСТ 2.052–2006 ЕСКД «Электронная модель изделия. Общие положения»; ГОСТ 2.053–2013 ЕСКД «Электронная структура изделия. Общие положения»; ГОСТ 2.054–2013 ЕСКД «Электронное описание изделия. Общие положения»; ГОСТ 2.055–2014 ЕСКД «Электронная спецификация. Общие положения»; ГОСТ 2.056–2014 ЕСКД «Электронная модель детали. Общие положения»; ГОСТ 2.057–2014 ЕСКД «Электронная модель сборочной единицы. Общие положения»; ГОСТ 2.511–2011 ЕСКД «Правила передачи данных электронных документов. Общие положения»; ГОСТ 2.512–2011 ЕСКД «Правила выполнения пакета данных для передачи электронных документов. Общие положения»; ГОСТ 2.611–2011 ЕСКД «Электронный каталог изделий. Общие положения»; ГОСТ 2.612–2011 ЕСКД «Электронный формуляр. Общие положения»; ГОСТ 2.102–2013 ЕСКД «Виды и комплектность конструкторских документов»; ГОСТ 2.104–2006 ЕСКД «Основные надписи».

В этих государственных стандартах заложена электронная информационная модель изделия. Форму изделия определяет электронная геометрическая модель изделия. Таким образом, начальный (единичный) элемент конструкторского проектирования — электронная геометрическая модель детали (ЭГМД). Из этого следует, что компьютерное геометрическое моделирование должно составлять основу геометро-графической подготовки в техническом университете [1].

Таким образом, геометрическому моделированию необходимо уделять достаточно внимания уже на первых курсах технического университета [2]. Учебная дисциплина «Начертательная геометрия» содержит теорию геометрического моделирования [3]. Практические навыки построения ЭГМД студенты приобретают при изучении дисциплины «Компьютерная графика» [4]. Предметная область учебной дисциплины «Инженерная графика» — выполнение графической документации [5].

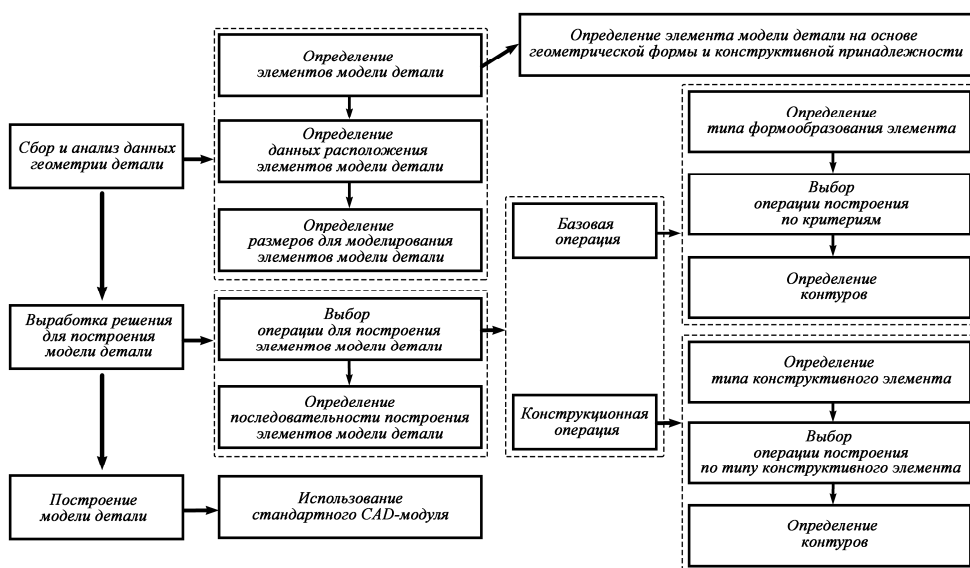
При создании ЭГМД необходимо выдержать следующее ограничение: модель детали должна быть редактируемой, т. е. внесение изменений в одну или несколько

размерных зависимостей должно приводить к предсказуемому изменению геометрической формы модели детали. Это ограничение обеспечивает возможность внесения корректных изменений в геометрию детали на любой стадии проектирования.

Таким образом, маршрут построения ЭГМД (этапы построения) имеет вид:

- разбиение детали на элементы, из которых может состоять модель детали;
- определение расположения элементов относительно основных рабочих плоскостей;
- определение размеров для моделирования элементов модели детали;
- выбор операций для построения элементов модели детали и определение контуров для каждого элемента;
- определение последовательности построения элементов модели детали и количества используемых тел [6].

Системы автоматизированного проектирования позволяют выполнять задачи создания электронных геометрических моделей деталей, используя различные варианты построения. При этом можно обобщить возможные варианты построения и представить их в виде структурной схемы, которая отражает стратегию построения электронных геометрических моделей деталей (см. рисунок). При этом не имеет значения, в какой системе автоматизированного проектирования (Autodesk Inventor, SolidWorks, Компас) выполняется построение ЭГМД.



Стратегия построения электронных геометрических моделей деталей

Идеология построения ЭГМД и сами модели, созданные студентами на младших курсах, используются в дальнейшем при обучении на общеобразовательных и выпускающих кафедрах университета. Приобретенные компетенции работы в системах автоматизированного проектирования используются выпускниками технического университета — машиностроителями в их дальнейшей профессиональной деятельности.

Новая современная технология обучения студентов (будущих машиностроителей) геометрическому моделированию на младших курсах получила положительную оценку выпускающих кафедр МГТУ им. Н.Э. Баумана и была высоко оценена представителями промышленности [7].

### Литература

- [1] Гузненков В.Н., Журбенко П.А. Модель как ключевое понятие геометро-графической подготовки. *Alma mater (Вестник высшей школы)*, 2013, № 4, с. 82–87.
- [2] Горшков Г.Ф. Графические основы геометрического моделирования: учеб. пособие / Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Московский гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики (технический ун-т)». Москва, МИРЭА, 2009, 154 с.
- [3] Гузненков В.Н. Геометро-графическое образование в техническом университете. *Alma mater (Вестник высшей школы)*, 2014, № 10, с. 71–75.
- [4] Гузненков В.Н., Серегин В.И., Журбенко П.А. Учебная дисциплина «Компьютерная графика». *Международный научно-исследовательский журнал*, 2015, № 6-4 (37), с. 16–18.
- [5] Гузненков В.Н., Якунин В.И. Принципы формирования структуры и содержания геометро-графической подготовки. *Стандарты и мониторинг в образовании*, 2013, т. 1, № 6, с. 34–39.
- [6] Гузненков В.Н., Журбенко П.А., Винцулина Е.В. *Autodesk Inventor 2016. Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей*: учеб. пособие. Москва, ДМК Пресс, 2017, 124 с.
- [7] Якунин В.И., Гузненков В.Н., Журбенко П.А., Осипук А.А. Методы классической прикладной геометрии в техническом применении. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2016, № 6–5 (48), с. 114–119.

## Geometric Modeling Integrating Factor Preparation Machinist

© Zhurbenko P.A.  
Guznenkov V.N.

wln83@mail.ru  
vn@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Questions of geometric modeling, creation of three-dimensional geometric models are considered. The strategy of constructing electronic geometric models of parts is presented. The educational process on geometric-graphic disciplines on the basis of Autodesk Inventor, SolidWorks and Compass was developed.*

**Keywords:** *geometric modeling, computer-aided design systems, electronic geometric model of a detail.*



УДК 004.358

## Идентификация и аутентификация при запуске приложений

© | Комкова Ольга Евгеньевна  
| Быков Александр Юрьевич

olyaamh@mail.ru  
abykov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены вопросы защищенности открытых каналов передачи данных. Проведен анализ различных методов системы идентификации и аутентификации с подробной характеристикой каждого из них. Сделан вывод о том, что к выбору систем идентификации и аутентификации необходимо подходить комплексно, учитывая стоимостные, количественные и другие показатели. На основе комплексного анализа разработан пошаговый алгоритм выбора метода аутентификации и предложена программа для определения этого метода аутентификации по заданным условиям.*

**Ключевые слова:** идентификация, аутентификация, информационная безопасность, защита информации

В настоящее время применение открытых каналов передачи данных создает потенциальные возможности для действий злоумышленников и нарушителей. Таким образом, одной из важных задач, стоящей перед специалистами по информационной безопасности, является обеспечение методами и средствами при взаимодействии пользователей, позволяющими одной (проверяющей) стороне убедиться в подлинности другой (проверяемой) стороны. Прежде чем получить доступ к ресурсам компьютерной или иной системы, пользователь должен пройти процесс первичного взаимодействия, который включает идентификацию и аутентификацию [1].

Данные процессы являются важными взаимосвязанными процедурами распознавания и проверки подлинности субъектов. Именно от них напрямую зависит последующее решение системы о том, можно ли разрешить доступ к ресурсам конкретному пользователю. Поэтому, создание программы, посвященной оптимизации выбора метода аутентификации при определенных условиях является особенно актуальной. Целью данной работы является разработка приложения для получения подходящего заданной ситуации результата для его последующего результативного применения.

Необходимый уровень аутентификации определяется требованиями безопасности, которые установлены в организации [2]. Общедоступные Web-серверы могут разрешить анонимный или гостевой доступ к информации. Финансовые транзакции могут потребовать строгой аутентификации. Примером слабой формы аутентификации может служить использование IP-адреса для определения пользователя. Подмена IP-адреса может легко разрушить этот механизм аутентификации. Надежная аутентификация является тем ключевым фактором, который гарантирует, что только авторизованные пользователи получают доступ к контролируемой информации.

При защите каналов передачи данных должна выполняться взаимная аутентификация субъектов, т. е. взаимное подтверждение подлинности субъектов, связывающихся между собой по линиям связи. Процедура подтверждения подлинности выполняется обычно в начале сеанса в процессе установления соединения абонентов.

Для подтверждения своей подлинности субъект может предъявлять системе разные сущности [3], в зависимости от которых процессы аутентификации могут быть разделены на следующие категории:

- на основе знания чего-либо (пароль, персональный идентификационный код PIN (Personal Identification Number), а также секретные и открытые ключи, знание которых демонстрируется в протоколах типа запрос — ответ);

- на основе обладания чем-либо (магнитные карты, смарт-карты, сертификаты и устройства touch memory);

- на основе каких-либо неотъемлемых характеристик (эта категория включает методы, базирующиеся на проверке биометрических характеристик пользователя (голос, радужная оболочка и сетчатка глаза, отпечатки пальцев, геометрия ладони и др.); в данной категории не используются криптографические методы и средства).

- по уровню обеспечиваемой безопасности.

В соответствии с данным подходом процессы аутентификации в свою очередь разделяются на несколько типов:

- аутентификация, использующая пароли и PIN-коды;

- строгая аутентификация на основе использования криптографических методов и средств;

- процессы (протоколы) аутентификации, обладающие свойством доказательства с нулевым знанием;

- биометрическая аутентификация пользователей.

С точки зрения безопасности каждый из перечисленных типов способствует решению своих специфических задач, поэтому процессы и протоколы аутентификации активно используются на практике. В то же время следует отметить, что интерес к протоколам аутентификации, обладающим свойством доказательства с нулевым знанием, носит скорее теоретический, нежели практический характер, но, возможно, в будущем их начнут активно использовать для защиты информационного обмена.

Основными видами атак на протоколы аутентификации являются:

- маскарад (impersonation) — здесь пользователь пытается выдать себя за другого с целью получения полномочий и возможности действий от лица другого пользователя;

- подмена стороны аутентификационного обмена (interleaving attack) — здесь злоумышленник участвует в процессе аутентификационного обмена между двумя сторонами с целью модификации проходящего через него трафика;

- повторная передача (replay attack) — повторная передача аутентификационных данных каким-либо пользователем;

- принудительная задержка (forced delay) — злоумышленник перехватывает некоторую информацию и передает ее спустя некоторое время;

- атака с выборкой текста (chosen-text attack) — злоумышленник перехватывает аутентификационный трафик и пытается получить информацию о долговременных криптографических ключах.

Для предотвращения таких атак при построении протоколов аутентификации применяют некоторые приемы:

- использование механизмов типа запрос-ответ, меток времени, случайных чисел, идентификаторов, цифровых подписей;

- привязка результата аутентификации к последующим действиям пользователей в рамках системы; примером подобного подхода может служить осуществление в

процессе аутентификации обмена секретными сеансовыми ключами, которые используют при дальнейшем взаимодействии пользователей;

- периодическое выполнение процедур аутентификации в рамках уже установленного сеанса связи и т. п.

При сравнении и выборе протоколов аутентификации необходимо учитывать следующие характеристики:

- наличие взаимной аутентификации — это свойство отражает необходимость обоюдной аутентификации между сторонами аутентификационного обмена;

- вычислительную эффективность — количество операций, необходимых для выполнения протокола;

- коммуникационную эффективность — данное свойство отражает количество сообщений и их длину, необходимую для осуществления аутентификации;

- наличие третьей стороны, примером которой может служить доверенный сервер распределения симметричных ключей или сервер, реализующий дерево сертификатов для распределения открытых ключей;

- гарантии безопасности, например, шифрование и цифровые подписи.

Современные системы идентификации и аутентификации (СИА) по виду используемых идентификационных признаков, разделяются на электронные, биометрические и комбинированные [4]. В электронных СИА идентификационные признаки представляются в виде цифрового кода, хранящегося в памяти идентификатора. В биометрических СИА идентификационными признаками являются индивидуальные особенности человека, называемые биометрическими характеристиками. В комбинированных СИА для идентификации используется одновременно несколько идентификационных признаков [5]. Такая интеграция позволяет воздвигнуть перед злоумышленником дополнительные преграды, которые он не сможет преодолеть, а если и сможет, то со значительными трудностями.

По способу обмена данными между идентификатором и устройством ввода-вывода электронные СИА подразделяют на контактные и бесконтактные. Контактное считывание идентификационных признаков подразумевает непосредственное соприкосновение идентификатора с устройством ввода-вывода. Бесконтактный (дистанционный) способ обмена данными не требует четкого позиционирования идентификатора и устройства ввода-вывода. Чтение или запись данных происходит при поднесении идентификатора на определенное расстояние к устройству ввода-вывода.

Основными элементами электронных контактных и бесконтактных смарт-карт и USB-ключей являются одна или более встроенные интегральные микросхемы (чипы), которые могут представлять собой микросхемы памяти, микросхемы с жесткой логикой и микропроцессоры (процессоры). В настоящее время наибольшей функциональностью и степенью защищенности обладают идентификаторы с процессором.

Выбор СИА целесообразно проводить путем сравнения наиболее важных характеристик изделий:

- структура идентификатора;
- структура и состав устройства ввода-вывода;
- надежность изделия;
- интеграция с системами защиты информации (СЗИ);
- стоимость изделия.

Основными методами аутентификации являются:

- аутентификация на основе паролей (одно- и многоцветных);
- аутентификация с использованием электронной цифровой подписи;
- аутентификация с помощью SMS [6];

- аутентификация через географическое местоположение, посредством GPS;
- биометрическая аутентификация пользователя.

Алгоритм выбора метода аутентификации можно назвать в терминах теории классификации алгоритмом минимального удаления от эталона класса с пороговыми ограничениями.

Изучив и проанализировав основные способы аутентификации и идентификации, можно сделать следующие выводы: существует несколько способов защиты приложений. Поэтому к выбору систем идентификации и аутентификации необходимо подходить комплексно, учитывая стоимостные, количественные и другие показатели. В работе на основе комплексного анализа был разработан пошаговый алгоритм выбора метода аутентификации и предложена программа для определения метода аутентификации по заданным условиям. Программа написана на языке программирования Java. Использование данной программы позволит быстро выбрать наиболее оптимальный способ защиты информации для данных условий.

### Литература

- [1] Басараб М.А., Строганов И.С. Обнаружение аномалий в информационных процессах на основе мультифрактального анализа. *Вопросы кибербезопасности*, 2014, № 4 (7), с. 30–40.
- [2] Цибизова Т.Ю., Слепцова К.А. Автоматизированная система учета данных внутрикорпоративной сети управления информацией. *Современные проблемы науки и образования*, 2015, № 1-1, с. 429.
- [3] Слепцова К.А., Комков А.Е., Кузовлев В.И. Представление и обработка информационных ресурсов для управления деятельностью предприятия. *Современные наукоемкие технологии*, 2016, № 4-1, с. 57–61.
- [4] Троицкий И.И., Басараб М.А., Матвеев В.А. Использование двух каналов передачи информации для решения задачи распознавания дискретного сигнала в аддитивном шуме. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2015, № 4 (103), с. 106–112.
- [5] Цибизова Т.Ю. Методы идентификации нелинейных систем управления. *Современные проблемы науки и образования*, 2015, № 1-1, с. 109.
- [6] Шафер А.Е., Черников А.В. Двухфакторная аутентификация с использованием СМС-сервиса. *Вестник Пермского университета. Сер. Математика. Механика. Информатика*, 2015, № 1 (28), с. 79–85.

## Identification AND Authentication at the Starting Of Annexes

© Komkova O.E.  
Bykov A.Y.

olyaamh@mail.ru  
abykov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article discusses the security of open data transmission channels. The analysis of various methods of the identification and authentication system with detailed characteristics of each of them was carried out. It was concluded that the choice of identification and authentication systems should be approached in a comprehensive manner, taking into account the cost, quantitative and other indicators. In work on the basis of complex analysis, a step-by-step algorithm for choosing the authentication method was developed and a program was proposed for determining the method of authentication according to specified conditions.*

**Keywords:** *identification, authentication, information security, information protection*

УДК 536.24

## Экспериментальное исследование динамики температуры металлического стержня

©	Кашкан Михаил Александрович	kashkan92@tut.by
	Морозова Мария Петровна	maria.morozova9@mail.ru
	Стаблевский Владислав Андреевич	hryniukda@gmail.com
	Гринюк Дмитрий Анатольевич	d_a_n_t_e@tut.by

Белорусский государственный технологический университет, Минск, 220006, Беларусь

*С целью исследования динамики распределенных систем был разработан стенд исследования температурных полей на базе платы Arduino. Использование нескольких датчиков температуры позволило восстанавливать в динамике распределения температуры по длине. Наличие двух каналов управления дало возможность получить их сравнительный анализ.*

**Ключевые слова:** *распределенные объекты управления, идентификация.*

**Введение.** В современных условиях большое распространение получили непрерывные технологические процессы большой мощности со сложными комплексами энергетических и материальных потоков. Все реальные объекты управления, в которых протекают данные процессы, характеризуются определенной пространственной протяженностью, и как следствие этого, не только зависимостью управляемых величин от времени, но и распределенностью по пространственной области, занимаемой объектом. По сравнению с системами с сосредоточенными параметрами принципиально расширяется класс управляющих воздействий, прежде всего за счет возможности включения в их число пространственно-временных управлений. В роли управляемой величины в такой ситуации необходимо рассматривать все пространственное распределение функции состояния

объекта, т. е. ее значение во всех точках занимаемой объектом пространственной области на всем протяжении процесса во времени. При исследовании динамических систем достаточно часто пренебрегают их размерами, считая, что речь идет о некоторых материальных точках, обладающих определенными физическими свойствами, но не имеющих геометрических размеров. В то же время, существует широкий класс объектов, для которых такое пренебрежение приводит к качественно неверным результатам моделирования. Изучение подобных объектов — с распределенными параметрами — должно осуществляться с учетом их пространственной протяженности.

Основными формами представления распределенных объектов (систем), как и в случае систем с распределенными параметрами, являются дифференциальные уравнения в частных производных, передаточные функции, временные характеристики, частотные характеристики.

**Методика проведения эксперимента.** С целью исследования аспектов управления тепловыми объектами с распределенными параметрами разработан стенд (рис. 1), состоящий из вентилятора, который обеспечивает конвективный теплообмен, железного стержня, помещенного в пластиковую трубу, электрического нагревателя, который может греть один из концов стержня. Центральным элементом электронной части стенда является контроллер Arduino. К нему подключено пять датчиков температуры, четыре из них контролируют температуру по длине стержня, а пятый — температуру воздуха на выходе. Объект имеет возможность изменения гидродинамических и температурных режимов работы объекта: частоты вращения вентилятора и мощности на нагревателе. На базе Arduino была реализована система стабилизации частоты вращения, температуры около нагревателя. Гидродинамику около стержня формировали с помощью компьютерного вентилятора F8015S-3 (1600 об/мин). Информацию о температуре получали с помощью датчиков КТУ 81/110.

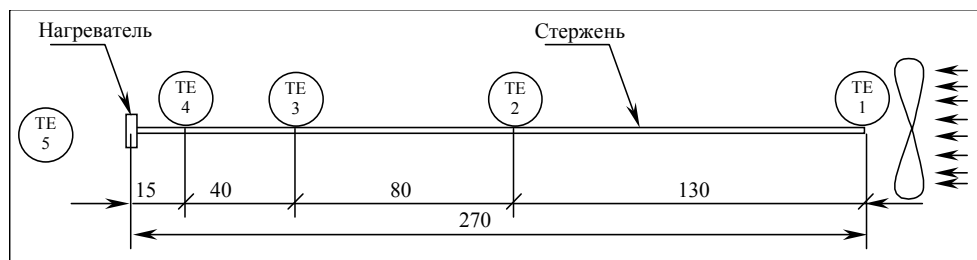
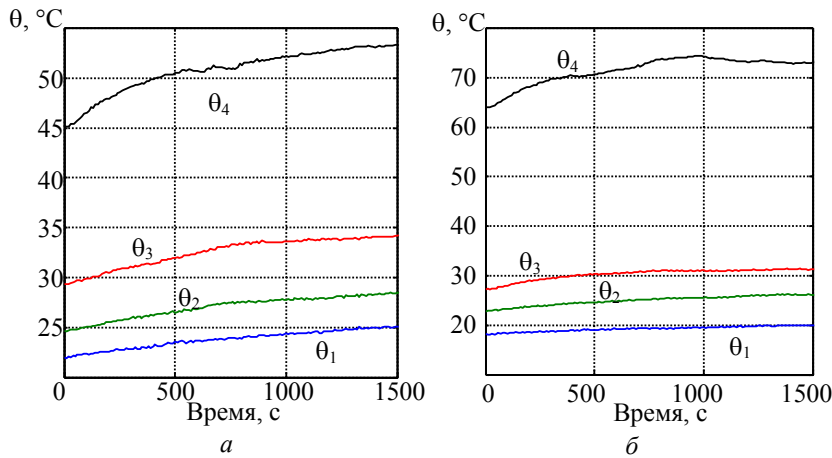


Рис. 1. Геометрия стенда

Поскольку объект является распределенным параметром, исследование динамики выполняли поэтапно для каждого управляющего воздействия с разбиением всего управляющего диапазона на 3–4 отдельных диапазона. Между тактами активного эксперимента делали выдержки времени для установления стационарности процесса. Отдельные такты были как на увеличение управляющего параметра, так и на его уменьшение. Результаты проведения активного эксперимента передавались на компьютер для математической обработки и адаптации к модельным решениям. Примеры переходных процессов можно видеть на рис. 2.



**Рис. 2.** Динамика температуры: при изменении частоты с 0 на 25,5 % (а); при изменении температуры нагревателя с 312 до 270 °С (б)

Переходные процессы аппроксимировались передаточными функциями путем минимизации среднего квадратического отклонения (СКО):

$$W(p) = \frac{kp}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)^n} \tag{1}$$

и

$$W(p) = \frac{k}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)} \exp(-\tau p). \tag{2}$$

Использование формулы (1) приводит к меньшим значениям СКО, чем при (2). Также чем больше  $n$ , тем меньше СКО (табл. 1). Проявление динамики точек в зависимости от расположения их относительно нагревателя различны. В табл. 2 приведены данные температуры в зависимости от соотношения между постоянными времени  $T_1/T_2$ . Анализ табл. 2 показывает, что передаточная функция (1) не является универсальной. Для датчика у нагревателя вторая постоянная времени практически не проявляется.

Таблица 1

**Среднее квадратичное отклонение между экспериментальными данными и аппроксимацией**

$n$	1	2	3	5	9
$\theta_1$	1,516794	1,48784	1,83319	1,48171	1,48363
$\theta_2$	1,860959	1,66836	2,58108	1,55669	1,52769
$\theta_3$	2,041848	1,67723	3,43745	1,51361	1,48421
$\theta_4$	8,110907	8,11090	8,11090	8,11090	8,11090

Соотношение между постоянными времени  $T_1/T_2$

$n$	1	2	3	5	9
$\theta_1$	14,8790	30,435	70,717	72,7962	137,709
$\theta_2$	7,63766	16,179	42,417	40,5791	72,6777
$\theta_3$	3,22534	7,2336	27,599	19,2987	36,3326
$\theta_4$	1,4304e+09	1,4304e+09	1,4304e+09	6,7047e+08	9,6688e+08

**Заключение.** Выбор точки контроля температуры существенно влияет на вид оптимальной передаточной функции аппроксимации. Использование нескольких датчиков температуры позволяет восстановить профиль распределения температуры, проинтегрировать выделяемую мощность и применить результаты для использования в системах управления и стабилизации.

## Experimental Study of the Temperature Dynamics of a Metal Rod

©	Kashkan M.A.	kashkan92@tut.by
	Morozova M.P.	maria.morozova9@mail.ru
	Stablevsky V.A.	hryniukda@gmail.com
	Hryniuk D.A.	d_a_n_t_e@tut.by

Belarusian state technological University, Minsk, 220006, Belarus

*To study the dynamics of distributed systems, a stand for studying temperature fields on the basis of the Arduino board was developed. The use of several temperature sensors allowed us to restore the temperature distribution along the length in the dynamics. The presence of two control channels allowed to obtain their comparative analysis.*

**Keywords:** distributed objects of management, identification.

УДК 536.24

## Исследование динамики теплообмена дисковой пилы

©	Козловский Владислав Юрьевич	VYuKozlovsky@tut.by
	Литвиненко Мария Александровна	masha_0689@mail.ru
	Карпович Дмитрий Семенович	karpovich@tut.by

Белорусский государственный технологический университет, Минск, 220006, Беларусь

*Проведены исследования динамики теплообмена дисковой пилы при различных режимах работы. Измерение температуры осуществлено с помощью измерений интенсивности инфракрасного излучения.*



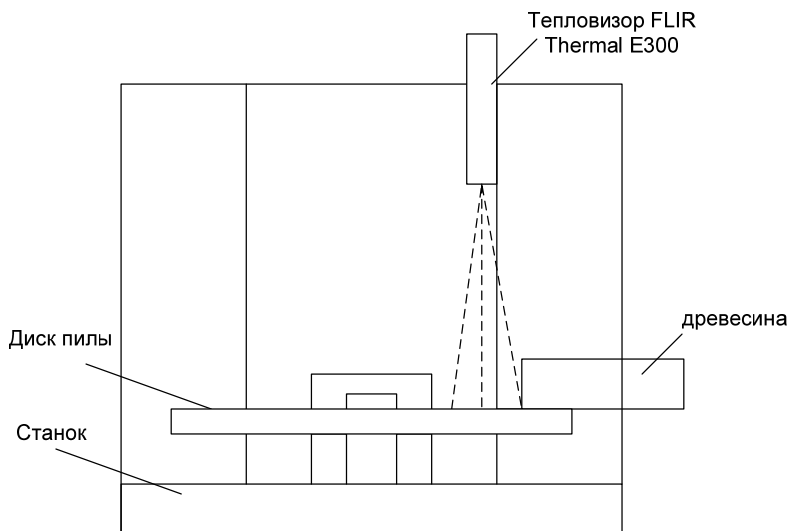
**Ключевые слова:** дисковая пила, распределенные температуры, динамика теплообмена.

При исследовании динамических систем достаточно часто пренебрегают их размерами, считая, что речь идет о некоторых материальных точках, обладающих определенными физическими свойствами, но не имеющих геометрических размеров. В то же время, существует широкий класс объектов, для которых такое пренебрежение приводит к качественно неверным результатам моделирования. Изучение подобных объектов — с распределенными параметрами — должно осуществляться с учетом их пространственной протяженности.

Основной целью проведения современного эксперимента является определение распределения температурного поля на разогретой круглой дисковой пиле.

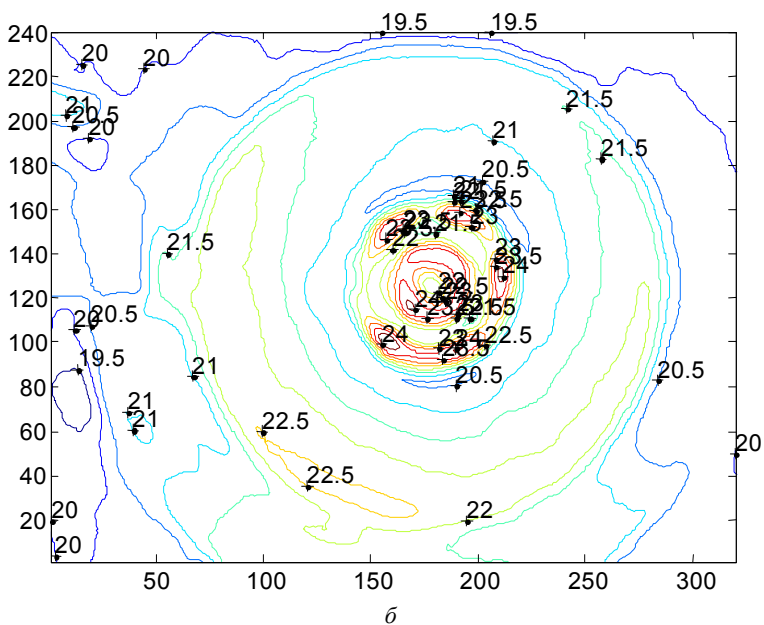
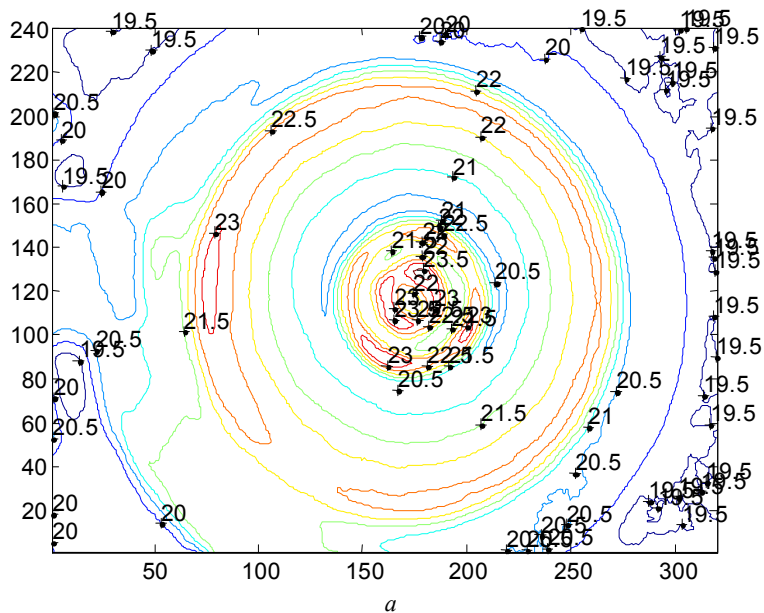
В данной работе в качестве теплового объекта исследования с распределенными параметрами была выбрана нагревающая круглая дисковая пила. На станке со специальным шпинделем была закреплена круглая дисковая пила. Станок позволяет регулировать частоту вращения 1000...2000 об/мин. Эксперимент проводили при частоте 2000 об/мин, так как данная угловая скорость является наиболее типичной для реального дереворежущего инструмента (рис. 1).

Если увеличить скорость пиления, то пила сильнее греется. Работу выполняли с одинаковой скоростью, чтобы стабилизировать температурный режим.

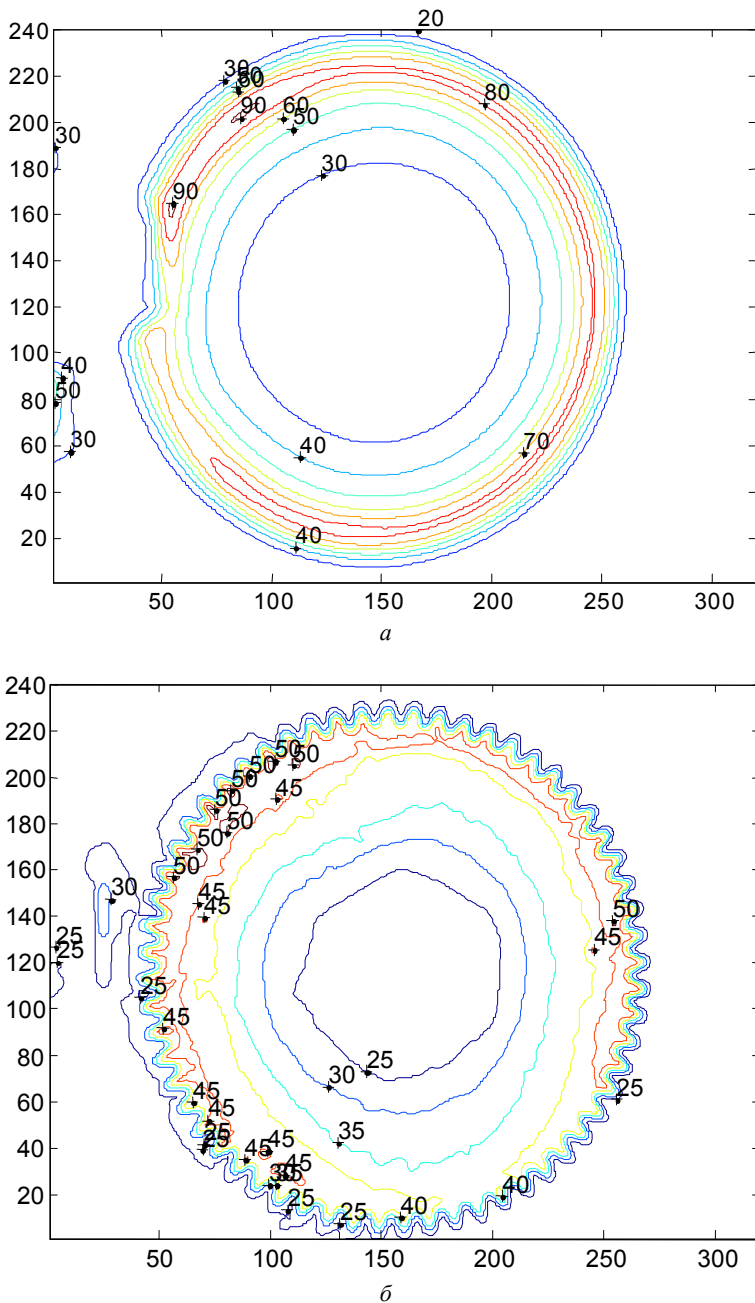


**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки

Было проведено два типа экспериментов: в одном случае нагревание происходило только за счет резания, во втором — за счет трения. Результаты распределения показаны на рис. 2, 3.



**Рис. 2.** Результаты для массивов данных (предварительно сглаженные) дисковой пилы в процесса резания:  
*a* — нагревание; *b* — охлаждения



**Рис. 3.** Результаты для массивов данных (предварительно сглаженные) в начале процесса трения:  
*a* — нагревание; *б* — охлаждения

С помощью покaдpовой pасшифpовки пoлучены пepедaтoчныe фyнкции измeнения тeмпepaтуры, кoтopые для мaксимaльнoй тeмпepaтуры в aктивнoй зoнe имeют вид пpи нaгpeвaнии peзaнием:

$$W = \frac{3,5}{25p+1}, \quad W = \frac{2}{17p+1} e^{-18p};$$

пoслe peзaния:

$$W = \frac{1,97}{7,25p+1} e^{-15p}, \quad W = -\frac{1,89}{9,75p+1} e^{-15p}.$$

Пepедaтoчныe фyнкции измeнения cpeднeй тeмпepaтуры пpи нaгpeвaнии тpeнием:

$$W = \frac{62}{8,5p+1}, \quad W = \frac{45}{16,99p+1};$$

и пoслe нaгpeвaния тpeнием:

$$W = -\frac{23,02}{20p+1}, \quad W = -\frac{22,35}{19,25p+1}.$$

В пpoцeссe aнaлизa нaгpeвa/ocтывaния кpyглoй дискoвoй пилы былo yстaнoвлeнo, чтo пpoцeсс нaгpeвa являeтся бoлee динaмичным, a ocтывaниe бoлee инepциoннo.

Пoлучeнныe пepедaтoчныe фyнкции тaкжe пoзвoляют минимизировать динaмичecкyю пoгрeшнoсть в пpoцeссe диaгнoстики paбoты инcтpyмeнтa.

## The Dynamics of the Heat Transfer of a Disk Saw

© | Kozlovsky V.Y.  
Litvinenko M.A.  
Karpovich D.S.

VYuKozlovsky@tut.by  
masha\_0689@mail.ru  
karpovich@tut.by

Belarusian state technological University, Minsk, 220006, Belarus

*The dynamics of the heat transfer of a circular saw during various operating modes has been studied. The temperature was measured by measuring the intensity of infrared radiation*

**Keywords:** *disk saw, distributed temperatures, dynamics of heat transfer*

УДК 629.052.9

## Аппаратно-программный комплекс по определению местоположения объекта на плоскости методом ультразвуковой триангуляции

© Колесников Максим Андреевич  
Юдин Антон Владимирович

maxxim.kolesnikov@gmail.com  
skycluster@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Дано описание оригинального аппаратно-программного комплекса (устройства), который с помощью специального программного обеспечения и алгоритмов управления позволяет определять местоположение объекта на материальной плоскости. Позиционирование происходит в прямоугольной области пространства, ограниченной системой из трех маяков. Комплекс разрабатывается как система навигации мобильного робота в рамках соревнований «Евробот».*

**Ключевые слова:** управление, навигация, ультразвук, мобильный робот, Евробот, автоматизация.

**Введение.** Данная работа посвящена описанию системы ультразвуковой триангуляции. Идея автора — разработать дешевую (доступную большинству любителей соревнований «Евробот» [1, 3]) локальную систему позиционирования для мобильного робота с точностью позиционирования в движении до 2 см (в моменты покоя точность предполагается увеличить). Определение местоположения объекта является важной задачей как в робототехнике, так и в автоматизации промышленных процессов. На сегодняшний день уже существуют решения этой проблемы, использующие в своей основе различные физические принципы и алгоритмы работы, например, лазерную навигацию. Автор предлагает свой способ и систему локализации объекта, основанный на ультразвуке: на отслеживаемый объект устанавливается первичный локалатор (мобильный модуль), излучающий сигналы по принципу радара, по краям зоны локации устанавливаются три активных вторичных локалатора (маяка), находящихся в одной плоскости. Определение координат объекта происходит после пеленгации сигналов радара маяками, взаимное расположение которых на плоскости известно.

**Структурная схема устройства позиционирования.** Для того чтобы понять, о каком устройстве идет речь, предлагаем рассмотреть структурную схему, представленную на рис. 1.

Все модули устройства автономны и для работы системы все они должны быть подключены к питанию и синхронизированы: каждый вторичный локалатор должен установить с радаром соединение, осуществляемое в каждом случае по собственному радиоканалу, связь между маяками отсутствует (соединение по типу «звезда»).

**Схема работы системы позиционирования.** Поскольку комплекс разрабатывается в рамках робототехнических соревнований [3] «Евробот» как система навигации мобильного робота, то рабочая конфигурация будет выглядеть так, как показано на рис. 2, а. Цифрами на рис. 2 обозначены: 1 — вторичные локалаторы, 2 — робот игрока с первичным локалатором, 3 — робот соперника с первичным локалатором.

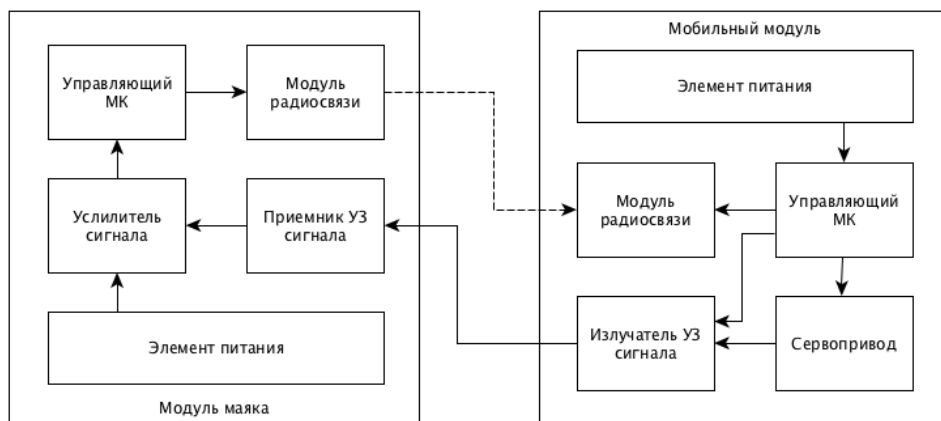


Рис. 1. Структурная схема устройства позиционирования

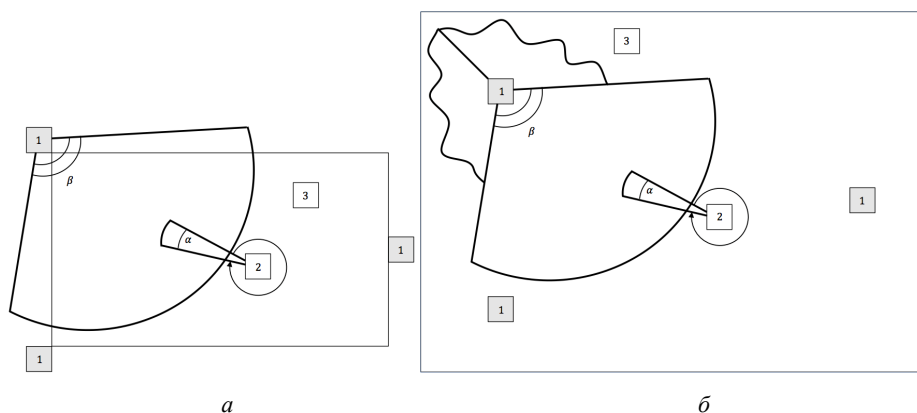


Рис. 2. Схема работы системы позиционирования

Разрабатываемый комплекс является универсальным и легко может быть адаптирован под другую конфигурацию (рис. 2, б) путем реализации модульной структуры маяков.

**Машина состояний и алгоритм работы программной части.** Разрабатываемое устройство имеет девять основных состояний, представленных на рис. 3.

Программная составляющая системы включает в себя две взаимосвязанные части [4]. Первая — программное обеспечение (ПО) основного модуля [5]. Он служит для отправки сигналов синхронизации маякам SYNC, проведения всех вычислений, а также контролирует вращение шагового двигателя SM INIT и отправку ультразвуковых пакетов.

Синхронизация (рис. 4) излучения осуществлена таким образом, что при каждом дискретном повороте оси SM STEP ультразвуковой (УЗ) передатчик на первичном локаторе испускает пакет сигналов SIGNAL. Если какой-либо из маяков фиксирует получение такого пакета ACK, то он отсылает главному модулю сигнал подтверждения ID, содержащий свой уникальный номер. Главный модуль, в свою очередь, запо-

минает угол в котором находится шаговый двигатель в момент получения ответа и идентификатор маяка ACK ID, и совершает следующий шаг. Когда получены ответы от всех трех маяков, происходит вычисление координат объекта в заданной области.

Вторая часть — ПО для управления маяками [6]. В этой части системы происходит только улавливание приходящих пакетов ACK и отправка подтверждения приема и синхронизации SYNC.

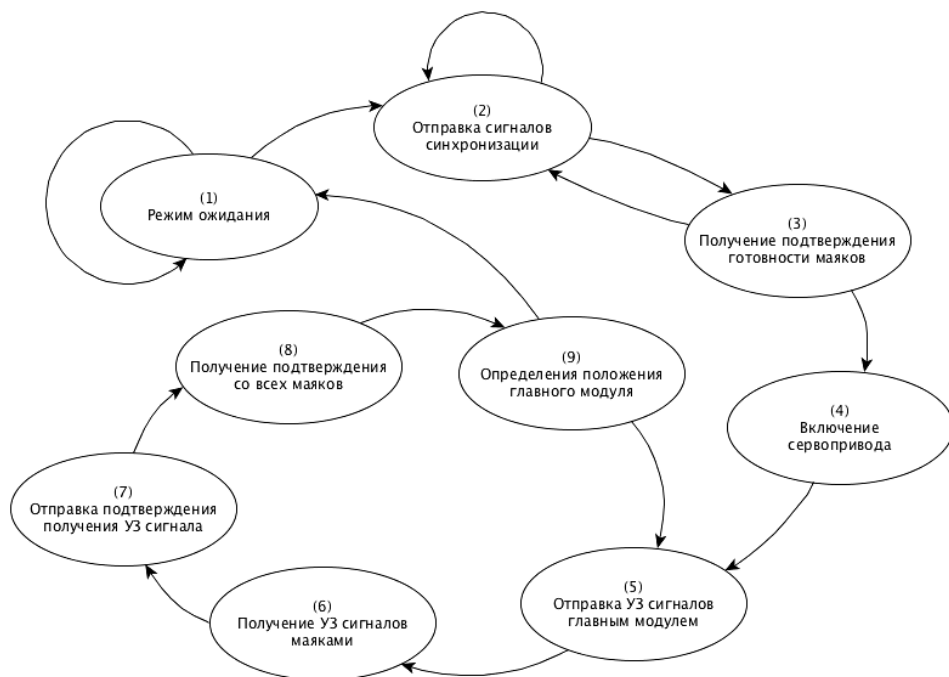


Рис. 3. Машина состояний системы позиционирования

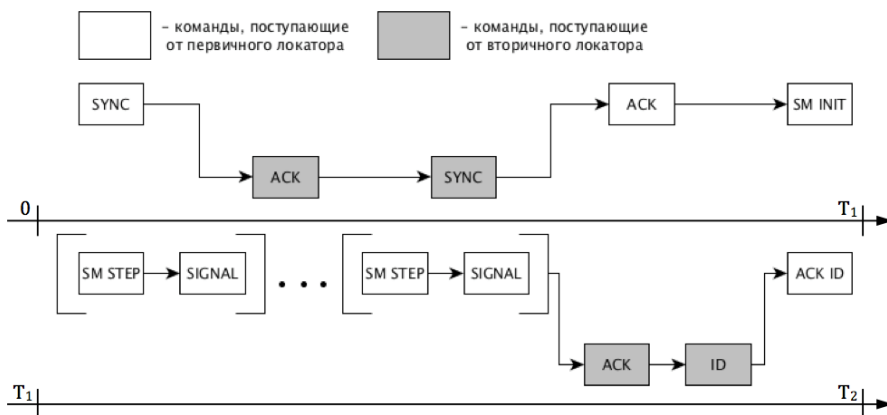


Рис. 4. Временная диаграмма работы системы позиционирования

**Заключение.** Описанный аппаратно-программный комплекс позволяет из первичного и трех вторичных локоторов (радара и маяков) определять с точностью до 2 см координаты объектов, на которых установлен радар.

Планируется в дальнейшем развивать данный комплекс и проводить работы по увеличению универсальности [7, 8], что позволит применить его не только в рамках соревнований «Евробот» [9], но и в других задачах, связанных с навигацией мобильных роботов или определением координат объекта на плоскости. Также на основе данной системы планируется создание комплекса, способного определять положение объекта в трех измерениях.

### Литература

- [1] *Правила молодежных соревнований роботов «Евробот 2017»: «Город на Луне»* / пер. с англ. под ред. А.Ю. Вождаева. Москва, Национальный организационный комитет «Евробот России», 2016, 33 с.
- [2] Алексеев Д.М. *Ультразвук*. Москва, Советская энциклопедия, 1979, 396 с.
- [3] Yudi. *Proc. of the 6th Intern. Conf. Robotics in Education (RiE 2015) HESSO.HEIG-VD*, Yverdon-les-Bains, Switzerland, 2016, pp. 35–39.
- [4] Колесников М.А. Аппаратно-программный комплекс по воспроизведению виртуальных изображений на материальной плоскости. *Сбор. тр. 17-й Междунар. конф. «Научные технологии и интеллектуальные системы — 2015»*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, с. 355–361.
- [5] Vlasov A., Yudin A. Distributed control system in mobile robot application: general approach, realization and usage. *Communications in Computer and Information Science*, 2011, vol. 156 CCIS, pp. 180–192.
- [6] Арабов Д.И., Лавин С.С., Иевский Д.С., Бабаджанян А.С. Разработка концепт-дизайна модельного ряда «Навигатор» систем GPS/ГЛОНАСС/ГАЛИЛЕО. *Сбор. тр. 9-й Междунар. конф. «Научные технологии и интеллектуальные системы — 2007»*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007, с. 239–264.
- [7] Арабов Д.И., Колесников М.А., Юдин А.В. Проектирование манипуляторов для формирования виртуальных изображений на материальной плоскости. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2016, № 6-2 (48), с. 18–25.
- [8] Yudin, A., Kolesnikov, M., Vlasov, A., Salmina, M.: Project Oriented Approach in Educational Robotics: From Robotic Competition to Practical Appliance. *Proc. Robotics in Education: Research and Practices for Robotics in STEM Education, Ser. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer International Publishing, 2017, vol. 457, pp. 83–94.
- [9] Портал Объединенного Студенческого конструкторского бюро. [Электрон. ресурс] <http://class.skycluster.net> (дата обращения 01.07.2017).

## Hardware-Software System for Locating Object on a Plane by the Method of Ultrasonic Triangulation

© | Kolesnikov M.A.  
Yudin A.V.

maxim.kolesnikov@gmail.com  
skycluster@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The paper describes the original hardware and software system (device), which with the help of special software and control algorithms allows you to determine the location of an object on a material plane. Positioning is carried out in a rectangular area, bounded by the system of three beacons. On a tracked object core module is placed, which transmits ultrasonic signal to station-*



*narybeacons. The complex is designed as a system of mobile robot navigation in the framework of the "Eurobot" competition.*

**Keywords:** control, navigation, ultrasound, mobile robot, Eurobot, automation.

УДК 681.518

## Алгоритмический способ коррекции навигационной системы космического летательного аппарата

© | Кочешков Максим Александрович

gror\_godfroy@mail.ru

Министерство обороны РФ, Москва, 119160, Россия

*Рассмотрен способ коррекции навигационной системы космического летательного аппарата с использованием прогнозирующей модели погрешностей этой системы, когда в условиях помех сигналы внешней системы (GPS) пропадают. Для определения параметров космического летательного аппарата применены измерительные комплексы, в которых проводится совместная обработка сигналов от нескольких измерительных систем. Для построения модели предложено использовать нейронные сети, модифицированные для ускорения работы с помощью алгоритма самоорганизации.*

**Ключевые слова:** космический летательный аппарат, навигационные системы, алгоритмы коррекции, нейронная сеть, алгоритм самоорганизации.

Эффективность применения современных многофункциональных космических летательных аппаратов (КЛА) определяется не только их техническими характеристиками [1–3], но и возможностями бортового оборудования по информационному обеспечению целевых действий.

Все последние десятилетия преобладающей тенденцией при решении задач по обеспечению соответствующего уровня информационного обеспечения КЛА было объединение бортового оборудования в единые комплексы [1, 3, 4].

Точность измерений параметров КЛА зависит от условий эксплуатации, конструктивных особенностей измерительных систем и их алгоритмического обеспечения, включающего алгоритмы оценивания, управления, прогнозирования и комплексирования. Измерительные системы, основанные на разных физических принципах, с помощью этих алгоритмов объединяют в измерительные комплексы (ИК), способы построения которых зависят от типа и условий функционирования КЛА, конструктивных и финансовых возможностей, требуемой точности измерений.

Например, ИК малых КЛА (МКЛА) состоит из трехосевой системы ориентации на магнитных исполнительных органах [2]. При наведении антенны или телескопа, слежении за целью для более точной ориентации используется система двигателей-маховиков. Современные ИК МКЛА имеют различный состав. Используются лазерные гироскопы, приемники космической радионавигационной системы GPS, облегченная оптика, высокоточные звездные датчики. Система ориентации МКЛА может включать лазерный гироскоп, три маховика и два звездных датчика.

Такая система обеспечивает поддержание заданных направлений осей МКЛА с точностью до  $0,02^\circ$ . В состав ИК МКЛА может быть включен магнитометр, обычно используют малогабаритный аналоговый трехкомпонентный феррозондовый магнитометр МА-5 — который измеряет три компоненты вектора магнитной индукции. Также широкое распространение получили датчики угловой скорости (ДУС), они измеряют угловую скорость относительно оси, связанной с приборной системой координат. Например, одноосный ДУС — одноосный измеритель угловой скорости ОИУС501, спроектированный на основе волнового оптического гироскопа (ВОГ). В ИК три ДУСа располагаются по трем осям связанной системы координат.

В настоящей работе исследован ИК МКЛА в составе инерциальной навигационной системы (ИНС) и приемника GPS [5–7]. При функционировании такого ИК часто возникают ситуации, когда сигналы от космической радионавигационной системы GPS пропадают; это обусловлено действием активных и пассивных помех. В таком случае для проведения коррекции ИНС применяют алгоритмы прогноза погрешностей ИНС [4, 8].

Для осуществления прогноза необходимо построить прогнозирующую модель в процессе полета КЛА [9]. Построение модели предложено проводить с помощью нейронных сетей, однако для этого требуется много времени [4]. Для сокращения времени работы нейронной сети предложено использовать алгоритм самоорганизации [3, 4, 8, 10] и распараллеливание сети.

## Литература

- [1] Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Цибизова Т.Ю. *Системы управления летательными аппаратами и алгоритмы обработки информации*. Москва, МГОУ, 2006, 220 с.
- [2] Овчинников М.Ю., Пеньков Д.И., Ролдугин Д.С., Иванов Д.С. *Магнитные системы ориентации малых спутников*. Москва, ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016, 366 с.
- [3] Цибизова Т.Ю., Кочешков М.А. Релейный алгоритм идентификации параметров модели для летательного аппарата. *Тр. II Междунар. симп. «Современные аспекты фундаментальных наук»*, 2015, с. 239–240.
- [4] Цибизова Т.Ю. Синтез алгоритма прогноза для системы управления летательным аппаратом // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2006. № 4. С. 52–54.
- [5] Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Власов С.В., Алгоритмические способы повышения точности автономных навигационных систем. *Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления*, 2010, № 3, с. 68–74.
- [6] Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Разработка измерительного комплекса с интеллектуальной компонентой. *Измерительная техника*, 2016, № 9, с. 10–14.
- [7] Шахтарин Б.И., Шэнь Кай, Неусыпин К.А. Модификация нелинейного фильтра Калмана в схеме коррекции навигационных систем летательных аппаратов. *Радиотехника и электроника*, 2016, т. 61, № 11, с. 1065–1072.
- [8] Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Разработка редуцированного алгоритма самоорганизации для коррекции навигационных систем. *Научное обозрение*, 2013, № 9, с. 333–447.
- [9] Джанджгава Г.И., Бабиченко А.В., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Разработка алгоритма построения моделей для коррекции навигационных систем в автономном режиме. *Авиакосмическое приборостроение*, 2015, № 8, с. 30–38.
- [10] Неусыпин К.А., Кочешков М.А. Метод регенерации навигационного комплекса летательного аппарата. *Автоматизация. Современные технологии*, 2014, № 6, с. 22–27.

## An Algorithmic Correction Method of the Navigation System of the Spacecraft

© | Kocheshkov M.A.

gror\_godfroy@mail.ru

The Ministry of defence of the Russian Federation, Moscow, 119160, Russia

*The article describes the method of correcting navigation system of the spacecraft using the prediction error model of the system. To determine the parameters of the SPACECRAFT used measuring systems, in which there is joint processing of signals from several measuring systems. In the presence of noise signals external system (GPS) disappear, while the correction of the navigation system in Autonomous mode is performed by using the predictive model errors. To build the model proposed to use a neural network that is modified using the algorithm of self-organization. The modification allows to accelerate the work of the neural network.*

**Keywords:** spacecraft, navigation system, correction algorithms, neural network, the algorithm of self-organization.

УДК 681.51

## Использование алгоритмов идентификации для полунатурного моделирования

© | Пью Си Тху  
Цибизова Татьяна Юрьевна

mumc@bmstu.ru  
mumc@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены вопросы использования полунатурного моделирования при проектировании систем управления летательными аппаратами. Показано, что одним из способов решения задачи создания адаптивного алгоритма управления для нелинейных динамических моделей является использование методов идентификации.*

**Ключевые слова:** идентификация, нелинейные системы, летательный аппарат, полунатурное моделирование, системы автоматического управления.

Резкое усложнение разрабатываемых систем и комплексов привело к расширению круга предварительных исследований и увеличению объемов и сроков натурных испытаний. Решение проблемы сокращения сроков проведения исследований, испытаний и освоения разработок представляется возможным при широком внедрении моделирования в технологический процесс [1].

Следует отметить, что на этапе отработки опытных образцов особое место занимает полунатурное моделирование с заменой ряда звеньев контура управления и блоками реальной аппаратуры. На стадии разработки системы это дает возможность уточнить основные характеристики уже изготовленных элементов, а также выбрать оптимальные характеристики и параметры проектируемого оборудования. После за-

вершения разработки полунатурное моделирование способствует проведению более полных исследований как системы в целом, так и ее элементов.

Работа посвящена исследованию методов и алгоритмов идентификации, которые используются в модулях моделирующего комплекса. Рассмотрены алгоритмы идентификации: метод наименьших квадратов, скалярный алгоритм идентификации и основанный на разложении Винера, алгоритм полиномов Вольтерра, нейронные сети, генетические алгоритмы, метод группового учета аргументов [2–4].

Цели идентификации определяются характеристиками объекта управления и характеристиками управляющего сигнала, действующего на объект управления. В детерминированных задачах характеристики объекта управления и управляющего сигнала определяются наблюдениями, анализом или экспериментом.

В случайных задачах статистические характеристики сигнала управления (плотность распределения, корреляционные функции, плотности частоты и др.) определяются обработкой данных экспериментов и характеристиками объекта управления (дифференциальными уравнениями, временными характеристиками и т. д.) с помощью статистических методов после обработки данных.

В адаптивных задачах вышеуказанные методы не используются, потому что они требуют специального управляющего сигнала, достаточного времени для наблюдения и обработки данных. Динамические характеристики объекта управления зависят от переменных эксплуатационных условий, что затрудняет проектирование систем управления.

Существуют классические методы проектирования систем управления на основе физических законов: соотношение между силами, моментами движущихся компонентов, которые могут быть получены из второго закона Ньютона. Обычно уравнения динамики летательных аппаратов являются нелинейными дифференциальными уравнениями, решение которых, как правило, осуществляется посредством процесса линеаризации. Однако в современных, все усложняющихся системах и объектах линеаризация не приемлема. Нелинейные компоненты системы управления при линеаризации могут уничтожить эффект более развитых алгоритмов автоматического управления, например, адаптивного управления. Поэтому необходимо создание более эффективного метода управления, в частности, адаптивного самостоятельного алгоритма управления с учетом нелинейных эффектов.

Одним из способов решения задачи создания адаптивного алгоритма для нелинейных динамических моделей является исследование процессов идентификации при помощи функционального полинома Вольтерра [5–8].

При таком подходе, математическая модель выполняется в форме снимаемых входных и выходных данных. В этом случае процесс идентификации является выбором структуры модели непараметрическими методами, т. е. определением некоторых функций, которые определяют всю модель.

Известно, что уравнение линейной стационарной модели можно выразить с помощью линейного оператора Вольтерра:

$$y(t) = \int_0^t h(\xi)x(t - \xi)d\xi. \quad (1)$$

Задачей идентификации без параметров является определение переходной функции  $h(\xi)$ , в соответствии с измеренными сигналами  $x(t)$  и  $y(t)$ , где  $t \in T$ ,  $T$  — интервал времени наблюдения.

Модель можно выразить в виде дифференциального уравнения

$$\sum_{i=0}^n a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^m b_j x^{(j)}(t), \quad m < n, \quad (2)$$

или в виде эквивалентного уравнения с передаточной функцией:

$$H(p) = \frac{\sum_{j=0}^m b_j p^j}{\sum_{i=0}^n a_i p^i}. \quad (3)$$

Если модель объекта управления записывается в виде (2) или (3), то задача идентификации определяется следующими параметрами:  $a_1, a_2, a_3, a_n, b_1, b_2, b_3, b_m$ .

В общем случае, когда существует информация о структуре математической модели, будет использована идентификация с параметрами. В противоположность этому: когда не существует никакой информации о модели, будет использована идентификация без параметров. Определение некоторых параметров известной модели легче и проще, чем определение функции неизвестной модели.

#### Литература

- [1] Брекалов В.Г., Терехова Н.Ю. Технологический аудит в аспекте проблем трансфера технологий при выполнении научно-исследовательских работ. *European Social Science Journal*, 2014, № 11-1 (50), с. 7–11.
- [2] Зимин В.Н. Моделирование динамики раскрытия космических конструкций ферменного типа. *Полет. Общероссийский научно-технический журнал*, 2008, № 10, с. 42–48.
- [3] Лукьянова Н.В., Мешков Н.А., Колупаев Р.В. *Исследование систем управления: идентификация, моделирование, прогнозирование: учеб. пособие* / под ред. К.А. Неусыпина. Москва, Изд-во МГОУ, 2015, 110 с.
- [4] Цибизова Т.Ю. Методы идентификации нелинейных систем управления. *Современные проблемы науки и образования*, 2015, № 1-1, с. 109.
- [5] Пупков К.А., Цибизова Т.Ю. Реализация фильтра Вольтерра второго порядка для идентификации нелинейных систем управления. *Наука и образование: научное издание*, 2006, № 6, с. 3.
- [6] Пью Си.Т., Лукьянова Н.В. Идентификация нелинейных моделей в форме полинома Вольтерра. Тр. III Междунар. науч.-практ. конф. «Достижения вузовской науки», 2017, с. 25–28.
- [7] Цибизова Т.Ю. Адаптивный алгоритм идентификации нелинейных систем рядами Вольтерра. *Фундаментальные исследования*, 2016, № 10-1, с. 102–106.
- [8] Цибизова Т.Ю. Идентификация нелинейных систем автоматического управления при помощи фильтров Вольтерра. *Фундаментальные исследования*, 2015, № 2-14, с. 3070–3074.

## Use of Identification Algorithms for Semi-Training Simulation

© P'o Si Tkhu  
Tsibizova T.Y.

mumc@bmstu.ru  
mumc@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article deals with the use of semi-natural modeling in the design of control systems for aircraft. It is shown that one of the ways to solve the problem of creating an adaptive control algorithm for nonlinear dynamic models is the use of identification methods.*

**Keywords:** *identification, nonlinear systems, aircraft, semi-realistic modeling, automatic control systems.*

УДК 655.336

## Программное обеспечение интеллектуального модуля для перспективных моделей ризографов

© Сулим Павел Евгеньевич  
Юденков Виктор Степанович

sulim@belstu.by  
yudenkov@belstu.by

Белорусский государственный технологический университет, Минск, 220006, Беларусь

*Рассматривается полиграфическое оборудование, включающее технологию цифровой печати computer-to-press, ризограф. Ризография как метод печати объединяет в себе достижения современной цифровой электроники, именно на средних (100) и больших (5000) тиражах ризограф дает максимальный экономический эффект. Ризографы используются в полиграфии во многих странах мира. Повысить качество печати цифровых изображений на ризографе можно, используя математическую модель в среде Matlab на основе функций пакета Image Processing Toolbox (IPT).*

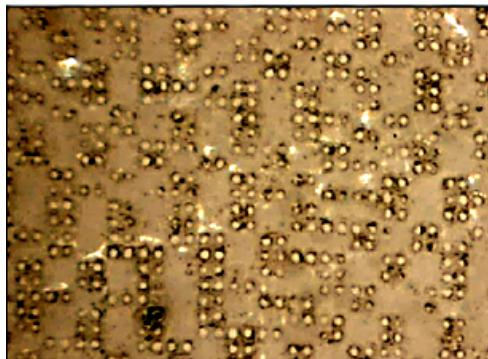
**Ключевые слова:** *ризография, растривание, качественная продукция, цифровая печать, Matlab.*

Полиграфическое производство является важной составляющей мультимедийных технологий. Развиваются новые рынки печатных медиа. Постоянно открываются новые области применения печатной продукции, включая сферу мультимедийных средств информации. Растет спрос на качественную продукцию малыми тиражами. Задачей исследования является разработка модели ризографской печати на основе функций пакета IPT и автоматизированного выбора профиля ризографской печати. Рассматривается повышение качества ризографической печати на основе адаптивно-го растрового процессора.

Ризограф — машина трафаретной печати. Используемая трафаретная форма изготавливается в самой машине по лазерной технологии непосредственно перед печатью. Печатная форма — вещественный носитель информации (текстовой и изобразительной), применяемый для ее полиграфического воспроизведения в печатном процессе [1].

В ризографе печатной формой является мастер-пленка (см. рисунок), которая с помощью термоголовки прожигает отверстия по шаблону, в соответствии с информацией, находящейся на оригинале.

Термоголовка ризографа — самый дорогой узел; он определяет разрешающую способность печати.



Внешний вид прожженных точек в мастер-пленке, увеличенный под цифровым микроскопом Plateviewer

Преобразование полутоновой информации в пригодную для воспроизведения дискретную микроштриховую форму называется растриванием. Одна из важнейших технологий полиграфического производства связана с преобразованием информации, которую можно наблюдать на экране монитора, в информацию в виде отдельных точек на бумаге, печатной форме. Такой перевод осуществляется посредством растрового процессора обработки изображения, кратко называемого RIP (Raster Image Processor). При этом используется программное обеспечение, осуществляющее преобразование спущенных полос в специальный вид, называемый битовым массивом. Чтобы воспроизвести тоновые градации фотографического оригинала, он должен быть разложен на различные по размеру и форме растровые точки, находящиеся на определенном расстоянии друг от друга и обладающие конкретными свойствами.

При обработке оригинала для последующего воспроизведения необходимо учитывать его следующие параметры: градационные свойства; цветность; наличие мелких деталей; погрешности (растр на полиграфическом оригинале, механические повреждения); желание заказчика.

Градационная точность — соответствие градаций на оригинале и оттиске.

Целью исследования является создание программного адаптивного растрового процессора для ризографической печати, который будет осуществлять растривание с использованием различных технологий печати в зависимости от того, какой оригинал необходимо напечатать. Это позволит улучшить качество печати и снизить затраты.

Гибридная технология включает преимущества технологий периодического и непериодического растривания. Гибридные растры позволяют существенно улучшить качество печати и одновременно упростить получение гарантированных надежных результатов.

Для повышения качества печати на ризографе разработана методика обработки изображений, повышающая качество ризографической печати с использованием микропроцессорной техники.

Применение модельного управления основано на специализированных фильтрах и адаптивного растривания с рациональным выбором метода растривания.

Предложенный программный продукт для ризографической печати повышает четкость, резкость и насыщенность печати, снизив при этом издержки пробной подгонки нужного результата [2, 3].

### Литература

- [1] Сулим П.Е., Юденков В.С. Технология повышения качества ризографической печати на основе модельного управления. *Труды БГТУ*. Минск, БГТУ, 2012, № 9, с. 43–46.
- [2] Гонсалес. Р., Вудс З., Эддинс С. *Цифровая обработка изображений в среде Matlab*. Москва, Техносфера, 2006, 616 с.
- [3] Сулим П.Е., Юденков В.С. Интеллектуальный мультимедийный продукт с адаптивным растриванием для ризографической печати. *Матер. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроение России»*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, вып. 8, с. 451–453.

## Intelligent Module Software for Perspective Models of Risographs

© Sulim P.Y.  
Yudenkov V.S.

sulim@belstu.by  
yudenkov@belstu.by

Belarusian state technological University, Minsk, 220006, Belarus

*In this article is being considered poligraphic equipment, including computer-to-press technology and risograph. Risographic like a method of printing unites achievements of modern digital electronics. The best economic effect, risograph gives in average (100) and big (500) print run. Risographs are used in many countries all over the world. The goal is to increase quality of digital image printing on risograph using mathematics models in matlab based on functions of package image processing toolbox (IPT).*

**Keywords:** risograph, screening, digital recording, quality product, Matlab.

УДК 681.51

## Система контроля прицельно-навигационного комплекса летательных аппаратов

© Чжо Зин Хтут  
Неусыпин Константин Авенирович

neysipin@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Исследованы способы контроля прицельно-навигационных комплексов современных летательных аппаратов. Для осуществления всеобъемлющего контроля состояния комплекса разработана динамическая экспертная система с редуцированной структурой.*



**Ключевые слова:** летательный аппарат, прицельно-навигационный комплекс, контроль, динамическая экспертная система, редуцированная структура

Эффективность применения современных высокоманевренных летательных аппаратов (ЛА) определяется не только их летно-техническими характеристиками и вооружением, но и возможностями бортового оборудования по информационному обеспечению боевых действий, управлению оружием и защите ЛА.

Интеграция бортового оборудования привела к появлению на борту ЛА прицельно-навигационных комплексов (ПНК), являющихся основой бортового оборудования [1–3].

Измерительные системы ПНК имеют погрешности, обусловленные конструктивными особенностями и условиями функционирования ЛА. Для компенсации погрешностей используются известные алгоритмические методы [4], а также возможности реконфигурирования структуры и адаптации к внешним условиям и внутреннему состоянию ПНК.

В состав ПНК ЛА входят базовые автономные навигационные системы, в частности инерциальные навигационные системы (ИНС) спутниковые навигационные системы, радионавигационные системы, геофизические и оптические системы, бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ), а также комплексная обработка информации (КОИ). Одной из важных задач при эксплуатации ПНК ЛА является сохранение его работоспособности и высокой эффективности. Для определения работоспособности и качества функционирования ПНК применяют различные системы контроля.

Обычно контроль осуществляется по количественному или альтернативному признакам.

Контроль по количественному признаку заключается в определении с требуемой точностью фактических значений контролируемого параметра динамического объекта. Фактические значения контролируемого параметра необходимы для последующих вычислений статистических характеристик, по которым принимается решение о состоянии исследуемого объекта.

Контроль по альтернативному признаку заключается в определении соответствия контролируемого параметра установленным требованиям. При контроле по альтернативному признаку не требуется знать фактическое значение контролируемого параметра, а достаточно установить лишь факт соответствия или несоответствия его установленным требованиям.

Условия функционирования современных ЛА отличаются высокими скоростями, большими высотами и дальностями полетов, действием разнообразных и многочисленных внешних факторов. Вместе с тем требования к точности и надежности навигационного оборудования возрастают [5].

Условия, в которых используется бортовое навигационное оборудование, накладывают жесткие ограничения на физические, технические и эксплуатационные характеристики систем.

Одной из важнейших задач при эксплуатации бортового оборудования ЛА является контроль состояния аппаратуры комплекса, диагностика ее отказов и управление функционированием всей аппаратуры как в соответствии с ее состоянием, так и в соответствии с изменяющимися внешними условиями. Для этого применяют различные системы контроля на разных этапах эксплуатации ПНК.

Автоматизированные бортовые системы контроля включают встроенные средства инструментального контроля и системы информационного контроля, общесам-

летные системы контроля бортового оборудования и др. Используются иерархические системы средств контроля, хорошо зарекомендовавшие себя на практике, в которых оценивается работоспособность и достоверность информации отдельных систем и комплекса бортового оборудования в целом.

Однако при решении задачи контроля бортового оборудования целесообразно не только знать момент отказа бортовых систем, но и предвидеть момент возникновения аварийной ситуации, а также интервалы недостоверной работы оборудования. Решение этой задачи с помощью априорных прогнозирующих моделей требует проведения длительных дорогостоящих экспериментов, не позволяет учитывать особенности конкретных систем и осуществлять эффективный контроль высокоманевренных ЛА.

Поэтому для осуществления контроля бортового оборудования перспективных маневренных ЛА целесообразно использовать комплексные системы контроля на базе динамических экспертных систем (ДЭС), которые позволяют учитывать режимы полета ЛА, имеют богатую базу данных и ансамбль оценочных критериев. Применение ДЭС на борту ЛА сопряжено со сложностями реализации, требованиями повышенной производительности БЦВС.

Прицельно-навигационные комплексы и комплексная обработка информации ЛА должны иметь высокую помехо- и отказоустойчивость, позволяют получать достоверную навигационную информацию во всем диапазоне условий их функционирования.

Таким образом, выделен комплекс проблем, который целесообразно решить в процессе диссертационного исследования: разработать структуру системы контроля работоспособности ПНК ЛА на основе принципов функционирования ДЭС, а также высокоточные алгоритмы контроля состояния ПНК и отдельных навигационных систем ЛА.

Для контроля измерительного комплекса разработана структура алгоритмического обеспечения на основе теории функциональных систем П.К. Анохина. Контроль будущего состояния измерительного комплекса и комплекс мер по предотвращению увеличения погрешностей приборов осуществляется с помощью акцептора действия. Предложена структура редуцированной динамической экспертной системы (см, рисунок) с интеллектуальной компонентой [2], в качестве которой использован акцептор действия, включающий алгоритмы оценивания, построения моделей, прогнозирования и сравнения результатов [6, 7].

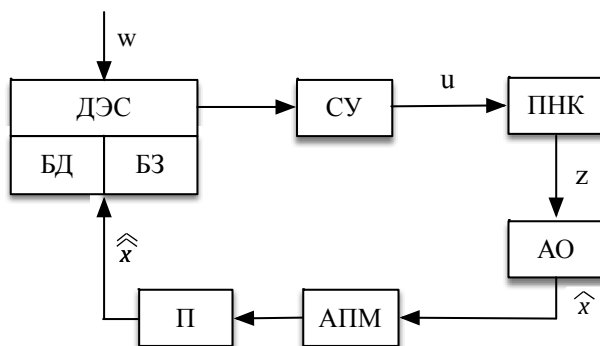


Рис. 1. Структура редуцированной ДЭС с интеллектуальной компонентой

На рис. 1 введены следующие обозначения: СУ — система управления; АО — алгоритм оценивания; АПМ — алгоритм построения моделей; П — алгоритм прогноза; БД — база данных; БЗ — база знаний;  $\mathbf{w}$  — вектор внешних возмущений;  $\mathbf{u}$  — вектор управления;  $\mathbf{z}$  — вектор измерений;  $\hat{x}$  — оценка редуцированного вектора состояния ПНК;  $\hat{x}$  — редуцированный вектор прогнозных значений состояния ПНК.

Динамическая экспертная система ЛА работает на основе информации БД и БЗ. Информация о результатах функционирования ПНК ЛА поступает в БД, где выполняется первоначальная обработка данных для обеспечения эффективного построения моделей, выявления и отсеивания аномальных измерений, формирования измерений в выборках и т. д. В БД информация сохраняется в упорядоченной форме в двух частях памяти — долгосрочной и краткосрочной. В долгосрочной памяти сохраняются шаблоны, т. е. совокупность данных, соответственно четко обусловленному режиму функционирования ЛА и прогнозирующие модели, используемые для конкретных условий полета. В краткосрочной памяти сохраняются все динамические данные, которые оперативно обновляются при поступлении новых измерений.

Предварительно обработанные в ПНК выборки поступают в акцептор действия, где происходят оценивание ключевых параметров ПНК, построение прогнозирующих моделей и прогноз его состояния, а также сличение результатов прогноза с реальными результатами действия.

Оценивание ключевых параметров ПНК ЛА осуществляется с помощью алгоритма оценивания, например фильтра Калмана. Для получения нерасходящихся оценок в практических приложениях используют различные адаптивные модификации фильтра Калмана [4]. В качестве алгоритма построения прогнозирующих моделей используют нейронные сети, алгоритмы самоорганизации и генетические алгоритмы.

Полученные прогнозирующие модели для данной конкретной ситуации используются для прогноза значений ключевых параметров ПНК. Результаты прогноза поступают в БЗ, где сравниваются со значениями, установленными для выполняемого режима функционирования ЛА. Также прогнозными значениями ключевых параметров ПНК пополняются БД ДЭС, затем информация о будущих нарушениях функционирования ПНК передается в СУ для формирования управляющего воздействия на ПНК.

Предложена структура редуцированной ДЭС, в которой использованы прогнозирующие модели контролируемых ключевых параметров. Редуцированный вектор состояния сформирован на основе концепции динамического системного синтеза [8] и эволюционных алгоритмов построения моделей.

#### Литература

- [1] Буй Ван Кыонг, Неусыпин К.А. Алгоритмический способ повышения точности навигационных систем. *Автоматизация. Современные технологии*, 2005, № 7, с. 11–14.
- [2] Неусыпин К.А. Концептуальный синтез интеллектуальных систем. *Автоматизация. Современные технологии*, 2000, № 6, с. 23–27.
- [3] Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Разработка измерительного комплекса с интеллектуальной компонентой. *Измерительная техника*, 2016, № 9, с. 10–14.
- [4] Неусыпин К.А., Шелухина Н.А. Коррекция навигационной информации посредством нелинейного фильтра Калмана. *Автоматизация. Современные технологии*, 2000, № 4, с. 21–24.
- [5] Фам С.Ф., Цибизова Т.Ю. Системы управления летательными аппаратами. Тр. Междунар. науч.-прак. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты». Москва, Изд-во МГОУ, 2014, с. 194–196.

- [6] Цибизова Т.Ю. Синтез алгоритма прогноза для системы управления летательным аппаратом. *Проблемы машиностроения и автоматизации*, 2006, № 4, с. 52–54.
- [7] Цибизова Т.Ю., Шень К., Неусыпин К.А. Исследование алгоритмов оценивания в задаче коррекции навигационных систем летательных аппаратов. *Фундаментальные исследования*, 2015, № 6-2, с. 301–305.
- [8] Селезнева М.С., Шень К., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Динамический системный синтез алгоритмического обеспечения навигационного комплекса летательного аппарата. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, 2017, № 2, с. 36–42.

## Control System Sighting-Navigation Complex Aircraft

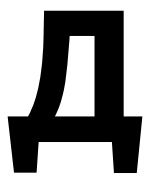
© | Chzho Zin Khtut  
Neusypin K.A.

neusypin@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Researched methods of control aiming and navigation systems of modern aircraft. Osushestvleniya for comprehensive condition monitoring of complex dynamic developed expert system with the reduced structure.*

**Keywords:** *aircraft sighting and navigation system, control, dynamic expert system, reduced structure.*



# Развитие инженерного образования

УДК 378.162.3

## Применение технических средств обучения в современном образовательном процессе

© | Арсенькина Любовь Сергеевна  
Буренина Валентина Игоревна

asteriskv@rambler.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Достижения науки и техники надежно укрепились во всех сферах жизнедеятельности человека, в том числе и в образовательной. В статье рассмотрены процессы применения технических средств обучения в рамках образовательного процесса. Авторы анализируют нормативную базу, подтверждая необходимость применения подобных средств на практике. По их мнению, применение технических средств обучения способствует наилучшему восприятию материала студентом. Статья описывает применение технических средств обучения на лекционных, семинарских занятиях и лабораторных работах с целью улучшения качества образовательного процесса в целом.*

**Ключевые слова:** *технические средства обучения, педагогика, образование, судебная экспертиза.*

Достижения науки и техники плотно укрепились в нашей современной жизни. В сфере образования применение технических средств играет очень важную роль. В рамках учебного процесса средства, обеспечивающие организацию образовательной деятельности, получили название «технических средств обучения», которые способствуют оптимизации учебного процесса. Следует отметить, что такого рода средства в первую очередь применяются с целью улучшения восприятия информационного материала студентом и повышения качества образования в целом. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» не закрепляет понятие технических средств обучения, однако устанавливает, что: «средства обучения и воспитания — приборы, оборудование, учебно-наглядные пособия, компьютеры, аудиовизуальные средства, печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы и иные материальные объекты, необходимые для организации образовательной деятельности». В данной области имеется ряд трудов автора Коджаспировой Г.М., которая толкует технические средства обучения как «совокупность технических устройств с дидактиче-

ским обеспечением, применяемых в учебном процессе с целью его оптимизации для предъявления и обработки информации» [1]. Таким образом, под техническими средствами обучения следует понимать устройства, оборудование, которые используются в рамках образовательного процесса в установленном законом порядке с целью повышения качества образовательного процесса.

По мнению ученых Франсуа-Мари Жерар и Ксавье Рожье, процесс обучения не обходится без использования документов. Понятие «документ» у авторов обобщает такие элементы как текст, рисунок, фотография, схема и т. д. Однако носителем такой информации может являться не только бумага: «это может быть диапозитив, экран компьютера или телевизора» [2]. Последние — тоже своего рода технические средства, как и «умные доски», проекторы, компьютеры и др.

Применение такого рода средств на территории Российской Федерации регламентируется рядом нормативно-правовых актов: Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации», а также федеральными государственными образовательными стандартами. Настоящие документы требуют от образовательной организации широкого применения технических средств обучения. Так как речь идет об организации учебного процесса, уставные документы университетов, положения о структурных подразделениях также закрепляют подобные положения.

Современный преподаватель стремится сделать учебный процесс качественным и эффективным. Преподаватель реализует свои творческие способности при планировании учебных занятий, а также посредством внедрения в учебный процесс технических средств обучения. Применение такого рода средств способствует тому, что студент воспринимает информацию не только посредством органов слуха, но и органами зрения. Научкой доказано, что левое и правое полушария человеческого мозга отвечают за разные виды восприятий [3]. Когда функционируют оба полушария одновременно, восприятие материала возрастает в разы. Достичь высокого уровня восприятия можно посредством чтения материала вслух в сопровождении схем, рисунков, мультимедийных презентаций и т. д. Последние демонстрируют обычно с помощью технических средств обучения. Благодаря творческому подходу преподавателя к использованию технических средств на занятиях студент с интересом воспринимает материал образовательной программы.

Современные образовательные программы подразумевают проведение лекционных, семинарских занятий [4–9]. Лекционные занятия эффективно проводить с использованием презентационного оборудования в соответствии со сказанным выше. На семинарских занятиях технические средства обучения использует как преподаватель, так и студент. Демонстрационное оборудование применяется, например, при подготовке презентаций студентами или при демонстрации видеофайлов преподавателем. Также на занятиях активно используются «умные доски», сочетающие в себе функции привычной доски и демонстрационного устройства. Демонстрация изображений, схем, презентаций на лекционных и семинарских занятиях способствует эффективному освоению программы дисциплины студентами.

Во время лабораторных работ наиболее активно применяются технические средства обучения, и прежде всего — компьютерная техника. Компьютер в данном случае — уникальный инструмент. Студенты выполняют определенные задания с использованием компьютера, зарабатывая тем самым свои практические навыки. При этом у студента активизируются органы зрения, слуха, задействуется воображения.

В век современных технологий нельзя представить себе жизнь любой из сфер общества без достижений науки и техники. В образовательном процессе применение

технических средств обучения — обязательное требование закона. К техническим средствам обучения относится демонстрационное оборудование, компьютеры и иные устройства. Даже самые распространенные средства, такие как компьютер и презентационное оборудование, играют важную роль в образовательном процессе. Целью применения технических средств обучения является улучшение восприятия студентом преподаваемого материала и качества образования в целом.

### Литература

- [1] Коджаспирова Г.М., Петров К.В. Технические средства обучения и методика их использования: учеб. пособие. Москва, Издательский дом «Академия», 2008, 256 с.
- [2] Жерар Франсуа-Мари, Ксавье Роже. Разработка и анализ школьных учебников. Вильнюс, Издательство «АВ ОВО», 1998, 378 с.
- [3] Беловский Г.Г. *Современные технические средства обучения в профессиональной подготовке педагога*: учеб. пособие. Минск, Высшая школа, 2008, 223 с.
- [4] Бьюзен Т., Бьюзен Б. *Супермышление*. Минск, Попурри, 2017, 320 с.
- [5] Буренина В.И. *Методологические принципы профессиональной подготовки преподавателей в высшей школе*. Ногинск, Аналитика Родис, 2014, 60 с.
- [6] Нагаева И.А., Дунаев А.Г., Цибизова Т.Ю., Новиков Р.А. Дистанционные образовательные технологии в системе обучения людей с ограниченными возможностями. *Тр. междунар. науч. конф «Актуальные вопросы фундаментальных наук»*, 2014, с. 89–92.
- [7] Терехова Н.Ю. Инновационная техническая поддержка сложного образовательного продукта. *Профессиональное образование и общество*, 2016, № 2 (18), с. 129–132.
- [8] Цибизова Т.Ю. Подготовка высококвалифицированных специалистов в системе непрерывного профессионального образования (на примере МГТУ им. Н.Э. Баумана). *European Social Science Journal*, 2011, № 2 (5), с. 154–159.
- [9] Цибизова Т.Ю., Терехова Н.Ю. О перспективах развития высшего образования в современных условиях. *European Social Science Journal*, 2013, № 2 (30), с. 62–67.

## Using of Technical Facilities of Teaching in Modern Process of Education

© | Arsenkina Liubov Sergeevna  
Burenina Valentina Igorevna

asteriskv@rambler.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article is considering process of using technical facilities of teaching in process of education. Authors think that using this technical facilities in practice is important for students and for teachers too. In their opinion this method of education is better for pupils to understand the material. The article describes the application of technical training tools to improve the quality of the educational process.*

**Keywords:** *technical facilities of teaching, teaching, education, forensics*

УДК 378.147

## Компьютерно-ориентированная методика преподавания технологического курса с элементами интерактивности

© Глушко Андрей Александрович	andrei19386@mail.ru
Зинченко Людмила Анатольевна	lzinchenko@bmstu.ru
Резчикова Елена Викентьевна	rezc-elena@yandex.ru
Шахнов Вадим Анатольевич	shakhnov@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены проблемы обучения по технологическим курсам. Показаны преимущества использования интерактивных методик при обучении.*

**Ключевые слова:** обучение, технология, интерактивность, ВУОД.

В традиционной системе высшего технического образования единственным профессионально достоверным источником знаний были лекции, поэтому студентам необходимо было их посещать, конспектировать, прорабатывать и усваивать. Учебные мультимедийные материалы по узким профессиональным темам практически отсутствовали. В этой ситуации для студентов посещение лекции было обязательным условием. С появлением Интернета, компьютеров, смартфонов и различных гаджетов мотивация студентов на лекциях внимательно слушать и трудиться конспектировать материал, вникать в темы начала постепенно падать. Многие преподаватели, желая дать больше интересного и нужного материала, сами раздают электронные материалы курса, надеясь улучшить знания по дисциплине. Таким образом, пассивная аудиторная трансляция знаний, информации становится практически бессмысленной. Студенты это поняли раньше преподавателей и используют лекционное время по своему усмотрению, что стало возможным при свободном доступе в Сеть и массовом распространении электронных гаджетов. В результате таких сдвигов качество усвоения материала непосредственно в аудитории оказалось очень низким, а это негативно отражается на инженерной подготовке. Проблем добавили и изменения в школьном образовании, мощная агрессивная визуальная среда.

Ответом на эти изменения было появление новых электронных обучающих технологий, электронной педагогики, эвристического обучения, структурно-логических схем, мультимедиа и т. п. [1–3]. Важное значение приобретает в этой ситуации интерактивный характер общения студентов и преподавателей.

Применительно к особенностям обучаемого контингента современный технологический курс выглядит так. На лекциях используются информационные технологии, с участием которых организуются внешние и внутренние коммуникативные потоки. Курс подготовлен в двух вариантах: электронном текстовом виде и в виде презентаций. Каждая лекция дополнена видеороликами (клиповый вид). Видеоролики делятся на две группы: информационные и методические. В информационных роликах представлены процессы, которые невозможно показать непосредственно, например, в нанотехнологиях. Методические ролики знакомят студентов с некоторыми стратегиями поиска технических решений, видами и методиками поиска информации и др. В ходе учебного процесса широко используются ресурсы Интернета.



Раздаточный материал для студентов предусматривает использование методики обучения BYOD (Bring Your Own Device) — принеси свое собственное устройство — и построен с ориентацией на «умные» электронные учебники, в которых содержание адаптировано в зависимости от уровня знаний и потребностей обучаемых. Методика предполагает обратную связь в виде вопросов по теме. Ответ может быть подготовлен преподавателем в виде мультимедийного ролика или презентации. Например, на лекции по технологии был задан вопрос о том, какой фоторезист дает более точный рисунок и почему. Для ответа была подготовлена презентация, где заинтересовавшая тема была рассмотрена во всех подробностях и углубленно (рис. 1).

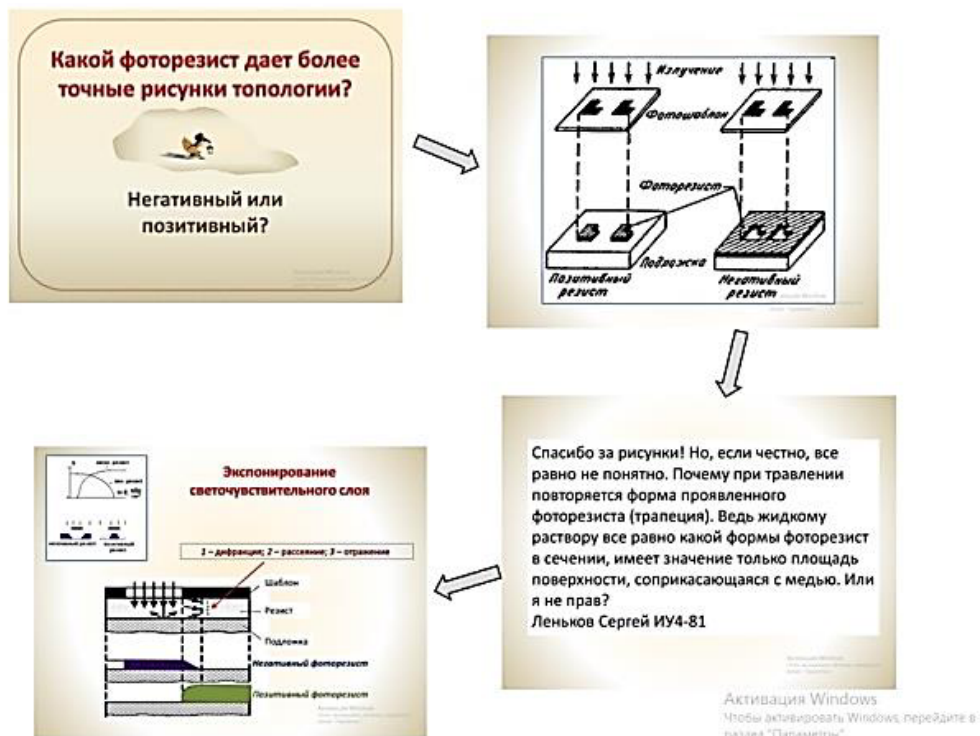
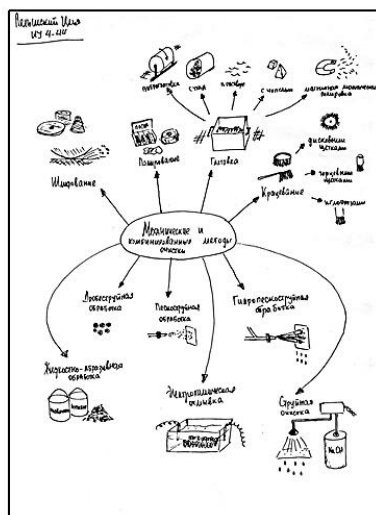
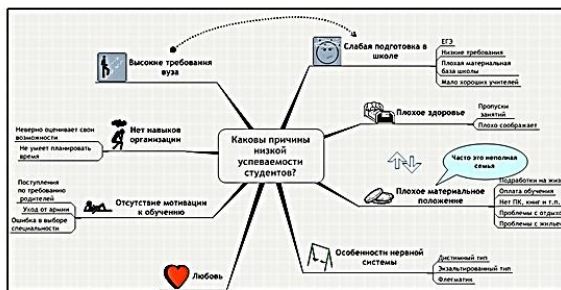


Рис. 1. Пример интерактивного изучения темы

В учебном процессе используются программы построения структурно-логических схем (Mind-Map, С-MapTools и др.). Они обеспечивают системную организацию материала курсов и облегчают понимание и усвоение сложных тем. Кроме того, карты позволяют сформировать интерактивный диалог между студентами и преподавателем. Во-первых, по тому, как на этапах отчета студенты представляют материалы курса при помощи карт, можно судить о качестве усвоения ими профессиональных знаний. Во-вторых, картирование позволяет студенту описать свои проблемы и затруднения и построить вместе с преподавателем карту решения проблем. И в-третьих, преподаватель может картами отобразить планы индивидуальной траектории обучения студента, например, по конструкторско-научно-исследовательским работам, курсовому и дипломному проектированию и т. п. (рис. 2).



а



б



в

Рис. 2. Пример интерактивного диалога картированием:  
а — отчет по теме лекций; б — проблемы обучения; в — план работ по проектам

Современные средства позволяют создавать по тематике курса программы мультимедийного моделирования технологических процессов. Для этого используют различные среды, в частности, мультимедийную среду Adobe Flash.

Для проведения семинарских занятий полезно применять методику, которая предусматривает использование специальных электронных рабочих тетрадей, заданий по модулям изучаемой дисциплины и раздаточного информационного материала по изучаемому курсу. Каждая рабочая тетрадь позволяет освоить и закрепить применение одного из когнитивных инструментов: причинно-следственного анализа, разрешения противоречий, морфологического подхода, функционального анализа и др.

Такой курс легко можно изменять, дополнять и настраивать на аудиторию благодаря электронным технологиям. Раздаточный материал каждый студент может осваивать самостоятельно, получая консультации преподавателя в аудитории либо через электронную почту или скайп. Степень усвоения курса контролируется по выполнению заданий, оцениваемых в баллах, которые в сумме образуют модули.

*Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-06-00404 а.*

**Литература**

[1] Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezchikova E.V., Vetrov V.A. Distinctions of a learning content for education in the field of nanotechnology. *International Journal of Nanotechnology*, 2017, vol. 14, issue 7-8, pp. 690–697.

- [2] Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Резчикова Е.В., Глушко А.А., Сергеева Н.А. Особенности тенденции BYOD в инженерном образовании. *Образовательные технологии и общество*, 2016б № 4, с. 334–345.
- [3] Shakhnov V., Vlasov A., Zinchenko L., Rezchikova E. Visual learning environment in electronic engineering education. *Pr. of 2013 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 2013, pp. 379–388.

## Learning Methodology for Materials Science Courses Using Interactive Technology

©	Glushko A.A.	andrei19386@mail.ru
	Zinchenko L.A.	lzinchenko@bmstu.ru
	Rezchikova E.V.	rezc-elena@yandex.ru
	Shakhnov V.A.	shakhnov@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*Learning problems for materials science courses are discussed. It is shown that application of interactive technology can overcome the problems.*

**Keywords:** *learning, technology, interactive technology, BYOD.*

УДК 377

## Необходимость создания отраслевой рамки квалификации в машиностроении

©	Гришин Дмитрий Владимирович	dvgrishin@yandex.ru
	Тихонов Алексей Иванович	engecin_mai@mail.ru

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, 125993, Россия

*Отраслевая рамка квалификаций в машиностроении определяет требования к уровню квалификации через дескрипторы, отражающие специфику отрасли. Отраслевая рамка в машиностроении станет единой метрикой для всех обобщенных трудовых функций всех профессиональных стандартов отрасли (58 утверждены и 40 разрабатываются), определяя их квалификационный уровень и помогая описать предметные знания, умения и навыки необходимые для выполнения трудовых действий.*

**Ключевые слова:** *национальная рамка квалификаций, профессиональные стандарты, квалификация.*

Необходимость создания квалификационной рамки в совместном коммюнике озвучили министры образования стран — участников Болонского процесса еще в 2003 г. Они сформулировали потребность создания «...системы согласованных, соизмери-

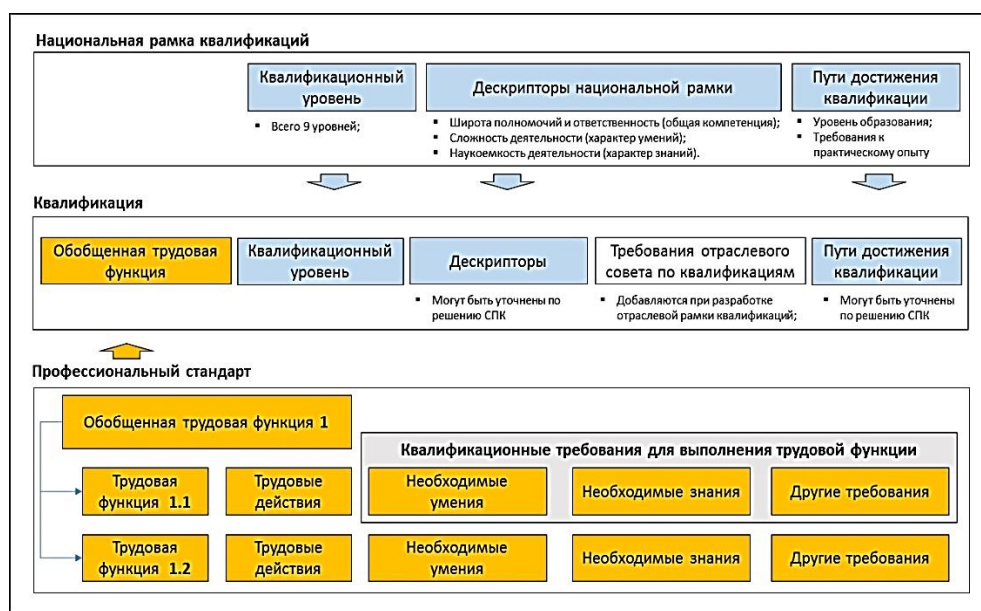
мых и сопоставимых квалификаций для высшего образования для всей Европы» [1]. Дублинские дескрипторы, сформулированные в рамках Болонского процесса, для описания квалификаций трех ступеней высшего образования легли в основу Европейской рамки квалификаций EQF (FQ — ENEA), которая вступила в силу в 2008 г. и была рекомендована к имплементации странам Евросоюза до 2010 г., а к 2020 г. страны должны были обеспечить соответствие индивидуальных свидетельства о квалификации квалификационным уровням FQ — ENEA. Европейская рамка квалификаций имеет восемь уровней и для каждого уровня описывает требования к «Широким компетенция», «Знаниям» и «Умениям/Навыкам». Если в EQF (FQ — ENEA) термин компетенция позволяет определять уровни способностей и умений, то EQF-LLL (Европейская рамка квалификаций образования на протяжении всей жизни) состоит из восьми уровней и трактует термин компетенция как способность применять знания на практике.

Международная организация труда (МОТ) усматривает создание национальных рамок квалификаций как основное решение задачи признания умений независимо от способа их получения. Разработка таких рамок ведется в более чем 100 странах мира, в том числе и в России, где национальная рамка квалификаций согласно ее описанию [2] «является инструментом сопряжения сферы труда и сферы образования и представляет собой обобщенное описание квалификационных уровней и основных путей их достижения, признаваемых на территории России». Национальная рамка квалификаций была разработана в 2008 г. Российским союзом промышленников и предпринимателей совместно с Минобрнауки России с учетом Европейской рамки квалификаций и рекомендаций Болонского и Копенгагенского процессов, и насчитывает девять уровней и для каждого из них описываются «Широта полномочий и ответственность», «Сложность деятельности (характер умений)», «Научоемкость деятельности (характер знаний)», «Пути достижения квалификации». Квалификационные уровни описаны через набор дескрипторов, отличных от использовавшихся в EQF (FQ — ENEA), но такие же широкие. С целью обеспечить сопряжение со сферой труда в 2012 г. Минздравсоцразвития России были подготовлены Методические рекомендации по разработке отраслевых рамок квалификаций (ОРК) [3].

В настоящее время остро стоит вопрос о необходимости разработки и официального утверждения отраслевой рамки машиностроения, при этом уже разработаны отраслевые рамки смежных с машиностроением отраслях: авиастроении, автомобилестроении, атомной промышленности, ракетно-космической отрасли. Наследуя общий подход национальной рамки в каждой отрасли, было предложено свое наполнение дескрипторов предметным содержанием отрасли. Зачастую отраслевую рамку дополняют двумя новыми категориями:

- рекомендуемые наименования должностей;
- основные виды трудовой деятельности или укрупненная группа профессий (специальностей, направлений).

Например, в Роскосмосе для ракетно-космической отрасли включили такую категорию как «Личностные компетенции». Отраслевая рамка квалификаций является метрикой для всех квалификаций конкретной отрасли, определяя их уровень. Квалификация, в свою очередь является основным элементом независимой системы оценки, так например, центр оценки квалификаций при своем создании должен указать наименования квалификаций и требования к квалификации, на соответствие которым он проводит независимую оценку (см. рисунок).



### Взаимосвязь понятий «квалификация» в России

На самом детальном уровне, при разработке профессиональных стандартов, трудовой функции присваивается квалификационный уровень [4–6] на основании дескрипторов национальной либо отраслевой рамки. Затем формируются квалификационные требования в разделах «Необходимые умения» и «Необходимые знания» как умения и знания, обеспечивающие выполнение всех трудовых действий. Именно их и проверяют у кандидата в рамках квалификационного экзамена во время независимой оценки процедуры подтверждения соответствия квалификации соискателя положениям профессионального стандарта.

### Литература

- [1] *Realising the European Higher Education Area*. Communiqué of the Conference of Ministers responsible for Higher Education Berlin, 19.09.2003 [Электрон. ресурс]. [www.bologna-berlin2003.de/pdf/Communique1.pdf](http://www.bologna-berlin2003.de/pdf/Communique1.pdf) (дата обращения 01.09.2016).
- [2] Батрова О.Ф., Блинов В.И., Волошина И.А. *Национальная рамка квалификаций Российской Федерации*. Москва, ФИРО, 2008, 14 с.
- [3] *Проект приказа Минздравоохранения России от 16.02.2012 г. «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке отраслевых рамок квалификаций»*. [Электрон. ресурс]. [www.consultant.ru/law/doc/17290.html](http://www.consultant.ru/law/doc/17290.html)
- [4] *Приказ Минтруда России от 12.04.2013 г. №148н «Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов»*. [Электрон. ресурс]. [www.consultant.ru/doc/cons\\_doc\\_LAW\\_146970/](http://www.consultant.ru/doc/cons_doc_LAW_146970/) (дата обращения 01.09.2016).
- [5] Тихонов А.И., Гришин Д.В. Необходимость создания всероссийского уполномоченного органа в системе оценки и сертификации квалификаций. *Успехи современной науки и образования*, 2016, т. 2, № 10, с. 73–77.
- [6] Тихонов А.И., Гришин Д.В. Разработка новой системы управления и сертификации профессиональных квалификаций в авиастроительной отрасли. *Московский экономический журнал*, 2016, № 2, с. 39.

## Need of Creation of a Branch Frame of Qualification for Mechanical Engineering

© | Grishin D.V.  
Tikhonov A.I.

dvgrishin@yandex.ru  
engecin\_mai@mail.ru

Moscow Aviation Institute (national research university), Moscow, 125993, Russia

*The framework of qualifications in mechanical engineering determines the requirements for the level of qualification, through descriptors reflecting the specifics of the industry. The sectoral framework in engineering will become a uniform metric for all generalized labor functions of all professional standards of the industry (58 approved and 40 is developed), determining their qualification level and helping to describe the subject knowledge of the skills and skills necessary to perform labor activities.*

**Keywords:** national framework of qualifications, professional standards, qualification

УДК 004.9

## Место SCADA-пакетов как составной части информационных технологий в учебной подготовке инженеров

© | Зарипова Римма Солтановна

zarim@rambler.ru

Казанский государственный энергетический университет, Казань, 420066, Россия

*Современные информационных технологий управления технологическими объектами на базе SCADA-систем уже глубоко проникли в промышленную автоматизацию. Изучение и применение SCADA-технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации.*

**Ключевые слова:** SCADA-система, системы автоматизации и управления.

Разработка программного обеспечения для автоматизированных систем управления требует использования все более развитых инструментальных средств типа SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных). Концепция SCADA предопределена всем ходом развития систем управления и результатами научно-технического прогресса. Применение SCADA-технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации. К трудностям освоения в России новой информационной технологии, какой являются SCADA-системы, относятся как отсутствие эксплуатационного опыта, так и недостаток информации о таких системах. В мире насчитывается много компаний, занимающихся разработкой и внедрением SCADA-систем [1]. Разработка современной SCADA-системы требу-

ет больших вложений и выполняется в длительные сроки. Перечислим основные возможности и средства, присущие всем системам и различающиеся только техническими особенностями реализации:

- автоматизированная разработка, дающая возможность создания программного обеспечения системы автоматизации без реального программирования;
- средства сбора первичной информации от устройств нижнего уровня;
- средства управления и регистрации сигналов об аварийных ситуациях;
- средства хранения информации с возможностью ее пост-обработки (как правило, реализуется через интерфейсы к наиболее популярным базам данных);
- средства обработки первичной информации;
- средства визуализации представления информации в виде графиков и т. п.;
- возможность работы прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемых как единое целое.

Основу большинства SCADA-пакетов составляют несколько программных компонентов (базы данных реального времени, ввода-вывода, предыстории, аварийных ситуаций) и администраторов (доступа, управления, сообщений) [2].

Следует отметить, что технология проектирования систем автоматизации на основе различных SCADA-систем во многом схожа и включает следующие этапы:

1) разработка архитектуры системы автоматизации в целом. На этом этапе определяется функциональное назначение каждого узла системы автоматизации, решение вопросов, связанных с возможной поддержкой распределенной архитектуры, необходимостью введения узлов с горячим резервированием и т. п.;

2) создание прикладной системы управления для каждого узла. На этом этапе специалист наполняет узлы архитектуры алгоритмами, совокупность которых позволяет решать задачи автоматизации;

3) приведение параметров прикладной системы в соответствие с информацией, которой обмениваются устройства нижнего уровня (например, программируемые логические контроллеры) с внешним миром (датчики температуры, давления и др.);

4) отладка созданной прикладной программы в режиме эмуляции и в реальном режиме [3].

Перечисленные выше возможности систем SCADA определяют стоимость и сроки создания программного обеспечения, а также сроки ее окупаемости. Современные информационные технологии управления технологическими объектами на базе SCADA-систем уже глубоко проникли в промышленную автоматизацию. Дальнейшее развитие таких систем неотъемлемо связано с развитием методов и средств искусственного интеллекта. Один из главных путей развития — интеллектуализация SCADA-систем путем создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений и их интеграции с классическими SCADA-системами. Другой многообещающий подход к повышению автономности и надежности SCADA-систем состоит в использовании беспроводных сенсорных сетей и построении интеллектуальных сред.

Моделирование технологического процесса с использованием SCADA-системы делают контроль и управление технологическим процессом более наглядными, что в свою очередь способствует улучшению понимания физики протекающих процессов. Систему можно настроить таким образом, что доступ к настройкам и элементам управления технологическим процессом будут доступны только преподавателю (администратору), а студенты (обычные пользователи) будут только наблюдать за рабо-

той модели без возможности вмешательства либо влиять на работу модели только в заданных пределах. Сбор измеренных значений осуществляется вычислительным комплексом. В состав вычислительного комплекса входит персональный компьютер и специализированное программное обеспечение [4].

### Литература

- [1] Тарасов В.Б., Святкина М.Н. Интеллектуальные SCADA-системы: истоки и перспективы. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
- [2] Максимова Е.А., Гришюк С.Н. Использование SCADA-технологий в современных автоматизированных системах управления. *Молодой ученый*, 2015, № 22.5, с. 45–48.
- [3] Ситников Ю.К., Ситников С.Ю. Применение САПР для проектирования специализированных цифровых устройств при изучении функциональных узлов информационных систем. *Ученые записки ИСГЗ*, 2015, № 1, с. 489–493.
- [4] Галеев С.Р., Зарипова Р.С. Информационно-измерительная система технологического контроля параметров центрального теплового пункта. *Матер. IV Рос. молодежной научной школы-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи»*, Томский политехнический университет, 2016, т. 2, с. 328–329.

## The Place the SCADA Packages as Component of the Information Technologies in the Educational Training Specialists

© | Zaripova R.S.

zarim@rambler.ru

Kazan State Energy University (KGEU), Kazan, 420066, Russia

*Modern managements of information technologies of technological objects based on SCADA systems already deeply got into industrial automation. Application of SCADA technologies allows to reach the high level of automation in the solution of tasks of development of systems of management, collection, handling, transfer, storage and display of information.*

**Keywords:** SCADA-system, systems of automation, control systems.

УДК 378.14

## Профессионально-ориентированный подход при подготовке высококвалифицированных кадров

© | Комкова Татьяна Юрьевна  
Цибизова Татьяна Юрьевна

tkomkova@bmstu.ru  
mumc@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Статья посвящена задачам подготовки высококвалифицированных кадров для современной наукоемкой промышленности. Для реализации этих задач определяющим*



является профессионально-ориентированный подход подготовки высококвалифицированных научных и инженерных кадров для современной промышленности, основанный на интеграции науки, образования и производства, формирующий профессиональную компетентность обучающихся.

**Ключевые слова:** профессионально-ориентированный подход, компетентность, высококвалифицированные кадры, высокотехнологичные отрасли промышленности, образовательный процесс.

Для России, учитывая нынешнее состояние промышленности, и особенно для стратегически важных ее отраслей, крайне необходимо предпринять срочные меры для мощной модернизации именно инженерного образования. Эти меры должны быть направлены, в первую очередь, на коренной пересмотр содержания учебных дисциплин [1] и обеспечение учебного процесса современными техническими средствами в сочетании с крупномасштабной заменой лабораторного и исследовательского оборудования на современные образцы техники и приборов.

Для реализации указанных задач определяющим является профессионально-ориентированный подход подготовки высококвалифицированных научных и инженерных кадров для современной промышленности, основанный на интеграции науки, образования и производства, формирующий профессиональную компетентность обучающихся [2].

*Компетенция* — способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области (Федеральные государственные образовательные стандарты 3-го поколения) [3].

*Компетентность* — основывающийся на знаниях, интеллектуально и личностно обусловленный опыт социально-профессиональной деятельности человека. Следовательно, стать компетентным человек может только после приобретения в соответствующей области компетенции информации, знаний и практического опыта.

Тогда профессионально-ориентированный подход служит формированию в процессе исследовательской деятельности необходимых компетенций, ориентированных на профессиональное поле деятельности, использование которых в образовательном процессе позволит:

- проектировать вариативные структуры образовательных программ;
- перенести акцент в обучении с предметно-дисциплинарной и содержательной сторон (при одновременном сохранении их достоинств) на исследовательскую и практическую деятельность;
- ориентировать подготовку выпускников на эффективную профессиональную деятельность в будущем;
- привлекать к формированию образовательных стандартов и учебных планов работодателей;
- вводить в учебный процесс все более широкий спектр практической и исследовательской деятельности — профориентированные занятия, производственные практики, лабораторные работы, курсовые проекты и т. д.;
- увеличить степень свободы обучающихся в выборе ими различных индивидуализированных образовательных программ;
- обеспечить сравнимость уровней квалификаций в национальном и международном аспектах.

Иными словами, обучающийся должен не только получить некий массив знаний и отработать совокупность умений. По завершении обучения он должен уметь и хотеть делать то, ради чего все обучение и затевалось.

Таким образом, в рамках профессионально-ориентированного подхода образование и обучение становятся комплексными, многофакторными, многопрофильными. Учащимся передаются не только знания и навыки, необходимые для дальнейшей профессиональной деятельности, но также формируются индивидуальные характеристики, развиваются определенные личностные качества, нарабатываются конкретные алгоритмы эффективной деятельности.

Высококвалифицированный специалист (инженер) — главная фигура в технических отраслях промышленности. На него возлагается обязанность разрабатывать новые, а также поддерживать и развивать действующие образцы техники и технологий.

Поэтому специалист должен обладать следующими основными качествами и характеристиками: высшее образование; практические навыки и умения; знания в своей предметной (профессиональной) области; опыт работы *и достижения в конкретной области деятельности*; знания в смежных профессиональных областях; стремление постоянно обогащать свои знания; инициативность, готовность к активной профессиональной и социальной деятельности; умение ориентироваться в быстроизменяющемся информационном поле; умение аналитически мыслить, саморазвивается и самовоспитывается [4]. Тогда подготовка специалистов для высокотехнологичных производств и качество такого образования является главной задачей системы непрерывного образования [5].

С другой стороны, характеристики знаний, умений, навыков и компетенций формируются сообществом специалистов из промышленности, общего и высшего образования, академической науки, сферы обслуживания. Следовательно, необходимым условием является сотрудничество работодателей с системой образования, промышленности с образованием, связь предприятия со средними и высшими образовательными учреждениями.

Тогда совместными усилиями структурные составляющие системы непрерывного образования будут связаны друг с другом функционально и работать на общую цель — подготовку высококвалифицированных специалистов [6].

Обеспечение современного производства высококлассными специалистами возможно лишь при наличии профессионально-ориентированного образования, опирающегося на систему научной подготовки кадров [7]. От этого в значительной степени зависит способность страны к созданию наукоемких технологий как важнейшего условия укрепления ее национальной безопасности.

Учитывая все вышесказанное, предлагаются следующие возможности решения вопросов, связанных с повышением эффективности подготовки высококвалифицированных специалистов:

- усилить влияние промышленности на образовательный процесс в системе непрерывного профессионального образования с возможностью корректировать запрос на подготовку по конкретным специальностям и квалификациям (бакалавр, специалист, магистр) и образовательные стандарты в образовательном процессе высшего образования;
- разработать систему общественно-профессиональной аккредитации вузов на основе повышения качества образования, востребованности в данных специальностях, конкурентоспособности выпускников и т. д.;
- повысить эффективность взаимодействия вузов и предприятий для реализации целевого набора [2];

- усилить материально-техническую базу вузов, обеспечивать производственные практики, соотносить темы научно-исследовательских работ, курсовых и дипломных проектов с реальными задачами промышленности;
- осуществлять научно-исследовательское сотрудничество между вузами и предприятиями;
- при проведении федеральных целевых программ и научно-исследовательских конструкторских работ промышленными предприятиями обязательным условием включить участие высших учебных заведений;
- обеспечивать взаимную научную и обучающую интеграцию между вузами и предприятиями;
- содействовать в обеспечении повышения квалификации, переподготовки, стажировки, второго высшего образования для сотрудников предприятий.

### Литература

- [1] Спиридонов О.В., Ополонская О.К., Гузева Т.А. Сопряжение образовательных и профессиональных стандартов: проблемы и решения. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2016, № 5, с. 74–79.
- [2] Цибизова Т.Ю. Подготовка высококвалифицированных специалистов в системе непрерывного профессионального образования (на примере МГТУ им. Н. Э. Баумана). *European Social Science Journal*, 2011, № 2 (5), с. 154–159.
- [3] Гузева Т.А., Спиридонов О.В., Ополонская О.К. Анализ профессиональных компетенций в федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2017, № 1, с. 65–74.
- [4] Цибизова Т.Ю., Терехова Н.Ю. О перспективах развития высшего образования в современных условиях. *European Social Science Journal*, 2013, № 2 (30), с. 62–67.
- [5] Зеленцова Н.Ф., Зеленцова Е.В., Лаверычев И.Г. Региональные научно-учебные профориентационные центры политехнического образования, как структурный элемент системы непрерывной подготовки инженерных кадров для наукоемких отраслей промышленности. *Матер. Междунар. форума «Технологии в машиностроении — 2010»*, 2010, с. 145–149.
- [6] Черненький В.М., Зеленцова Е.В. Моделирование процессов подготовки специалистов. *Интеллектуальные системы труда одиннадцатого международного симпозиума*. Под ред. К.А. Пупкова, 2014, с. 324–326.
- [7] Комкова Т.Ю., Ягопольский А.Г. Кураторская работа при подготовке научных и инженерных кадров для ракетно-космической промышленности. *Инженерный вестник*, 2013, № 12, с. 9.
- [8] Гузева Т.А., Цибизова Т.Ю., Сергеев А.В. Особенности учебно-методической работы при обучении студентов целевого набора. *Современные проблемы науки и образования*, 2017, № 2, с. 159.

## Professionally-Oriented Approach for the Preparation of High-Qualified Personnel

© | Komkova T.Y.  
Tsbizova T.Y.

tkomkova@bmstu.ru  
mumc@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article is devoted to the tasks of training highly qualified personnel for modern high technology industry. To realize these tasks, a professionally oriented approach to the prep-*

aration of highly qualified scientific and engineering personnel for modern industry, based on the integration of science, education and production, which shapes the professional competence of students, is crucial.

**Keywords:** professionally oriented approach, competence, highly qualified personnel, high-tech industries, educational process.

УДК 378.14

## Процесс отбора студентов для военного обучения по программам подготовки солдат и сержантов запаса в организациях высшего образования

© Косовская Валентина Васильевна  
Цибизова Татьяна Юрьевна

kosva@bmstu.ru  
mumc@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены вопросы военной подготовки солдат и сержантов запаса в организациях высшего образования. Показано, что такая подготовка — требования современного общества. Освещены вопросы проведения конкурсного отбора студентов для осуществления военной подготовки. Сделан вывод о том, что такая подготовка обеспечивает обучающимся непрерывность обучения, получение качественной военной подготовки с практическим освоением основной профессиональной образовательной программы специальности, что расширяет их возможности по трудоустройству.*

**Ключевые слова:** военная подготовка, военно-учетная специальность, военная кафедра, подготовка кадров, образовательная программа.

Постиндустриальная эпоха предъявляет более высокие требования к квалификации и образованию кадров, ведет к росту числа людей, занятых в интеллектуальных сферах, к изменению интересов людей в сторону творческого развития и, следовательно, к изменению самой структуры общества, росту образовательных потребностей, повышению требований к качеству и уровню образования [2]. Развитие системы национального образования неразрывно связано с важнейшим направлением государственной политики в области развития науки и технологий — созданием национальной инновационной системы [1].

Такие задачи требуют новых подходов к военному обучению студентов, в том числе и возможность обучения их по программам подготовки солдат, матросов, сержантов и старшин запаса непосредственно в организациях высшего образования. Решая проблему особенности такой военной подготовки, общество создает систему образования и направляет в нее заказ на подготовку специалистов различных профилей и квалификаций [2].

Основная цель данной подготовки — обеспечить накопление в запасе военно-обученного резерва, предоставить молодым людям, получающим высшее образова-

ние в вузах страны, право самостоятельно выбрать один из способов исполнения конституционного долга по защите Отечества, обеспечить непрерывность обучения, получить качественную военную подготовку с практическим освоением военно-учетной специальности одновременно с получением высшего образования, расширить возможности по трудоустройству после окончания обучения, в том числе на государственную гражданскую или муниципальную службу [4, 5].

Отбор студентов для военного обучения по программам подготовки солдат и сержантов запаса в МГТУ им. Н.Э. Баумана происходит по всем вузовским направлениям и специальностям. Отбор кандидатов на военную кафедру для обучения по соответствующим программам осуществляется по результатам конкурса, обязательными критериями которого являются:

- состояние здоровья (прохождение медицинского освидетельствования в военкомате по месту воинского учета);
- профессионально-психологический отбор (тестирование сотрудниками военной кафедры; карта профессионально-психологического отбора из личного дела призывника);
- физическая подготовка (сдача нормативов на кафедре физического воспитания и валеологии).

Конкурсный отбор состоит из предварительного и основного отбора.

Предварительный отбор включает в себя определение соответствия гражданина требованиям, предъявленным к конкретным военно-учетным специальностям, проведение медицинского освидетельствования военно-врачебной комиссией для определения годности по состоянию здоровья к военной службе, профессионального психологического отбора.

*Медицинское освидетельствование* имеет целью определить соответствие гражданина требованиям, предъявляемым к военной подготовке по конкретным военно-учетным специальностям (направлениям военной подготовки), пригодность к военной службе по состоянию здоровья и проводится военно-врачебной комиссией в соответствии с Положением о военно-врачебной экспертизе.

Обучаться на военной кафедре имеет право только студент, признанный военно-врачебной комиссией (ВВК) годным к военной службе (категория «А») или годным к ней с незначительными ограничениями (категория «Б»).

*Профессиональный психологический отбор* — психологическое и психофизиологическое обследование кандидатов, направленное на получение объективных и надежных данных о личностных качествах и индивидуальных особенностях, проявлений психики кандидата, необходимых для успешного обучения и последующей служебной деятельности, а также оценку моральных и волевых качеств, условий воспитания и развития, мотивации и профессиональной направленности кандидата, содержание служебных и общественных (социально-психологических) характеристик.

В соответствии с требованиями нормативных правовых актов Правительства Российской Федерации и Минобороны России, гражданин на военной кафедре проходит непрерывное военное обучение (по учебным планам Факультета военного обучения (ФВО), на 2–3-м курсах обучения для направлений подготовки бакалавров и 4–5-м (3–4-м) курсах обучения — для специалитета).

К предварительному конкурсному отбору допускаются граждане Российской Федерации в возрасте до 30 лет, обучающиеся на первом курсе бакалавриата/специалитета по очной форме обучения и имеющие отсрочку от военной службы по призыву (для граждан, не проходивших военную службу), в том числе изъявив-

шие желание пройти военную подготовку по программам подготовки офицеров запаса, но не прошедшие по конкурсу.

Основной отбор проводится конкурсной комиссией среди студентов, прошедших предварительный отбор, на основании утвержденной методики.

До начала проведения предварительного отбора в вузе проводится собеседование (собрание) со студентами каждого факультета, желающими пройти военную подготовку согласно перечню направлений подготовки (специальностей), установленному квалификационными требованиями по военно-учетным специальностям на Факультете военного обучения. На собрании объясняют основные положения федерального законодательства, нормативные правовые акты Российской Федерации, ведомственные нормативные акты по военной подготовке, другие руководящие документы, условия и порядок конкурсного отбора граждан для допуска к военной подготовке, порядок организации и проведения военной подготовки, а также обязанности граждан, пребывающих в запасе Вооруженных Сил РФ.

Студенты, уклонившиеся от медицинского освидетельствования и (или) профессионального психологического отбора или признанные по их результатам не годными к военной службе, а также своевременно не представившие результаты медицинского освидетельствования и профессионального психологического отбора, к основному отбору не допускаются.

Основной отбор проводится в целях изучения результатов предварительного отбора кандидатов, их текущей успеваемости, оценки уровня физической подготовки, а также степени мотивации к военной службе.

По результатам основного отбора конкурсной комиссией принимается решение о допуске кандидатов к военной подготовке на Факультете военного обучения. Количество кандидатов, допускаемых к военной подготовке на факультете военного обучения при Университете, устанавливается Министерством обороны РФ.

По завершении обучения выпускники всех военно-учетных специальностей проходят учебные сборы в частях и учреждениях Министерства обороны РФ и сдают квалификационный экзамен. Выпускникам, успешно сдавшим последний экзамен и обучавшимся по программам подготовки сержантов и солдат, присваивается военно-учетная специальность и выдается военный билет с отметкой о пройденной воинской службе по призыву.

Такой подход позволяет российской армии получать подготовленных солдат и сержантов запаса, которые будут способны работать в случае необходимости в особый период на сложной военной технике. «Мы крайне нуждаемся в том, чтобы на сложную военную технику пришли служить квалифицированные специалисты» (Шойгу С.К.).

Важно, что военная подготовка студентов будет осуществляться по военно-учетным специальностям, родственным гражданским специальностям, по которым студенты проходят обучение. Это обеспечивает обучающимся непрерывность обучения, получение качественной военной подготовки с практическим освоением получаемой по основной профессиональной образовательной программе специальности, что расширяет их возможности по трудоустройству, и не только на гражданскую службу, но и, при желании, на военную службу по контракту.

## Литература

- [1] Иванова С.В. Состояние и правовое оформление современного образовательного пространства. *Педагогический журнал Башкортостана*, 2015, № 6 (61), с. 9–14.

- [2] Цибизова Т.Ю., Неусыпин К.А. Некоторые аспекты реструктуризации системы управления современными учебно-научными центрами. *Автоматизация. Современные технологии*, 2012, № 1, с. 30–34.
- [3] Цибизова Т.Ю. Особенности военной подготовки в организациях высшего образования на основе бакалавриата и специалитета. *Современные наукоемкие технологии*, 2016, № 8-1, с. 158–162.
- [4] Дудь А.П., Максименко Н.Д., Черваков В.О. О некоторых проблемах правовой обеспеченности военной подготовки солдат и сержантов запаса в вузах. *Матер. XXVI Всерос. науч.-технич. конф. школы-семинара «Передача, прием, обработка и отображение информации о быстротекающих процессах»*. Москва, 2015, с. 153–154.
- [5] Цибизова Т.Ю. Теоретические основы планирования образовательного процесса по программам подготовки солдат и сержантов запаса в организациях высшего образования. *Современные проблемы науки и образования*, 2016, № 5, с. 173.

## The Process of Selection of Students for Military Training for the Training of Soldiers and Sergeants of a Stock In the Institutions of Higher Education

© | Kosovskaya V.V.  
Tsbizova T.Y.

kosva@bmstu.ru  
mumc@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article considers the issues of military training of soldiers and sergeants stock in institutions of higher education. It is shown that such training is a requirement of modern society. The questions of carrying out of competitive selection of students for the implementation of military training. It is concluded that such training provides students continuity of learning, obtaining a quality military training with practical development received on the basic professional educational program of the specialty, thus increasing their employment opportunities.*

**Keywords:** *military training, military occupational specialty, military Department, training, educational program.*

УДК 378.14

## Проблемы использования студентами технических средств в качестве электронных шпаргалок

© | Куцый Олег Ярославович  
Куцяя Александра Юрьевна

kutsiy@bmstu.ru  
kutsayau@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассказано о технических устройствах, используемых студентами в качестве электронных шпаргалок при проведении оценки их знаний в ходе текущего контроля*

успеваемости и промежуточной аттестации. Показаны возможности предотвращения такого использования и способы объективной и достоверной оценки знаний.

**Ключевые слова:** образовательный процесс, оценка знаний, технические средства, рейтинг.

Применение новых подходов к оценке качества учебного процесса является важным фактором в исследованиях систем образования и учебных организаций [1]. Наиболее актуальной становится проблема поиска объективных и достоверных критериев, достаточно полно определяющих эффективность образовательного процесса. Можно выделить довольно много количественных показателей, характеризующих каждый вид учебной деятельности обучающегося, использование которых учитывается при определении рейтинговой оценки его обучения [2].

Одним из таких показателей, позволяющим проверить качество учебного процесса, является оценка работы студента по результатам текущей успеваемости и посещениям. Чтобы учесть многообразие критериев оценки текущей успеваемости, создаются различные алгоритмы, методы, способы, подходы [3].

Обеспечение объективности и достоверности оценки знаний студентов высших учебных заведений в процессе проведения различных контрольных мероприятий текущей успеваемости (рубежные контроли, защиты домашних заданий и лабораторных работ) и промежуточной аттестации (зачеты, экзамены) является весьма важной задачей. Качественная проверка знаний и объективная оценка — основные критерии формирования рейтинга среди студентов, а в дальнейшем — и критерии формирования имиджа образовательного учреждения.

Получение хороших профессиональных знаний и навыков по изучаемым студентами дисциплинам возможно в результате их целенаправленной подготовки в соответствии с требованиями стандартов этих дисциплин, обязательным условием которых и является качественное проведение оценки полученных знаний на различных этапах обучения [4].

Однако при решении задачи, связанной с оценкой знаний, в современных условиях профессорско-преподавательскому составу вузов приходится сталкиваться с рядом проблем, обусловленных широким распространением среди студентов различных технических средств, способных свести на нет всю методическую эффективность контрольных мероприятий, предусмотренных в учебном процессе [5]. К таким техническим средствам, имеющим широкое распространение, относятся: калькуляторы, наручные электронные часы, сотовые телефоны, микронаушники с соответствующей гарнитурой и видеокамеры.

Некоторые виды калькуляторов обладают достаточно хорошим и информативным экраном и дают возможность отображения на экране электронных книг в разных форматах и фотографий. Для хранения этой информации калькуляторы могут содержать внутреннюю или внешнюю флэш-память объемом до нескольких гигабайт, которой вполне хватит для размещения шпаргалок по всем контрольным мероприятиям, которые вполне могут быть использованы как опорный материал при сдаче зачетов и экзаменов, а так же на других контрольных мероприятиях.

Устройствами, имеющими более широкое применение в качестве электронных шпаргалок, служат различные наручные электронные часы. Некоторые из современных электронных часов обладают большой внутренней памятью и помимо времени, которое может отображаться на экране в различных видах, могут отображать текстовую и графическую информацию, хранимую в разных форматах во внутренней памя-



ти. Кроме перечисленных выше возможностей, электронные часы могут содержать встроенный в них радиоприемник, а так же аудио и видео плееры, что делает их более привлекательными устройствами в повседневной жизни студентов.

Еще одним вариантом электронных шпаргалок могут служить смартфоны, выполненные в виде наручных часов с возможностями обычных смартфонов: сотовая связь, прием и передача SMS и MMS сообщений, встроенная видеокамера, связь с другими электронными устройствами по беспроводной сети Wi-Fi или через Bluetooth. Такие устройства позволяют не только хранить и просматривать информацию во время экзамена или других контрольных мероприятий, но и осуществлять оперативную связь тестируемого студента с суфлером или помощником в реальном масштабе времени используя вышеперечисленные варианты связи.

Наряду с наручными электронными часами, в качестве электронных шпаргалок могут использоваться и обычные сотовые телефоны или смартфоны. Как правило на контрольных мероприятиях преподаватели запрещают пользоваться этими устройствами и заставляют сдать их на хранение до окончания мероприятия, если они попадают в поле зрения преподавателя. Однако незамеченные устройства могут послужить источниками электронных шпаргалок и снизить достоверность оценки знаний.

Способом объективной оценки знаний может быть устный экзамен, который предполагает диалог между экзаменатором и студентом, когда оценить знания можно путем задания дополнительных вопросов как в рамках рассматриваемых в билете тем, так и за их пределами. Поскольку в беседе с глазу на глаз воспользоваться электронными шпаргалками студент не сможет, то качество его ответов будет варьироваться в зависимости от его готовности к поставленным перед ним вопросам. При отсутствии же диалога между экзаменатором и студентом достоверность оценки становится более проблематичной, поскольку преподаватель может одинаково оценить как добросовестного студента, так и студента, который воспользовался шпаргалками для изложения ответа на стоящие перед ним вопросы.

Однако наиболее грозным оружием в руках студентов против различного рода контрольных испытаний, включая и контрольные мероприятия, предполагающие диалог между преподавателем и студентом, является использование микронаушников. Микронаушник — это миниатюрный индукционный приемник и усилитель, встроенные в крошечный корпус, что позволяет полностью спрятать его в ушной раковине и сделать незаметным для постороннего взгляда. При этом звук от наушника слышится достаточно четко и наличие наушника в ушной раковине никак не влияет на слух. Конечно, сами микронаушники никакого интереса не представляют, но в сочетании с индукционной гарнитурой со встроенным микрофоном и сотовым телефоном становятся вне конкуренции при прохождении различного рода контрольных мероприятий по сравнению с другими устройствами, в том числе и теми, речь о которых шла выше.

Перечень устройств можно продолжать и дальше. Оценка знаний, полученная студентами с помощью этих технических средств, не является достоверной и наносит большой вред процессу образования, создавая у студентов иллюзию благополучия и успеха. Положительные оценки, полученные подобным образом, негативно влияют на рейтинг студентов в группе, искажают реальное состояние успеваемости, ущемляют права добросовестных студентов, а также создают негативное отношение студентов к учебным занятиям. В результате чего у многих студентов вырабатывается достаточно стойкий негативный инстинкт к процессу образования, выражающийся в пропуске учебных занятий, некачественному выполнению домашних заданий и лабораторных работ, плохой подготовке к сдаче различных контрольных мероприятий.

## Литература

- [1] Мешков Н.А., Цибизова Т.Ю. Реализация инновационных форм обучения в информационно-коммуникационном образовательном пространстве. *Качество. Инновации. Образование*, 2011, № 12 (79), с. 16–21.
- [2] Куцый О.Я., Куцая А.Ю., Савохина О.М., Комкова Т.Ю. Об изменении в учебном плане и практической подготовке специалистов. *Литейное производство*, 2015, № 11, с. 26–29.
- [3] Цибизова Т.Ю., Карпунин А.А. Применение метода анализа иерархий в оценке качества процессов управления. *Современные проблемы науки и образования*, 2015, № 2. [Электрон. Ресурс] [www.science-education.ru/122-20847](http://www.science-education.ru/122-20847) (дата обращения 27.07.2017).
- [4] Правдина А.Д. Аспекты обучения программированию на занятиях лабораторного практикума студентов младших курсов. *Гуманитарный вестник*, 2015, № 3 (29), с. 6.
- [5] Тимофеев В.В., Пронин С.П. Применение технических средств подавления мобильной связи при проведении экзаменов в вузе. *Ползуновский альманах*, 2011, № 1, с. 161–164.

## The Problems of Student Use of Technical Means as Electronic Cheat Sheets

© | Kutsyy O.Y.  
Kutsaya A.Y.

kutsiy@bmstu.ru  
kutsayau@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article describes technical devices used by students as electronic cheat sheets in the evaluation of their knowledge during the current control of progress and intermediate certification. Shown the possibility of preventing such use and methods for objective and reliable assessment of knowledge.*

**Keywords:** *educational process, assessment of knowledge, technical tools, rating.*

УДК 504.064.2.001.18

## Математические методы моделирования техногенных чрезвычайных ситуаций применительно к учебному процессу в МГТУ им. Н.Э. Баумана

© | Хомутова Екатерина Кирилловна  
Татаринов Виктор Викторович

khekat@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Данная статья посвящена разработке задач для лабораторного практикума в МГТУ им. Н.Э. Баумана при подготовке специалистов в области анализа рисков. Настоящие лабораторные работы касаются математических методов моделирования техногенных чрезвычайных ситуаций и анализу рисков, связанных с ними.*

**Ключевые слова:** *лабораторные работы, учебный процесс, анализ риска, техногенные чрезвычайные ситуации.*

В современном мире количество жертв различных техногенных аварий в среднем достигает 10 000 человек в год. Согласно данным МЧС России только за 2015 г. в Российской Федерации было зафиксировано 179 техногенных ситуаций, в которых погибло 656 человек и пострадало 1629 человек [1]. Подобная социальная практика дает основание говорить о том, что любая деятельность человека потенциально опасна, и применявшаяся прежде концепция абсолютной безопасности (нулевого риска) не состоятельна. Ни в одном виде деятельности не представляется возможным достичь абсолютной безопасности. На сегодняшний день основной является концепция оправданного риска, т. е. риска, который при имеющихся экономических возможностях и общественных отношениях считается допустимым для обычных граждан.

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций (ЧС) нужно для максимального повышения уровня общественной безопасности. Поэтому необходимо большое количество грамотных, высококвалифицированных специалистов [2].

В МГТУ им. Н. Э. Баумана в процессе обучения используется программный комплекс «ТОХI+Risk», разработанный ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», который позволяет визуализировать результаты расчетов на планах местности, проводить оценку числа людей, попавших в зоны воздействия опасных факторов, строить поля потенциального риска для различных сценариев аварии, рассчитывать коллективный, индивидуальный и социальный риски [3].

Для введения «ТОХI+Risk» в процесс обучения был разработан ряд лабораторных практикумов, представляющих из себя задачи, которые студентам предлагается решить с помощью данного программного комплекса.

Задачи разделены на пять блоков по темам: «Моделирование рассеяния выбросов опасных веществ», «Моделирование взрывов топливно-воздушных смесей», «Моделирование пожаров пролива», «Проведение риск-анализа», «Определение расчетного времени эвакуации людей из здания, а также времени блокирования эвакуационных путей».

В качестве примера рассмотрим задачу из блока «Моделирование взрывов топливно-воздушных смесей». На АГЗС № 185 (г. Москва, Электродный проезд, вл. 10) произошло разрушение резервуара с пропаном объемом 4 600 л, находящимся под давлением 1,5 МПа. Температура окружающего воздуха на момент происшествия равна 28 °С, скорость ветра — 3 м/с (северный). Окружающая обстановка — «сильно загроможденное пространство». Удельная теплота сгорания пропана — 47,54 МДж/кг. Необходимо:

1. Определить максимальную взрывоопасную массу пропана в облаке за время протекания аварии.

2. Рассчитать максимальные расстояния, на которых достигается: полное разрушение остекления; возможность средних повреждений зданий (с вероятностью 50 %) и возможность смертельного поражения (порог выживания) незащищенных людей.

3. Определить давление и импульс фазы сжатия на расстоянии 40 м от центра взрыва.

4. Нанести на ситуационный план изолинию для зоны возможного (минимального) повреждения зданий.

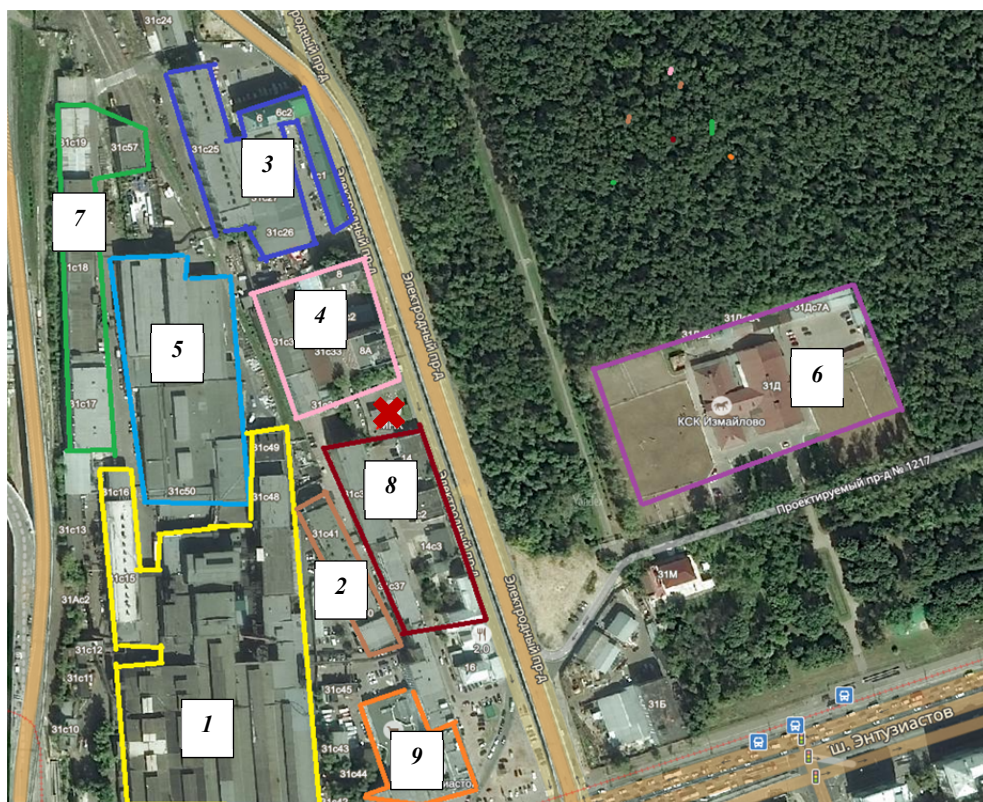
Годовой фонд рабочего времени принять равным 1976 ч.

Данные о нахождении людей в зданиях представлены в таблице.

Данные о нахождении людей в зданиях

Цвет	Одновременно находящихся людей	Люди, находящиеся в зоне возможного поражения
Желтый (1)	350	Третьи лица
Коричневый (2)	50	Третьи лица
Темно-синий (3)	50	Третьи лица
Розовый (4)	90	Третьи лица </td
Синий (5)	200	Третьи лица
Фиолетовый (6)	4000	Третьи лица
Зеленый (7)	120	Третьи лица
Темно-коричневый (8)	60	Третьи лица
Оранжевый (9)	400	Третьи лица

Карта для создания ситуационного плана представлена на рисунке, объект отмечен крестом.



Ситуационный план

## Литература

- [1] МЧС [Электронный ресурс]: Сведения о чрезвычайных ситуациях, происшедших на территории Российской Федерации за 12 месяцев 2015 года. URL: [http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/СН чрезвычайные\\_ситуации/2015\\_god](http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/СН чрезвычайные_ситуации/2015_god) (дата обращения 06.03.2017)
- [2] О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Текст]: Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015). *Собрание законодательства Российской Федерации*, 1997, № 30, ст. 3588.
- [3] Руководство пользователя программного комплекса «ТОХИ+Risk 5.0.0»ю Москва, ЗАО НТЦ ПБ, 2016, ст. 301.

## Mathematical Methods for Modeling Anthropogenic Emergency Situations Applied to the Educational Process at the BMSTU

© | Khomutova E.K.  
Tatarinov V.V.

khekat@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This article describes the development of example problems for the laboratory course for risk analysis specialists at the Bauman Moscow State Technical University. These laboratory works are devoted to mathematical methods of modeling of anthropogenic emergencies and analysis of the risks associated with them.*

**Keywords:** *laboratory practice, educational process, risk analysis, anthropogenic emergency situations.*

УДК 159.9

## Трансформация нравственности личности при развитии у студентов интернет-зависимости

© | Шершнева Татьяна Викторовна<sup>1</sup>  
Юневич Николь Георгиевна<sup>2</sup>

shershniova\_t@mail.ru  
yunevich\_g@mail.ru

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет,  
Минск, 220013, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова БГУ,  
Минск, 220009, Республика Беларусь

*Проанализированы особенности девиантного поведения активных пользователей сетевого медиaprостранства, указано на необходимость развития информационной культуры будущих инженеров.*

**Ключевые слова:** *девиантное поведение, интернет-зависимость, троллинг, хэитеринг.*

Современные технологии включены во все аспекты жизнедеятельности человека. Мы не расстаемся с ноутбуком или планшетом, мы кладем смартфон в карман и

закрываем уши наушниками, благодаря Wi-Fi мы всегда на связи. Интернет предоставляет нам широкий спектр возможностей: общение, обучение, покупки, развлечения, удаленная работа и др. Глобальная сеть охватывает все уголки планеты, в ней человек имеет возможность полной свободы общения, получения информации, доступа ко всевозможным ресурсам, но эта свобода создает все больше новых проблем. Встает вопрос о моральной составляющей поведения человека в сетевом медиапространстве. Коммуникация в сети интернет обеспечивает пользователям различную степень анонимности, что, с одной стороны, создает безбарьерную среду для общения, а с другой — создает конфликтные, опасные ситуации. Анонимность раскрепощает пользователей, делает поведение в сети отличным от их поведения в повседневной жизни, в которой его ограничивают не только моральные нормы, но и правоохранительная система. Свобода и анонимность в сети приводит к развитию девиантного поведения, разновидностью которого является специфическая активность отдельных пользователей, называемая «троллингом». Троллинг, по Э. Бекельсу, — это проявление негативных личностных черт: макиавеллизма, нарциссизма, психопатии, садизма. Тролли комфортно себя чувствуют в сети, они используют интернет-технологии творчески и со знанием дела, причем их поведение часто (как это ни странно) согласуется с маркетингом в социальных сетях, корпоративными интересами, ведь тролли, как попугаи, повторяют клише цифровых и эфирных СМИ, копируют образы доминирующей массовой культуры [1].

Существует еще одна форма девиантного поведения, проявляющаяся в сети интернет — «хэйтеринг». Понятие «хэйтер» (от англ. hate — ненависть) дает определение людям, негативно высказывающимся по поводу различных информационных материалов и их авторов. В отличие от критиков, хэйтеры проявляют агрессию, часто неадекватное поведение. Жертвами хэйтеров чаще всего становятся музыканты, спортсмены, блогеры, ведущие и т. д. Действия хэйтеров наносят вред как самому автору, так и его продукции. Группа исследователей, созданная Н. Карром, пришла к выводу, что быстрое и регулярное просматривание сайтов ведет к тому, что мозг человека утрачивает способность к аналитическому мышлению, превращая пользователей сети в импульсивных и неспособных к интеллектуальной работе людей [2].

Психологи бьют тревогу по поводу развития интернет-зависимости, сравнивая ее с пристрастием к алкоголю и наркотикам. Термин «интернет-аддикция» был предложен в 1996 г. для описания неоправданно долгого, возможно патологического, пребывания в Интернете. Ученый К. Янг привел ее симптомы: навязчивое желание проверить e-mail; постоянное ожидание следующего выхода в Интернет; жалобы окружающих на то, что человек проводит слишком много времени в Интернет и тратит слишком много денег на это [3]. Были выделены связанные между собой психологические и физические симптомы.

К психологическим симптомам относятся:

- хорошее самочувствие, эйфория за компьютером;
- невозможность остановиться;
- увеличение количества времени, проводимого за компьютером;
- пренебрежение семьей, друзьями;
- ощущения пустоты, депрессии, раздражения не за компьютером;
- ложь работодателям или членам семьи о своей деятельности;
- проблемы с работой, учебой.

Среди физических симптомов выделяется:

- «туннельный синдром»;
- сухость в глазах;

- головные боли;
- боли в спине;
- нерегулярное питание;
- пренебрежение личной гигиеной;
- расстройства сна, изменение его режима [4].

Все эмоции, контакты, вся жизнь аддикта перемещается в Интернет, реальная жизнь представляется скучной, пустой, безрадостной, отдается предпочтение виртуальным контактам. Аддикт в сети создает новый образ, который не может позволить себе в реальности, нарушает социальные, моральные нормы, добиваясь этим как нового статуса, так и удовлетворения некоторых своих низменных потребностей посредством совершаемых действий (оскорблений, травли, угроз и т. д.). Анонимные коммуникации, приобретение новой роли, статуса, безнаказанность, неограниченный доступ к любой информации — все это делает интернет-зависимость серьезной проблемой современности.

Таким образом, интернет-зависимость, троллинг, хэйтеринг и другие формы девиантного поведения трансформируют систему ценностей личности. Понятие нравственности в современной информационной среде весьма субъективно. В некоторых случаях отрицательные поступки не только не осуждаются, но и принимаются как само собой разумеющееся во всемирной сети. Психологическая коррекция эмоционально-волевой сферы личности, формирование адекватной системы ценностей, ресоциализация дезадаптированных студентов — наиболее продуктивное направление профилактической работы по предупреждению развития девиантного поведения среди молодежи. К тому же следует помнить, что на просторах интернета можно обнаружить большое количество контента, в котором информация преподносится лишь с определенного, наиболее выгодного ей ракурса, что способствует формированию ложных представлений о тех или иных событиях и фактах у пользователей. Именно поэтому сейчас важно говорить об информационной гигиене, уровне образованности населения, которое предоставит необходимый базис для правильного восприятия событий из средств масс-медиа. Необходимо понять, что низкая информационная культура при сверхвысокой скорости распространения той или иной эмоционально поданой информации дает практически безграничные возможности манипулирования сознанием и поведением современной молодежи, и этот факт, безусловно, требует внимания и учета при разработке образовательных стандартов, учебных планов, определения роли гуманитарной составляющей профессиональной подготовки инженеров.

### Литература

- [1] Филлипс У. *Трололо. Нельзя просто так взять и выпустить книгу про троллинг*. Москва, Альпина Паблшер, 2016, 300 с.
- [2] *Интернет-зависимость: понятие, виды, симптомы, стадии и причины развития, лечение и профилактика* [Электрон. ресурс] <http://constructor.ru/zdorovie/internet-zavisimost.html> (дата обращения 06.05.2017).
- [3] Янг К. Диагноз — Интернет-зависимость. *Мир Интернет*, 2000, № 2, с. 24–29.
- [4] Грибачева И.А. *Интернет-зависимость как форма нехимических аддитивных расстройств*. Новосибирск, Сибирский медицинский университет, 2004, 20 с.

## Transformation of Morality of the Personality at Development in Students of Internet-Addiction

© | Shershniova T.V.<sup>1</sup>  
| Yunevich N.G.<sup>2</sup>

shershniova\_t@mail.ru  
yunevich\_g@mail.ru

<sup>1</sup> Belarusian national technical university, Minsk, 220013, Belarus

<sup>2</sup> International state ecological institute of name A.D. Sakharov of BGU,  
Minsk, 220009, Belarus

*In article features of deviant behavior of active users of network media space are analyzed, it is indicated the need of development of information culture of future engineers.*

**Keywords:** *deviant behavior, Internet-addiction, trolling, hatering.*



УДК 005

## Возможность замены американского двигателя PW1400 на отечественный ПД-14

© | Артющик Виктория Дмитриевна  
Гусаков Андрей Геннадьевич  
Тихонов Алексей Иванович

vika565@list.ru  
adexter94@mail.ru  
engecin\_mai@mail.ru

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, 125993, Россия

*В последнее время все чаще поднимается вопрос о том, что отечественный двигатель ПД-14 стратегически важен для проекта МС-21. Однако далеко не все сложившиеся факторы на рынке способствуют замене американского двигателя PW1400 на отечественный ПД-14. В работе рассмотрены основные составляющие процесса перехода МС-21 с американского двигателя на отечественный.*

**Ключевые слова:** авиадвигатель ПД-14, проект МС-21, замена, авиадвигатель PW1400.

Основным наиболее значимым отличием МС-21 от других аналогов российских авиалайнеров является первостепенное решение не опираться только на один единственный двигатель. Решение весьма понятное, дающее возможность понизить риски уже и без того рискованного проекта: уж хоть кто-то из производителей двигателей сможет создать подходящий двигатель, а если это удастся сразу несколькими, то появится возможность выбрать лучший. Причем выбирать будут не только производители самолета, но и авиакомпании, как это и происходит на западе. Работа по замене импортных комплектующих в конструкции самолета российскими аналогами все еще продолжается, создается двигатель ПД-14, перспективные авиационные системы, бортовое оборудование, разрабатываются и квалифицируются новые композиционные материалы.

Конечно же, двигатель PW1400G ни в коем случае нельзя называть старьем — он до сих пор является новейшим из разрабатываемых турбореактивных двигателей, причем не из простых, а из редукторных. Именно за счет редуктора американцы достигли степени двухконтурности до 12, а это прямым образом влияет на эффективность по топливу. Неспроста двигателями этого семейства (PW1000G) в качестве основного был выбран Bombardier для CS и Mitsubishi для MRJ, а уже после его вы-

бора под MC-21 — и Airbus. Хотя для A320neo двигатели PW1124G/1127G/1133G идут как дополнение наряду с «полу-европейскими» CFM International LEAP-X. Кроме всего, стоит также упомянуть, что сам PW1400G существует пока еще только на бумаге, в то время как в работе ПД-14 уже находятся четыре газогенератора с несколькими установками модуля модели вентилятора, полноразмерный компрессор, камера сгорания, и две турбины, одна из которых уже прошла испытания в Центральном институте авиационного моторостроения. Летом состоялся запуск первого опытного образца ПД-14.

Еще один главный конкурент PW1400G, точнее «аэробасовский» PW1124G/1127G/1133G, может похвастаться наиболее традиционной архитектурой и побеждает во многом за счет более продуманного газогенератора. Однако напрашивается вопрос, а каким именно образом двигатель, со степенью двух-контурности 8,5 и степенью сжатия 41 (которая у ПД-14 базовая) будет столь же экономичным, как двигатель, у которого эти показатели равны 10 и 50 единицам? [1–4].

Теоретически в чем могли бы выиграть наши разработчики, так это в повышении температур перед турбинами, однако на практике для этого требуется некие весьма термостойкие материалы, которыми, кажется, не располагают на западе. Или же есть еще вариант — создать двигатель очень легким, что почему-то не получается за рубежом. Конечно, с некоторым трудом верится, что такие характеристики можно достичь на чем-то еще, как говорится, «по мелочи», ведь по-настоящему конкурентоспособных турбореактивных двигателей для гражданской авиации в России не создавалось почти полвека.

Стоит отметить, что к моменту появления первых авиалайнеров MC-21 двигатель ПД-14 до конца еще не будет готов, и самолеты будут летать с движком PW1400G. Однако, так как «американец» будет не временной заменой российского двигателя, а полноценной альтернативой, то это может дать заметную фору по внедрению двигателя в самолет, а также опережающий выход на рынок самолетов с этими двигателями. Величина такого опережения зависит как от работ по ПД-14, так и от работ по MC-21, что в конечном итоге может оказаться не такой существенной, в том случае, если разработка самолета затянется, в то время как двигатель будет сконструирован в срок.

Существует еще один весьма неприятный вопрос — с ценой, хотя в этом аспекте наличие ПД-14 однозначно на руку разработчикам MC-21. Ведь согласно существующим данным, стоимость одного двигателя ПД-14 оценивается в 6 млн долл., а PW1400G — в 5,4 млн долл. США. Образование цены — это и без того достаточно путанный процесс, но ведь покупатель-то будет смотреть на итоговую цифру, которая к сожалению не в пользу отечественного производителя. Хотя «россиянин» вроде как и готов сбросить с каждого двигателя по полмиллиона, но на такие же шаги готовы идти и конкуренты. Будут ли согласны лизинговые компании переплачивать более чем по одному миллиону долларов за самолет с российскими двигателями? Ответить на все эти вопросы пока способно только время.

## Литература

- [1] Тихонов А.И. Модель комплексной реализации концепции импортозамещения в инновационной среде (на примере авиационного двигателестроения). *Вестник Московского авиационного института*, 2015, т. 22, № 3, с. 146–153.
- [2] Артющик В.Д., Тихонов А.И. Импортозамещение в авиационной промышленности: от национальной идеи к конкретному механизму. *Сбор. тезисов докл. науч.-практ. конф. «Управление персоналом аэрокосмической отрасли»*, 2016, с. 6–7.

- [3] Гусаков А.Г., Тихонов А.И. Перспективы развития авиационной промышленности РФ в условиях внешних ограничений. *Сбор. тезисов докл. науч.-практ. конф. «Управление персоналом аэрокосмической отрасли»*, 2016, с. 21–22.
- [4] Артющик В.Д., Гусаков А.Г., Тихонов А.И., Развитие авиационной промышленности Российской Федерации в условиях импортозамещения. *Московский экономический журнал*, 2016, № 3, с. 46.

## The Possibility OF Replacing American PW1400 by Russian PD-14

© | Artyushchik V.D.  
Gusakov A.G.  
Tikhonov A.I.

vika565@list.ru  
adexter94@mail.ru  
engecin\_mai@mail.ru

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 125993, Russia

*In any publication at PD-14 clearly stated that he needed in MC-21 aircraft developed by Irkut Corporation, however, this seemingly obvious statement can easily argue.*

**Keywords:** PD-14, MC-21, replacing, PW1400, engine.

УДК 005

## МС-21 как продукт отечественного авиационного производства

© | Артющик Виктория Дмитриевна  
Гусаков Андрей Геннадьевич  
Тихонов Алексей Иванович

vika565@list.ru  
adexter94@mail.ru  
engecin\_mai@mail.ru

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, 125993, Россия

*Рассмотрен МС-21 как проект перспективного семейства российских гражданских магистральных самолетов с дальностью полета 6 тыс. км. Обосновывается необходимость создания «чисто» российских летательных аппаратов и рассматриваются основные принципы, которые должны быть положены в основу импортозамещающей политики в авиационной отрасли.*

**Ключевые слова:** проект МС-21, импортозамещение, отечественный, санкции, авиа-двигатель.

Цель данного исследования состоит в изучении процессов, способствующих производству летательных аппаратов на собственной научной и технической базе для дальнейшего поступательного развития авиационной отрасли РФ в этом направлении. В качестве наглядного примера продемонстрирован процесс разработки авиалайнера МС-21.

Компании «Иркут» и ОКБ им. Яковлева, состоящие в государственной «Объединенной авиастроительной корпорации» (ОАК), сейчас занимаются отшлифовкой

своего нового МС-21 — это продукт перспективного семейства отечественных гражданских магистральных самолетов вместимостью до 210 кресел и дальностью полета до 6 тыс. км. Процесс создания МС-21 был затронут санкциями, введенные США в отношении РФ: один из американских поставщиков отказался поставлять углеродистое волокно для данного судна. Ситуация привела к отставанию в графике разработки крыла МС-21 более чем на полгода. Однако компаниями была найдена замена и были использованы свои материалы для обеспечения всей технологической составляющей самого трудновыполнимого цельнокомпозитного крыла [1–7].

В основном, доля импортных комплектующих для МС-21 составляет более 50 %. (см. рисунок) К 2018 г. планируется доведение доли отечественных комплектующих до 80 %. Из рисунка становится ясно, что в большей степени импортируются авионика, системы, а также двигатель. Именно в этих направлениях и просматривается технологическое отставание от иностранных производителей.

Большая часть производства авиационных двигателей теперь сосредоточена в отечественных компаниях, состоящих в Объединенной двигателестроительной корпорации (ОДК) и холдинге «Вертолеты России». Как раз за счет их совместных усилий и планируется наискорейшее внедрение новых образцов двигателей на современные российские гражданские авиасудна. Перспективные российские разработки позволят достичь увеличения целого ряда технических характеристик в сравнение с иностранными аналогами. Перед компаниями поставлена цель создать производство той материальной части, которая на территории РФ еще не велась.



Рис. 1. Схема кооперации МС-21

Всестороннее развитие программы импортозамещения может стать одним из факторов, стабилизирующих социально-экономическое положение РФ в целом. В основу импортозамещения в авиационной промышленности заложен тезис того, что все заменяемые технологии и оборудования получают свое дальнейшее развитие на более высоком уровне развития науки.

### Литература

- [1] Выжитович А.М., Ершов П.А. Импортозамещение: актуальные механизмы и инструменты. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 2015, № 38, с. 52–64.
- [2] Тихонов А.И. Модель комплексной реализации концепции импортозамещения в инновационной среде (на примере авиационного двигателестроения). *Вестник Московского авиационного института*, 2015, т. 22, № 3, с. 146–153.
- [3] Артющик В.Д., Тихонов А.И. Импортозамещение в авиационной промышленности: от национальной идеи к конкретному механизму. *Сб. тезисов докл. науч.-практ. конф. «Управление персоналом аэрокосмической отрасли»*, 2016, с. 6–7.
- [4] Артющик В.Д., Тихонов А.И. Импортозамещение в авиационной промышленности — залог успешного развития отрасли. *Сб. тезисов докл. науч.-практ. конф. «Управление персоналом аэрокосмической отрасли»*, 2016, с. 7–8.
- [5] Артющик В.Д., Комарова Н.В. Оптимизация управления авиационным предприятием «ОАО Сухой» путем количественного экономико-математического моделирования. *Сборн. тезисов докл. науч.-практ. конф. «Управление персоналом аэрокосмической отрасли»*, 2016, с. 8–9.
- [6] Гусаков А.Г., Тихонов А.И. Перспективы развития авиационной промышленности РФ в условиях внешних ограничений. *Сборн. тезисов докл. науч.-практ. конф. «Управление персоналом аэрокосмической отрасли»*, 2016, с. 21–22.
- [7] Артющик В.Д., Гусаков А.Г., Тихонов А.И., Развитие авиационной промышленности Российской Федерации в условиях импортозамещения. *Московский экономический журнал*, 2016, № 3, с. 46.

## MC-21 as a Product of Domestic Aircraft Production

© | Artyushchik V.D.  
Gusakov A.G.  
Tikhonov A.I.

vika565@list.ru  
adexter94@mail.ru  
engecin\_mai@mail.ru

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 125993, Russia

*In the paper, the MC-21 project as a promising family of Russian civil-haul aircraft with a range of 6 thousand kilometers the necessity of creating a "pure" Russian aircraft and discusses the main principles that should be the basis for import-substitution policy in the aviation industry.*

**Keywords:** MC-21, import substitution, domestic, sanctions, engine.

УДК 006; 338; 658.5

## Аспекты применения системы менеджмента качества и «бережливого производства» для построения систем управления на ранних стадиях развития высокотехнологичных предприятий

© Блинов Андрей Андреевич <sup>1,2</sup>	andrewblinowjr@yandex.ru
Отставнов Станислав Сергеевич <sup>1</sup>	comte.otstss@mail.ru
Ипполитова Евгения Викторовна <sup>2</sup>	luve@mail.ru
Отставнов Никита Сергеевич <sup>2</sup>	nikita.otstavnov@best-bmstu.ru
Соболева Виталина Юрьевна <sup>2</sup>	vitalina.soboleva@yandex.ru
Бреусов Алексей Васильевич <sup>2</sup>	

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская обл., 141701, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлена возможность создания системы управления на ранних этапах существования высокотехнологичного предприятия. В качестве основы для ее построения рассмотрены система менеджмента качества и «бережливое производство», включая модификацию «бережливый стартap». Проведенные литературное исследование и сравнительный SWOT-анализ позволили сделать заключение о существенном сходстве рассматриваемых альтернатив. В ходе работы сделан вывод о необходимости построения системы управления высокотехнологичным предприятием с ранних этапов его развития с учетом потребностей и возможностей, внедряя адекватные стадии развития инструменты и заблаговременно формируя фундамент для эволюционирования до уровня полноценных систем менеджмента качества и «бережливого производства» по мере развития предприятия.*

**Ключевые слова:** высокотехнологичное предприятие, стартap, производственная система, менеджмент качества, бережливый стартap.

С учетом коренных преобразований, трансформировавших отрасли промышленности и сферу услуг (механизация и автоматизация труда, внедрение электронного документооборота), существенную роль в создании высокотехнологичной продукции стали играть предприятия с малой историей операционной деятельности, а также коллективы единомышленников, не образовавшие юридического лица. Однако по статистике лишь менее 10 % подобных начинаний реализуют имеющийся потенциал коммерциализации, а причинами фатальных неудач часто являются ошибки в управлении [1].

В настоящей работе исследована возможность построения системы управления (СУ) высокотехнологичным предприятием на ранних этапах его существования (в том числе до момента образования юридического лица).

В качестве вероятной базы для построения СУ мы исходили из следующих широко распространенных среди различных организаций (отечественных и зарубежных, преимущественно высокотехнологичных предприятий) альтернатив: «бережливого производства», заключающегося в построении сбалансированного комплекса ин-

струментария, персонала, институциональной среды, направленных на достижение цели предприятия по образу и подобию производственной системы (ПС) автомобильной компании «Тойота» [2], и систем менеджмента качества (СМК), регламентированных международными стандартами (базовым стандартом ISO 9001 и созданными на его основе отраслевыми) организованной совокупности средств и методов управления, направленных на формирование и достижение цели предприятия.

В работе проведен анализ ключевых определений и принципов СМК и ПС, исследованы модификации указанных альтернатив (отраслевые стандарты в области систем менеджмента качества; концепция «бережливый стартап»), их преимущества и недостатки, проведен сравнительный SWOT-анализ применения СМК и ПС в качестве основ для построения СУ высокотехнологичным предприятием на ранней стадии, выявивший как общие, черты, так и отличительные для каждой из альтернатив особенности.

Анализ нормативной базы и литературных источников позволил сделать заключение о том, что СМК и ПС, согласно их дефинициям, являются системами управления [2–4], а также выявить сходство принципов, лежащих в их основе: акцент на потребителя, бережное отношение к сотрудникам предприятия и постоянное совершенствование. В данном контексте ПС и СМК можно считать аналогами.

Проведенный сравнительный SWOT-анализ использования СМК и ПС в роли базы для создания СУ высокотехнологичным предприятием на ранних стадиях развития, показал следующее. Важным отличительным преимуществом для «бережливого производства» в контексте его использования высокотехнологичным предприятием ранней стадии развития является существование адаптации «бережливый стартап», элементы которой можно внедрять уже непосредственно после появления замысла продукта (идеи). Ключевой «внутренней» особенностью «бережливого производства» является наличие эталона — ПС «Тойота», с одной стороны, служащей ориентиром при создании производственной системы предприятия, а с другой, нередко неудачно (по причине недоучета особенностей институциональной среды организаций) копируемой. Главной «внутренней» особенностью СМК является регламентация стандартами требований к ее построению, что, с одной стороны, упрощает задачу, а, с другой, по причине значительного числа требований (особенно в отраслевых адаптациях, например ISO 13485), существенно ее усложняет.

Ключевой «внешней» отличительной чертой СМК является тот факт, что ее внедрение в явном и неявном виде стимулируется государством [3, 5], создавая возможности, но, с другой, часто вызывая сопротивление со стороны коллектива предприятия, а также создает рынки поддельных сертификатов соответствия и недобросовестных услуг аудиторов, пороча саму идею СМК. Серьезной возможностью для СМК и ПС является совершенствование инструментария экономики и менеджмента, а также эволюция самого предприятия, требующая совершенствования СУ.

На основании проведенных исследований, а также собственного опыта практической работы в сферах менеджмента качества и управления организациями, нами был сделан ключевой вывод: в процессе развития высокотехнологичного предприятия необходимо задействовать адекватные его особенностям, возможностям и потребностям, а также стадии развития элементы, начиная от инструментов «бережливого стартапа», и постепенно, заблаговременно готовя соответствующий фундамент, развертывая управление в полноценную систему, творчески внедряя в нее различные актуальные элементы, в том числе как атрибуты рассматриваемых альтернатив, так и прочий пригодный инструментарий, создавая ее по образу и подобию проверенных временем производственных систем и систем менеджмента качества.

## Литература

- [1] Смирнов С.Д., Коршунова Е.Д. Концептуальная модель механизма выбора траектории развития стартапов. *Вестник МГТУ Станкин*, 2017, № 1 (40), с. 99–102.
- [2] Фалько С.Г. Производственные системы и бережливое производство: новая мода или старая история. *Инновации в менеджменте*, 2016, № 10, с. 2–5.
- [3] Пресняков В.Ф., Донцова Е.С. К вопросу о внедрении управленческих инноваций на отечественных предприятиях медицинской промышленности. *Контроллинг*, 2015, № 57, с. 54–58.
- [4] Николаев А.П., Моргун Г.Н. Управленческие понятия в биомедицинской инженерии. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*, 2012, № 4, с. 70–74.
- [5] Бреусов А.В., Малахов А.И., Отставнов С.С. Оценка потенциального социально-экономического эффекта от внедрения медицинских изделий на различных уровнях управления — первый шаг к организации отраслевой системы контроллинга инноваций. *Контроллинг*, 2014, № 3 (53), с. 16–22.

## Ways of Quality Management Systems and Lean Production Application for Creation of Management Systems at Early Stages of Development of High-Tech Enterprises

© Blinov A.A.<sup>1,2</sup>

Otstavnov S.S.<sup>1</sup>

Ippolitova E.V.<sup>2</sup>

Otstavnov N.S.<sup>2</sup>

Soboleva V.Y.<sup>2</sup>

Breusov A.V.<sup>2</sup>

andrewblinowjr@yandex.ru

comte.otstss@mail.ru

luve@mail.ru

nikita.otstavnov@best-bmstu.ru

vitalina.soboleva@yandex.ru

<sup>1</sup> MIPT, Dolgoprudny, 141701, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*This paper includes the opportunities to develop management system on the early steps of high-tech entity. With the basis in The quality management system and the concept of lean management (including the modification of lean management called lean startup). The conclusion was done with the reference to the literature review and SWOT analysis that there is a similarity between comparing alternatives. One of the result of the survey is the necessity to build management system of high-tech entity starting from its initiation with consideration of the needs and opportunities of organization. This system has to be contained with relevant tools and management approaches, which will create a fundamental base for the further evolution of startup to stable organizations.*

**Keywords:** high-tech enterprise, start-up, production system, quality management, lean start-up.



УДК 339.9

## Оценка эффекта от присоединения России к Соглашению ВТО по торговле гражданской авиационной техникой

© | Глебова Дарья Ивановна  
Ковнир Владимир Николаевич

Glebova.bmstu@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Статья посвящена вопросам присоединения России к Соглашению ВТО по торговле гражданской авиатехникой. Представлена краткая характеристика структуры и целей ВТО, первые итоги присоединения. Рассмотрены и проанализированы особенности необязательного соглашения ВТО — Соглашения по торговле гражданской авиатехникой. На основе анализа отрасли авиационной промышленности в России выявлены возможные положительные и негативные стороны присоединения страны к международному соглашению.*

**Ключевые слова:** ВТО, авиационная промышленность, международное соглашение, торговля, гражданская авиатехника.

Внешняя торговля имеет большое значение для благоприятного экономического развития стран. Международное разделение труда ускорило процесс развития наднациональных торгово-экономических отношений, что привело к необходимости создания своеобразного регулятора для установления норм торговых отношений и контроля за их соблюдением. Одним из таких регуляторов стала Всемирная торговая организация (ВТО), основанная в 1995 г. на платформе Генерального соглашения по тарифам и торговле (ГАТТ) [1], 22 августа 2012 г. Россия стала 156-м членом ВТО.

Первый обзор торговой политики РФ в рамках ВТО состоялся в сентябре 2016 г. в Женеве. К этому моменту сокращение торговых связей РФ с зарубежными партнерами ввиду экономической рецессии усилилось наложением торгово-политического эмбарго со стороны многих западных стран — членов ВТО и ответными двухсторонними санкциями России [2]. Таким образом, первые итоги функционирования России в составе ВТО не дают однозначного ответа на вопрос целесообразности членства, поскольку результаты краткого временного отрезка искажены внешними факторами.

С правовой точки зрения, ВТО — это совокупность многосторонних соглашений, регулирующих мировую торговлю. В их состав входят как обязательные к подписанию соглашения, так и необязательные, к числу которых относятся Соглашение по правительственным закупкам, работу по присоединению к которому Россия все же начала в 2016 г., и Соглашение по торговле гражданской авиатехникой (СТГА), вступившее в силу 1 января 1980 г., оно ликвидирует импортные пошлины на все виды летательных средств, кроме средств военного назначения, а также авиационные двигатели и их компоненты, все компоненты и узлы гражданских самолетов, тренажеры полетов и их детали [3]. В настоящее время его подписали 32 страны, в том числе США, страны ЕС, КНР.

Основные положения СТГА сводятся к следующему:

- ликвидация импортных пошлин и других таможенных платежей при ввозе в страну всех воздушных судов, а также других авиационных изделий;

- ликвидация технических барьеров при торговле гражданской авиационной техникой;
- устранение правительственного влияния из процесса закупок гражданской авиатехники;
- правительственная финансовая поддержка создания гражданской авиационной техники должна быть учтена в стоимости самолета.

Несмотря на то что на данный момент РФ не заявляет о намерении присоединиться к СТГА, необходимо оценить возможное влияние подписания соглашения на отечественный рынок авиатехники. Немаловажной представляется перспектива перевода СТГА в разряд обязательных соглашений ВТО. Это может произойти в ходе любого раунда многосторонних переговоров в рамках ВТО, что случилось с другими ранее необязательными соглашениями, число которых к настоящему времени сократилось с девяти до двух, что придает актуальность вопросу оценки последствий присоединения России к СТГА.

В гражданском авиастроении сегодня лидируют несколько крупных корпорации: Boeing (США), Airbus (ЕС), Bell Helicopter (США), Объединенная авиационная корпорация России (ПАО ОАК) и холдинг «Вертолеты России».

Рынок авиатехники всегда характеризовался сильной зависимостью от связей с международными партнерами, в которых всегда были значимы обоюдный экспорт и импорт комплектующих и готовой авиационной техники.

Примером привязки российского национального производства к импорту может служить проект МС-21 — первый российский среднемагистральный самолет XXI века; это вторая после Sukhoi Superjet-100 масштабная отечественная разработка в сфере гражданской авиации со времен СССР. Доля импортных комплектующих в Superjet составляет 72 %, в МС-21 — около 40 % при условии оборудования его отечественным двигателем ПД-14. Первые МС-21 комплектуются американским двигателем Pratt&Whitney, и лишь 8 из 35 видов комплектующих МС-21 полностью российские [4]. По словам партнера консалтинговой компании Strategy Partners Group Артема Малкова, вопрос импортозамещения в авиапроме не просто сложен, но критически важен, ведь для новых самолетов нужно оборудование, сертифицировать которое по западным стандартам наши производители пока не в состоянии [5].

Политический кризис на Украине также усложнил ситуацию на рынке авиатехники: пришлось искать замену запорожским двигателям ТВЗ-117, которым оснащались вертолеты КБ «Миля» и «Камова». По той же причине может быть прекращен выпуск ближнемагистрального российско-украинского самолета Ан-148. Таким образом, вопрос экономических санкций неминуемо наносит удар по отрасли авиатехники, но в условиях неприсоединения к СТГА споры данного рода не могут быть решены на платформе ВТО.

В связи с этим необходимо уже сейчас понимать возможный эффект от присоединения России к СТГА в рамках ВТО:

- взаимный доступ российских и иностранных компаний на рынки авиатехники и комплектующих благодаря устранению тарифных ограничений;
- отмена заградительных пошлин как приумножит потенциальные рынки сбыта, так и будет означать увеличение численности иностранных гражданских самолетов в условиях агрессивной конкурентной политики;
- российская авиапромышленность останется без главных конкурентных преимуществ из-за требований о невмешательстве государства и включении господдержки в себестоимость продукции (поддержка через госпрограммы);

- разработка современной авиатехники требует интенсивного развития высоких технологий, сертификацию, сервисное обслуживание по последним западным стандартам, что будет доступнее в условиях присоединения к СТГА;

- СТГА упростит процесс интеграции российских авиапроизводителей в международную систему кооперации, что приумножит связи отечественных поставщиков с глобальными холдингами.

Таким образом, при подписании СТГА представляется необходимым оговорить в протокольном порядке срок действия переходного периода по выполнению всех требований Соглашения по субсидиям и компенсационным мерам с целью снижения негативных эффектов для отечественного авиапрома.

### Литература

- [1] Дюмулен И.И. *Всемирная торговая организация*. Москва, Экономика, 2003, 271 с.
- [2] *Федеральная служба гос. статистики* [Электрон. ресурс] [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/frade/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/frade/) (дата обращения 01.09.2016).
- [3] *Всероссийская академия внешней торговли* [Электрон. ресурс]. <http://www.vavt.ru/wto/wto/CivilAircraftTradeAgreement> (дата обращения 01.09.2016).
- [4] *Объединенная авиастроительная корпорация* [Электрон. ресурс]. <http://www.uacrussia.ru/ru/aircraft/lineup/civil/ms-21/design-features/> (дата обращения 01.09.2016).
- [5] *Застрали за границей*, электронное издание Lenta.ru [Электрон. ресурс]. [https://lenta.ru/articles/2016/11/21/avia\\_problems/](https://lenta.ru/articles/2016/11/21/avia_problems/) (дата обращения 01.09.2016).

## Assessment of the Effect of Russia's Accession to the WTO Agreement on Trade in Civil Aviation Equipment

© | Glebova D.I.  
Kovnir V.N.

Glebova.bmstu@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The thesis is devoted to Russian agreement with WTO in trade in civil aircraft: investigated the main goals and characteristics of World Trade Organization; analyzed the results of first steps of Russian accession to the WTO; the features of the non-binding WTO agreement — the Civil Aviation Trade Agreement — are considered and analyzed; identified a positive and negative parts of the accession to the international agreement, based on analysis of the current state of the aviation industry.*

**Keywords:** *the WTO, aviation industry, trade, international agreements, trade, civil aircraft.*

УДК 658.5.012.7

## Использование экспертных ранжировок при расчетах кредитного риска в банке

© Жуков Михаил Станиславович <sup>1</sup>  
Орлов Александр Иванович <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Компания Get Capital, Мюнхенгладбах, 41179, Германия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Дан анализ применению экспертных ранжирований при создании и функционировании модели кредитных рисков в банке. Для нахождения итогового мнения комиссии экспертов ищется кластеризованная ранжировка, усредняющая ответы экспертов. Среди способов усреднения совокупности кластеризованных ранжировок выделяются методы расчета медианы Кемени. Авторы разрабатывают программный инструментарий, который предлагается использовать на этапах построения и функционирования кредитных моделей рисков.*

**Ключевые слова:** экспертные оценки, кредитный риск, медиана Кемени.

Существует большое количество подходов к моделированию кредитных рисков, например, в [1, 2] выделяют три основных группы: фундаментальные, рыночные и продвинутые подходы к построению моделей.

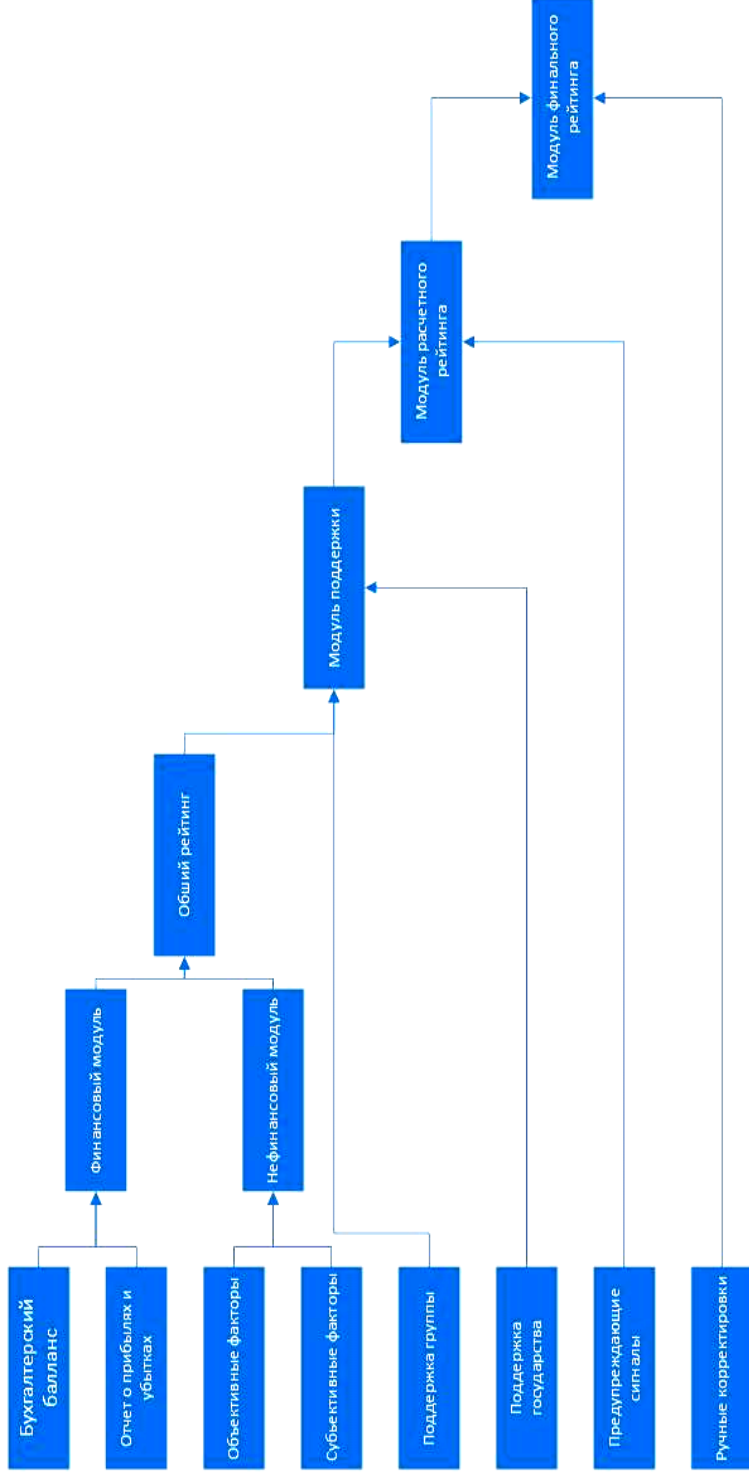
Авторы [3] из разнообразных формальных методов оценки рисков и управления ими во многих случаях (реально во всех нетривиальных ситуациях) не могут дать однозначных рекомендаций. В конце процесса принятия решения находится всегда человек, менеджер, на котором лежит ответственность за принятое решение. Поэтому процедуры экспертного оценивания естественно применять на всех этапах анализа рисков.

В книге Дж. Кемени и Дж. Снелла [4] в качестве итогового мнения комиссии экспертов предложено применять «медиану Кемени», т. е. результат минимизации суммы расстояний Кемени от мнений экспертов до произвольного бинарного отношения  $X$ . Медиана Кемени  $A_s = \text{Arg min } \sum D(A_s, A)$ , где  $A(1), A(2), \dots, A(n)$  — бинарные отношения упорядочивания является кондорсетовым ранжированием (не возникает парадокса Кондорсе), обладает большинством критериев Эрроу (в том числе транзитивности).

Объектом исследования является кредитная модель банка в условиях перехода к нормативам Базель 2/3. Целью данного доклада является рассмотрение компонентов одной из кредитных моделей рисков, в которой авторы считают целесообразным использование разрабатываемой экспертной системы, работающей по принципу поиска медиан Кемени

На рисунке представлена рассматриваемая кредитная модель.

Авторы обосновывают целесообразность применения разрабатываемой экспертной системы ранжировок в компонентах поддержки группы, государства и предупреждающих сигналов, которые относятся к этапу получения первоначального рейтинга заемщиков. В компоненте ручной корректировки для последующих экспертных исправлений (см. рисунок).



Модель кредитных рисков в банке

Алгоритмы Литвака и Жихарева [5] используются в качестве расчетной основы для приближенного и точного поиска медианы Кемени. Проводится исследование этих алгоритмов на предмет вычислительной способности и точности для решения поставленной задачи упорядочивания клиентов кредитных организаций. В экспертной системе предусмотрено задание авторитености экспертов с помощью весовых коэффициентов.

### Литература

- [1] Матигорова И.Ю. Характеристика основных подходов к оценке кредитного риска. *Матер. Междунар. науч. конф. «Экономическая наука и практика*. Чита, Издательство «Молодой ученый», 2012, с. 68–69.
- [2] Тотьмянина К.М. Обзор моделей вероятности дефолта. *Управление финансовыми рисками*, 2011, № 01, с. 12–24.
- [3] Орлов А.И. Современное состояние контроллинга рисков. *Научный журнал КубГАУ*, 2014, № 98, с. 32–64.
- [4] Кемени Дж., Снелл Дж. *Кибернетическое моделирование. Некоторые приложения*. Москва, Советское радио, 1972, 192 с.
- [5] Жуков М.С., Орлов А.И. Задача исследования итогового ранжирования мнений группы экспертов с помощью медианы Кемени. *Научный журнал КубГАУ*, 2016, № 122, с. 785–806.

## The Use of Expert Rankings in the Calculation of Credit Risk in a Bank

© | Zhukov M.S.<sup>1</sup>  
| Orlov A.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Get Capital, Munchengladbach, 41179, Germany

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The report analyzes the use of expert rankings in the creation and functioning of a credit risk model in a bank. To find the final opinion of the commission of experts, a clustered ranking is sought, averaging the answers of experts. Among the methods of averaging a cluster of clustered rankings, methods for calculating the Kemeny's median are distinguished. The authors are developing software tools that are proposed to be used at the stages of building and functioning of credit risk models*

**Keywords:** expert assessments, credit risk, Kemeny's median.

УДК 330.1:685.588.8

## Реестр внутренних рисков логистической стратегии в гидроэнергетике

© | Лифарь Александра Станиславовна  
Бром Алла Ефимовна

Alifar15@mail.ru  
abrom@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлена информация о тенденциях в гидроэнергетической отрасли. Дано определение понятия «риск» и классифицированы риски существующей стратегии проведения ремонтов. Охарактеризована логистическая стратегия и идентифицированы возможные риски при переходе к данной стратегии. Поскольку суть стратегии заключается в выводе оборудования в состоянии, близком к аварийному, риски были идентифицированы как критичные.*

**Ключевые слова:** *внешние и внутренние риски, ремонт по техническому состоянию, гидроэнергетика.*

За последние 5 лет в гидроэнергетике России стал активно применяться термин «ремонт по техническому состоянию», характеризующий проведение мероприятий по ремонту с учетом фактического технического состояния оборудования, определяемого методами и средствами технической диагностики. Ремонт по техническому состоянию лег в основу логистической стратегии управления затратами, которая направлена в первую очередь на прогнозирование отказов и мониторинг состояния оборудования.

Актуальность данной стратегии неоспорима, поскольку основными ее преимуществами являются продление сроков эксплуатации оборудования с невыработанным ресурсом и уменьшение количества аварийных ситуаций. С другой стороны, говоря о гидроэлектростанции — объекте повышенной опасности — важно рассмотреть возможные риски перехода к данной стратегии.

Риск — это мера количественного многокомпонентного измерения опасности с включением величины ущерба от воздействия угроз для безопасности, вероятности возникновения этих угроз и неопределенности в величине ущерба и вероятности [1].

Система планово-предупредительных ремонтов, являющаяся традиционной для гидроэнергетики России, характеризуется следующей системой рисков, представленной в таблице.

Условно все риски можно разделить на две группы: внутренние и внешние. К внешним рискам относятся риски, непосредственно не связанные с деятельностью предприятия или его контактной аудиторией, внутренние — риски, обусловленные деятельностью самого предприятия.

В реестре рисков 2016–2017 гг. ПАО «РусГидро» идентифицировало риски, связанные с основным оборудованием (нарушения условий эксплуатации и аварийных отказов) как существенные, требующие особых мер прогнозирования [3].

Структура затрат при логистической стратегии формируется с учетом внедрения в производство методов и средств технической диагностики, мониторинга и прогноз технического состояния электрооборудования. Следовательно, к реестру внутренних рисков, представленных в таблице, добавятся: риски неподготовленности персонала

к новым системам; ошибочного выбора мониторинговой системы; неточности данных мониторинговых систем и автоматической системы управления (АСУ) и неточности системы прогнозирования отказов, риск ошибочной оценки показателей системы лицом, принимающим решение (ЛПР).

**Реестр рисков при системе планово-предупредительных ремонтов**

Внешние	Внутренние
1. Риск неблагоприятных изменений законодательства. 2. Риск террористических актов. 3. Риск ущерба в результате природных катаклизмов и техногенных аварий других объектах. 4. Риск высокой/низкой водности. 5. Риск глобальных климатических изменений. 6. Инфляционные риски. 7. Риск неопределенности цен поставщиков [3].	1. Риск нарушения условий эксплуатации. 2. Риск оттока квалифицированных кадров. 3. Риск низкой дисциплины поставок комплектующих. 4. Риск аварийных отказов. 5. Управленческие риски. 6. Риск снижения объема собственных средств и увеличения суммы заемного капитала. 7. Дефицит средств, в том числе получаемых из внешних источников, на проведение запланированных инвестиций.

Из реестра рисков был исключен аварийный отказ, поскольку предполагается, что данная система ремонтов направлена на его минимизацию. Таким образом, при переходе к стратегии ремонта по состоянию гидроэлектростанция может столкнуться с рядом рисков, связанных в первую очередь с неточностью прогнозов и работы систем. Риски неточности, особенно на начальных этапах внедрения логистической стратегии, могут нести критический характер, поскольку данная система ремонтов предполагает изменение параметров работы основного оборудования до значений, соответствующей предаварийному состоянию.

Таким образом, представляется актуальной дальнейшая проработка вопросов оценки рисков, степени их влияния на деятельности компаний гидроэнергетической отрасли и целесообразности применения логистической стратегии в отрасли.

**Литература**

[1] Орлов А.И. Многообразие рисков. *Научный журнал КубГАУ*, 2015, № 111 (07), с. 1–27.  
 [2] *Реестр рисков ПАО «РусГидро»* [Электрон. ресурс] [http://www.rushydro.ru/sustainable\\_development/riski/reestr-riskov/](http://www.rushydro.ru/sustainable_development/riski/reestr-riskov/) (дата обращения 02.09.2016).  
 [3] Красноярская ГЭС: основа энергетики Сибири. ОАО «Красноярская ГЭС». Красноярск, ООО ИПК «Платина», 2012, 112 с.

**List of Internal Risks of Logistic Strategy in Hydropower Engineering**

© | Lifar A.S. Alifar15@mail.ru  
 Brom A.E. abrom@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article presents information on trends in the hydropower industry. The definition of the concept “risk” is given and the risks of the existing repair strategy are classified. The lo-*



*gistical strategy is characterized and possible risks are identified at transition to the given strategy. Since the essence of the strategy is to bring the equipment in a state close to an emergency, the risks have been identified as critical.*

**Keywords:** *external and internal risks, on-condition repair, hydropower.*

УДК 339.944

## **Перспективы развития аддитивных технологий в российском авиационном двигателестроении**

© | Просвирина Наталья Викторовна  
Тихонов Алексей Иванович

nata68.92@mail.ru  
engecin\_mai@mail.ru

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, 125993, Россия

*В последнее время вырисовывается новый тренд: ведущие мировые авиапроизводители активно внедряют технологии 3D-печати (быстрого прототипирования и аддитивного производства готовых изделий) в конструкторские и производственные процессы. Российская авиапромышленность остается конкурентоспособной, несмотря на сложности экономической ситуации и обострение конкуренции. Для того чтобы удержаться на рынке, необходимо искать конкурентные преимущества, расширять ассортимент и не допускать технологическое отставание.*

**Ключевые слова:** *аддитивные технологии, авиационное двигателестроение, конкурентоспособность.*

Совершенствование любого производства невозможно без применения новых материалов, модернизации, инновационных разработок и экономии ресурсов, именно поэтому так важно сегодня использование передовых аддитивных технологий, которые позволяют создавать детали высокого качества с наименьшими затратами. Подобные технологии позволяют реализовать основные принципы создания материалов нового поколения и представляют собой инновационный подход к проектированию и изготовлению деталей по сравнению с традиционными методами литья и обработки на металлорежущих станках [1]. Преимущества применения аддитивных технологий: изготовление изделий любой геометрии и формы; уникальные сочетания материалов; значительное снижение массы изделия; экономия на освоении производства; экономия материалов (коэффициент использования материала более 95 %, в то время как типовые способы дают менее 30 %); экономия оплаты труда (снижение трудозатрат в 3–8 раз); создание уникальных изделий [2]. В настоящее время с помощью аддитивных технологий упрощают производственные процессы в энергомашиностроении, приборостроении, авиационной промышленности, космической индустрии — именно там, где есть потребность в изделиях сложной геометрии и возникает интерес к наращиванию металлических деталей.

Авиационно-космическая промышленность проявляет острый интерес к технологиям аддитивного производства (АП) с момента их появления. Возможность устранить

множество ограничений на пути от проекта к производству позволяет реализовать в проекте решения, повышающие эффективность и снижающие вес деталей. Более того, по самой своей природе, этот рынок требует мелкосерийного производства высококачественных деталей, поэтому избавление от инструментальной оснастки, предлагаемое АП-технологиями, приносит существенные выгоды. Сертификационные требования в этой сфере являются весьма жесткими. Тем не менее, ряд систем и материалов прошел сертификацию, и сегодня АП-технологии используются для мелкосерийного производства деталей летательных аппаратов. Исследования сокращения затрат, вызванного применением АП в аэрокосмической индустрии, указывает на значительный выигрыш при работе над некоторыми деталями или задачами. В литературе упоминается множество сообщений о сокращении расходов на авиационные детали, в том числе прогнозируемая экономия для авиакомпании в размере 2,5 млн долл. США только за счет снижения на 50...80 % веса металлических креплений в салоне при их изготовлении с помощью технологий аддитивного производства [3].

Основной целью развития аддитивных технологий в Объединенной двигателестроительной корпорации (ОДК) является снижение сроков разработки, серийного освоения и вывода на рынок высокотехнологичной конкурентоспособной продукции.

Крупнейшим исследовательским центром ОДК по развитию этого направления является Центр аддитивных технологий, созданный на базе «ОДК — Сатурн». Центром уже разработана технологическая цепочка изготовления деталей селективным сплавлением, начиная от разработки 3D-модели, заканчивая функциональной деталью. Как ожидается, серийные двигатели, сертифицированные после 2025 г., смогут получить большое количество деталей, изготовленных новым методом.

Интерес к аддитивным технологиям во всем мире стабильно растет. Трехмерная печать в 2015 г. составит порядка 5,1 млрд долл., увеличившись почти на 26 % по сравнению с 2014 г. Таким образом, аддитивные технологии вкупе с роботизацией, цифровизацией и трехмерной печатью входят в перечень основного инструментария четвертой промышленной революции. Что касается применяемых в промышленном производстве систем 3D-печати, то здесь с большим отрывом лидируют США (38 %), Япония (9,7 %), Германия (9,4 %) и Китай (8,7 %). Доля России составляет 1,4 % [4]. По мнению экспертов, к 2018 г. реально освоить серийное промышленное производство деталей по технологии 3D-печати. Залог успеха — наличие национальной программы и координированные действия игроков.

### Литература

- [1] Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники. *Журнал «Труды МАИ»*, 2014, вып. № 78, 22 с.
- [2] Дуб А.В. *Создание оборудования для аддитивных технологий в ГК «Росатом»*. Международный форум «NDExpo» [Электрон. ресурс] [http://www.ndexpo.ru/mediafiles/u/files/materials\\_2016/3/5Dub.pdf](http://www.ndexpo.ru/mediafiles/u/files/materials_2016/3/5Dub.pdf) (дата обращения 02.03.2017).
- [3] Бакарджиева С. Аддитивное производство: на пике завышенных ожиданий. *Федеральный промышленный журнал «Умное производство»* [Электрон. ресурс] [http://www.umpro.ru/index.php?page\\_id=17&art\\_id\\_1=610&group\\_id\\_4=110](http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=610&group_id_4=110) (дата обращения 05.03.2017).
- [4] Головков В.Г., Пашко С.А. Аддитивные технологии в России. IX Международная студенческая научная конференция «Студенческий научный форум» — 2017 [Электрон. ресурс] <https://www.scienceforum.ru/2017/pdf/32191.pdf> (дата обращения 02.03.2017).

## Prospects for the Development of Additive Manufacturing in the Russian Aviation Engine

© | Prosvirina N.V.  
Tikhonov A.I.

nata68.92@mail.ru  
engecin\_mai@mail.ru

Moscow Aviation Institute (national research university), Moscow, 125993, Russia

*In recent time a new trend emerges: the world's leading aircraft manufacturers are actively introducing technologies of 3D printing (rapid prototyping and additive manufacturing of finished products) in the design and manufacturing processes. The Russian aviation industry remains competitive, despite all the hardships of the economic situation and heavy competition. In order to stay on the market, it is necessary to seek competitive advantages, to expand the range and to prevent the technological gap.*

**Keywords:** additive manufacturing, aircraft engine, competitiveness.

УДК 338.312

## Оценка стоимости жизненного цикла — задачи, этапы, решения

© | Середина Дарья Олеговна  
Масленникова Ирина Леонидовна  
Бром Алла Ефимовна

dariaseredina@mail.ru  
irishka.maslennikova@gmail.ru  
abrom@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены причины актуальности использования метода оценки стоимости жизненного цикла, этапы проведения анализа затрат жизненного цикла, а также достоинства и недостатки данного метода.*

**Ключевые слова:** инженерная система, стоимость жизненного цикла, оценка затрат жизненного цикла.

В настоящее время в мировой экономике принятие решений по приобретению той или иной инженерной системы (ИС) основывается не только на закупочной стоимости, но также и на стоимости жизненного цикла (СЖЦ) системы, который включает расходы в течение всех этапов — от разработки до утилизации жизни продукта (т. е. полные расходы по закупке и эксплуатации) [1–4].

Опыт прошлых лет свидетельствует о том, что стоимость владения инженерным оборудованием, закупленным по самой низкой цене, может зачастую превышать закупочную цену. Значит, в процессе анализа и принятия решения о приобретении ИС необходимо учитывать стоимость владения. Однако решения о закупках, основанные исключительно на стоимости приобретения, могут оказаться не самыми рациональными в долгосрочной перспективе. Метод, использующийся для оценки полной СЖЦ поставки оборудования, известен как оценка затрат жизненного цикла (ЗЖЦ).

Рассмотрим подробнее данный метод, причины его актуальности, а также области его применения.

Метод оценки затрат жизненного цикла набирает популярность в промышленном секторе по всему миру для принятия различных решений, которые прямо или косвенно касаются инженерного оборудования и систем.

Однако для внедрения метода оценки затрат жизненного цикла в практическую деятельность требуются различные виды информации: стоимость инженерной системы, полезный срок службы ИС в годах, ежегодные эксплуатационные расходы инженерного оборудования, стоимость транспортировки (доставки) и установки ИС, ставка дисконтирования и уровень инфляции, ежегодная стоимость технического обслуживания изделия, налоги, а также ликвидационная стоимость или затраты на утилизацию изделия.

Говоря об актуальности метода оценки ЗЖЦ, следует отметить, что он может быть использован во множестве сфер, таких как долгосрочное планирование и финансирование, сравнение конкурирующих проектов, сравнение логистических подходов, прогнозирование будущих бюджетных потребностей, выбор наиболее эффективных закупочных стратегий, проектирование и разработка системных продуктов, принятие стратегических решений и проектных альтернатив, оптимизация соответствующих потребностей в обучении, обеспечение эффективных объектов контроля проектов, оценка применимости новых технологий, выполнение выбора источников.

Путем различных исследований были предложены шаги к проведению анализа затрат за весь срок службы ИС.

- Определить объект анализа затрат жизненного цикла.
- Выбрать эффективную оценочную методологию/модель стоимости жизненного цикла.
- Получить все существенные данные и внести соответствующий вклад в выбранную методологию или модель.
- Провести анализ чувствительности конъюнктуры к уровню риска.
- Сформулировать результаты анализа затрат жизненного цикла.
- Документировать анализ затрат.
- Представлять анализ затрат жизненного цикла как более целесообразный.
- При необходимости обновлять анализ затрат.

С течением времени профессионалами различных сфер деятельности был определен целый ряд преимуществ и недостатков оценки затрат. Главными недостатками являются: метод оценки затрат жизненного цикла требует временных затрат, является дорогостоящим, не обладает корректностью данных, процесс получения данных для анализа является трудоемким. В то же время существует и ряд преимуществ: удобства в сокращении полной себестоимости и контроля программы, полезный инструмент принятий решений, связанных с заменой оборудования, планированием и финансированием, удобство для сравнения стоимости конкурирующих продуктов, отличный инструмент для проведения отбора среди конкурирующих поставщиков/производителей.

Подводя итог сказанного выше, можно сделать вывод, что оценка жизненного цикла продукта является одной из наиболее распространенных моделей, применяемых для анализа последовательных стадий в развитии деловой активности производства какого-либо товара или услуги.

Чтобы обнаружить возможность возникновения кризисной ситуации на предприятии, необходимо постоянное наблюдение за его деловыми и финансовыми пока-

зателями, их анализ дает возможность количественно оценить явления. Одни и те же показатели могут иметь различное значение на разных этапах жизненного цикла предприятия. Поэтому анализ показателей по этапам жизненного цикла предприятия позволит выявить тенденцию развития кризисных явлений на основе количественных и качественных оценок.

Таким образом, проведя анализ стоимости жизненного цикла продукта, мы можем сделать вывод о наиболее рентабельном оборудовании среди конкурирующих производителей.

### Литература

- [1] Ермилова Г., Смирнов Н. *Жизненный цикл малого предприятия*. Москва, Новое литературное обозрение, 2009, 336 с.
- [2] Бакиев А., Никифоров А. *Процессы жизненного цикла продукции в машиностроении*. Москва, Арбис, 2011, 688 с.
- [3] Бром А.Е. Современные технологии организации и управления жизненным циклом наукоемкой продукции. *Вестник Московского государственного областного университета. Сер. Экономика*, 2015, № 2, с. 41–46.
- [4] Омельченко И.Н., Бром А.Е. Современные подходы к оценке жизненного цикла продукции. *Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева*, 2013, № 2, с. 29–34.

## Life cycle Costing — Issues, Stages and Solutions

© | Seredina D.O.  
Maslennikova I.L.  
Brom A.E.

dariaseredina@mail.ru  
irishka.maslennikova@gmail.ru  
abrom@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article describes the reasons of actuality of life cycle costing, the stages of life cycle cost analysis and advantages and disadvantages of this analysis.*

**Keywords:** *engineering equipment, life cycle costing, life cycle cost analysis.*

УДК 629.113

## Проблема обеспечения эффективного материально-технического снабжения для сложной техники

© | Сидельников Иван Дмитриевич  
Бром Алла Ефимовна

sidbmstu@gmail.com  
abrom@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Статья посвящена актуальной проблеме создания систем материально-технического обеспечения для сложной техники. Обосновывается постановка задачи оптимизации, где критерием эффективности системы материально-технического обеспечения яв-*

ляется минимизация совокупных логистических затрат, а в качестве ограничения выступает обеспечение требуемого коэффициента технической готовности.

**Ключевые слова:** материально-техническое обеспечение, запасы, критерий эффективности, затраты, логистика.

Создание инфраструктуры для поддержки эксплуатации техники становится одной из важнейших задач не только инженеров-разработчиков и технологов, но и логистов. Главной задачей последних стала организация информационных и материальных потоков между разработчиками, производителями материалов, комплектующих и запасных частей (МКЗ), между складами, сервисными центрами и центрами технического обслуживания (ТО), а также местами эксплуатации машиностроительной продукции [1].

Однако создать сервисную сеть с эффективной системой поддержки, работающей непосредственно по месту базирования техники, достаточно проблематично. Например, на территории РФ места эксплуатации сложного энергетического и специализированного оборудования для нефтяной и газовой промышленности оторваны от сервисных центров и центров проведения ТО, от складов МКЗ, от производителей МКЗ, а также от разработчиков. Неподготовленность сервиса приводит к масштабному нарушению норм эксплуатации, следствием чего становится увеличение отказов оборудования, бессистемные заказы запасных частей [2, 3].

К тому же, при интеграции в систему поддержки жизненного цикла изделия разнородных, часто географически разделенных, хозяйственных и коммерческих структур, возникает ситуация десинхронизации логистических цепей, когда незначительные колебания спроса конечного потребителя вызывают лавинообразный эффект нарастающих колебаний переменных материальных потоков других участников процесса, получивший название *Bullwhip*-эффект (эффект кнута).

Попав в ситуацию с дефицитом, предприятие-эксплуатант создает страховой запас, который, в свою очередь, лежит «мертвым грузом». Чрезмерные запасы различных МКЗ, предметов снабжения (расходных материалов и принадлежностей) на складах заказчика приводят к «омертвлению» капитала и нерациональным затратам на хранение этих запасов. С другой стороны, дефицит предметов снабжения, а также длительность выполнения заявок на пополнение запасов могут приводить к сверхнормативным простоям и, следовательно, к дополнительным затратам [4].

Такая ситуация в конечном итоге приводит к неэффективности материально-технического обеспечения (МТО), срыву сроков поставок и потери репутации российских производителей техники на мировых рынках.

Таким образом, критерий эффективности системы МТО заключается в минимизации суммарных затрат цепей поставок (ЦП) при обеспечении требуемого уровня надежности [5], который отражается через коэффициент технической готовности, а экономико-математическая модель в общем виде может быть представлена как

$$\sum Z_{\text{ЦП}} \rightarrow \min, \\ K_{\text{т.г}} \leq 1,$$

где коэффициент технической готовности  $K_{\text{т.г}}$  (в области надежности машиностроительной продукции) — это вероятность того, что изделие в данный момент времени находится в работоспособном состоянии, определенная в соответствии с проектом при заданных условиях функционирования и технического обслуживания [6].

Совокупные затраты в свою очередь складываются из основных групп:

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^q (Z_{1i} + Z_{2i} + Z_{3i} + Z_{4i}) \rightarrow \min,$$

где  $Z_{1i}$  — затраты, связанные с приобретением необходимого объема МКЗ при организации МТО для  $i$ -го вида продукции, и включающие стоимость МКЗ на складах и в процессе поставки;  $Z_{2i}$  — расходы на хранение в период между поставками МКЗ на склад;  $Z_{3i}$  — потери, связанные с неиспользованием МКЗ, хранящихся на складе;  $Z_{4i}$  — потери, связанные с простоем техники во время проведения восстановительных работ.

Аналитическое решение этой задачи в такой постановке довольно проблематично, так как существуют разные значения  $K_{т.г}$  для отдельных образцов и по парку техники в целом [7, 8].

Таким образом, только анализ и оценка всех затрат, связанных с МТО техники, позволит обеспечить искомый баланс между надежностью и эффективностью эксплуатации.

### Литература

- [1] Бром А.Е. Управление цепями поставок и глобальная логистика. *Машиностроение*, 2007, № 4, с. 68–76.
- [2] Бром А.Е. Логистическая поддержка эксплуатационной надежности наукоемкой продукции. *Машиностроитель*, 2007, № 9, с. 7–10.
- [3] Омельченко И.Н., Кузнецова Д.О. *Логистическое проектирование поставок с учетом оценки эксплуатации*. Москва, Гуманитарный вестник, 2013.
- [4] Рыжиков Ю.И. *Теория очередей и управление запасами*. Санкт-Петербург, Питер, 2001.
- [5] Бром А.Е., Сидельников И.Д. Организация материального снабжения для техники военного и специального назначения. *Вестник Московского государственного областного университета. Сер. Экономика*, 2016, № 4, с. 56–61.
- [6] *ГОСТ Р 27.002–2009*. Надежность в технике. Термины и определения.
- [7] Бадочкин О.В., Лукинский В.В., Лукинский В.С. *Управление запасами в цепях поставок*: учеб. пособие. Санкт-Петербург, СПбГИЭУ, 2010, с. 192.
- [8] Стерлигова А.Н. *Управление запасами в цепях поставок*: учебник. Москва, ИНФРА-М, 2009.

## The Problem of Ensuring Effective Material and Technical Supply for Complex Equipment

© | Sidelnikov I.D.  
Brom A.E.

sidbmstu@gmail.com  
abrom@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article is devoted to the actual problem of creation of systems of material and technical support for complex equipment. The formulation of the problem of optimization is substantiated, where the criterion of the effectiveness of the logistic support system is the minimization of the total logistics costs, and the limitation is the maintenance of the required coefficient of technical readiness.*

**Keywords:** material and technical support, reserves, efficiency criterion, costs, logistics.

УДК 338.984

## К вопросу оценки целесообразности привлечения инжиниринговой компании к проекту в контексте заказчика и инжиниринговой компании

© Стоянова Маргарита Васильевна  
Бром Алла Ефимовна

mar-go-go@mail.ru  
abrom@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрена целесообразность привлечения инжиниринговой компании к проекту, как со стороны Заказчика, так и со стороны инжиниринговой компании. Для компании-заказчика основной ценностью является дополнительный доход — инжиниринговая рента, который она получает в результате использования ресурсов инжиниринговой компании. С точки зрения инжиниринговой компании основной ценностью реализации инжинирингового проекта является получение достаточной маржинальной прибыли и накопление компетенций. Обоснована необходимость дальнейшего рассмотрения сценариев влияния компетенций на инжиниринговую ренту и маржинальную прибыль в зависимости от конкурентной ситуации в контексте Заказчика и исполнителя инжиниринговых услуг с учетом создаваемого синергетического эффекта.*

**Ключевые слова:** инжиниринг, инжиниринговая компания, проект, инжиниринговая рента, маржинальная прибыль.

Одним из драйверов роста современной российской экономики является быстрорастущий рынок инжиниринговых услуг (далее — ИУ). Ключевым фактором его роста является та ценность, которую обеспечивает привлечение инжиниринговой компании (далее — ИК) к реализации проекта. В данной работе предлагается оценить данную ценность со стороны основных игроков: компании-заказчика и инжиниринговой компании.

Обращаясь к ИК, заказчик хочет получить качественную услугу, результатом которой будет успешно реализованный в соответствии с бюджетом и сроками проект, отвечающий заложенным показателям и генерирующий запланированный объем прибыли. Однако стоимость оказания ИУ на российском, как и на мировом рынке, значительна, а наличие положительного эффекта от использования услуг ИК не всегда очевидно и прозрачно. На первый взгляд, кажется, что привлечение ИК, в связи с высокой стоимостью ее услуг, увеличивает суммарные расходы компании-заказчика. Однако современные исследователи [1] отмечают возникновение дополнительного дохода у компании-заказчика в результате использования ресурсов ИК — инжиниринговой ренты (ИР). Таким образом, при принятии решения о привлечении ИК к проекту или реализации его собственными силами перед заказчиком стоит задача максимизации ИР.

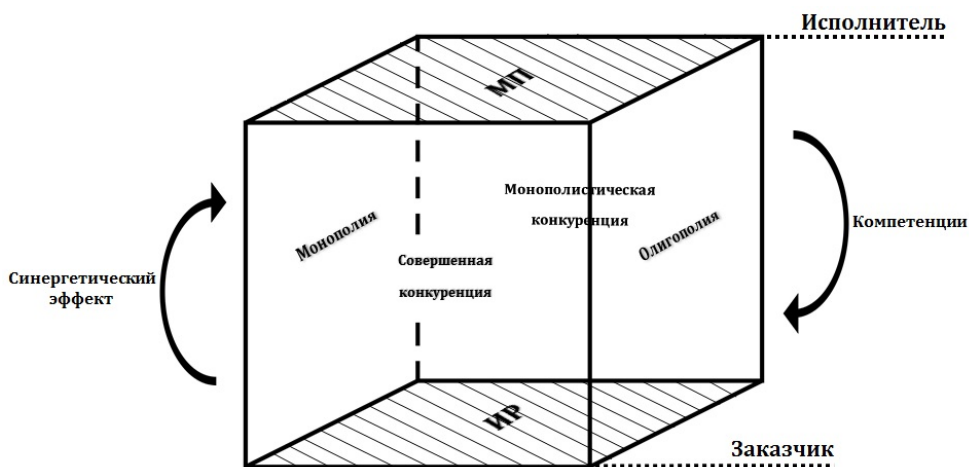
Теперь рассмотрим ценность оказания ИУ со стороны ИК. В зависимости от стратегической цели перед ИК может стоять ряд задач, таких как: максимизация объема оказываемых ИУ в денежном и количественном выражениях, минимизация издержек, максимизация прибыли. Анализ используемых критериев оптимизации поз-



воляет сделать вывод о том, что в качестве целевой функции должен применяться максимум маржинальной прибыли (МП). Именно этот показатель характеризует ценность реализации одного договора (одной ИУ) и показывает «прирост» прибыли при реализации данной ИУ. Общеизвестно, что МП — это разница между выручкой от продажи произведенной продукции или оказанной услуги и ее себестоимостью [2]. Таким образом, во время принятия решения о заключении договора на оказание инжиниринговых услуг перед ИК стоит задача максимизации маржинальной прибыли.

Необходимо отметить, что стратегическое управление любой компанией (как ИК, так и компании-заказчика) происходит в условиях внешней среды, которая характеризуется высокой степенью неопределенности и динамичности. Одним из элементов внешней среды является конкурентная среда, представляющая собой совокупность ИК, оказывающих аналогичные инжиниринговые услуги. Рассматривая типологию конкурентной среды, мы отталкиваемся от четырех основных существующих типов рыночных структур: совершенная конкуренция, монополистическая конкуренция, олигополия и монополия [3]. Обладая информацией о конкурентной среде и типе рыночной структуры, ИК может более точно оценить перспективы своей деятельности, приоритеты развития, повысить конкурентоспособность, увеличить вероятность успешной реализации стратегий и повысить качество принимаемых управленческих решений в целом. Конкурентная среда, с точки зрения Заказчика формирует предложение на оказание ИУ, т. е. влияет на цену, возможность выбора, качество услуги и др.

Следовательно, вопрос удовлетворения интересов Заказчика и ИК также необходимо рассматривать с учетом конкурентной среды. Наглядно данную задачу можно представить в виде куба, боковыми плоскостями которого являются рыночные структуры, а нижней и верхней плоскостями интересы Заказчика и ИК соответственно (см. рисунок). Данная схема иллюстрирует, многообразие сценариев учета обеих сторон в зависимости от конкурентной сложившейся ситуации. Связующими звеньями в данном случае являются компетенции, которые использует ИК при реализации инжинирингового проекта, и возникающие при этом синергетические эффекты.



Сценарий расчета маржинальной прибыли и инжиниринговой ренты

Последующая задача исследования состоит в разработке сценариев влияния компетенций на инжиниринговую ренту и маржинальную прибыль в зависимости от конкурентной ситуации в контексте Заказчика и исполнителя инжиниринговых услуг с учетом создаваемого синергетического эффекта.

### Литература

- [1] Мишин С.А. *Проектный бизнес: адаптированная модель для России*. Москва, АСТ, 2006, 428 с.
- [2] Ванхорн Д., Вахович мл., Джон М. *Основы финансового менеджмента* / пер. с англ. О.Л. Пелявского; под ред. А.В. Кравченко. Москва, Издательский дом «Вильямс», 2008, 1232 с.
- [3] Тироль Ж. *Рынки и рыночная власть* / пер. с англ. Ю.М. Донца; под ред. М. Гальперина. Санкт-Петербург, Экономическая школа, 2000, 334 с.

## To a question of an Expediency of the Engineering Company Involvement to the Project Assessment in the Context of the Customers and the Engineering Company

© | Стоянова М.А.  
Brom A.E.

mar-go-go@mail.ru  
abrom@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*The article is devoted to the question of expediency of the engineering company involvement to the project considered, both from the customer, and from the engineering company sides. For the customer the main value is the additional income — an engineering rent which is the result of engineering company resources usage. From the point of the engineering company the main value of implementation of the engineering project is receiving sufficient marginal profit and accumulation of competences. Need of further consideration of competences influence scenarios on an engineering rent and marginal profit depending on a competitive situation in the context of the customer and the engineering company taking into account the created synergetic effect is proved.*

**Keywords:** *engineering, engineering company, project, engineering rent, marginal profit.*

УДК 658.8.012.12

## Моделирование жизненного цикла продукции на этапе маркетингового исследования

© | Терентьева Зинаида Сергеевна

zinaida.terentieva@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Обоснована необходимость использования моделирования этапа маркетинговых исследований. Представлена функциональная модель процесса маркетингового ис-*

следования в стандарте IDEF0. Рассмотрены дальнейшие перспективы моделирования процессов маркетингового исследования.

**Ключевые слова:** моделирование, жизненный цикл, маркетинговые исследования, функциональная модель, продукция.

В настоящее время управление и осуществление информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции становится все более актуальным на всех его этапах. При этом известно, что стоимость устранения ошибок на этапе разработки значительно меньше, чем на дальнейших стадиях [1]. Проведение маркетинговых исследований позволяет выявить потребности и помогает избежать ошибок при создании продукции. Неоценимую помощь может оказать моделирование различных маркетинговых ситуаций. Исходя из того, что модель должна частично или полностью воспроизводить структуру моделируемой системы и ее функции, можно сделать вывод, что моделирование предполагает построение некоторого аналога, способного заменить реальную систему и дать о ней новую информацию [2]. Первым шагом на этом пути становится функциональное моделирование, которое все чаще используют для анализа и разработки организационно-экономических систем и процессов в целях их совершенствования, повышения их результативности и эффективности.

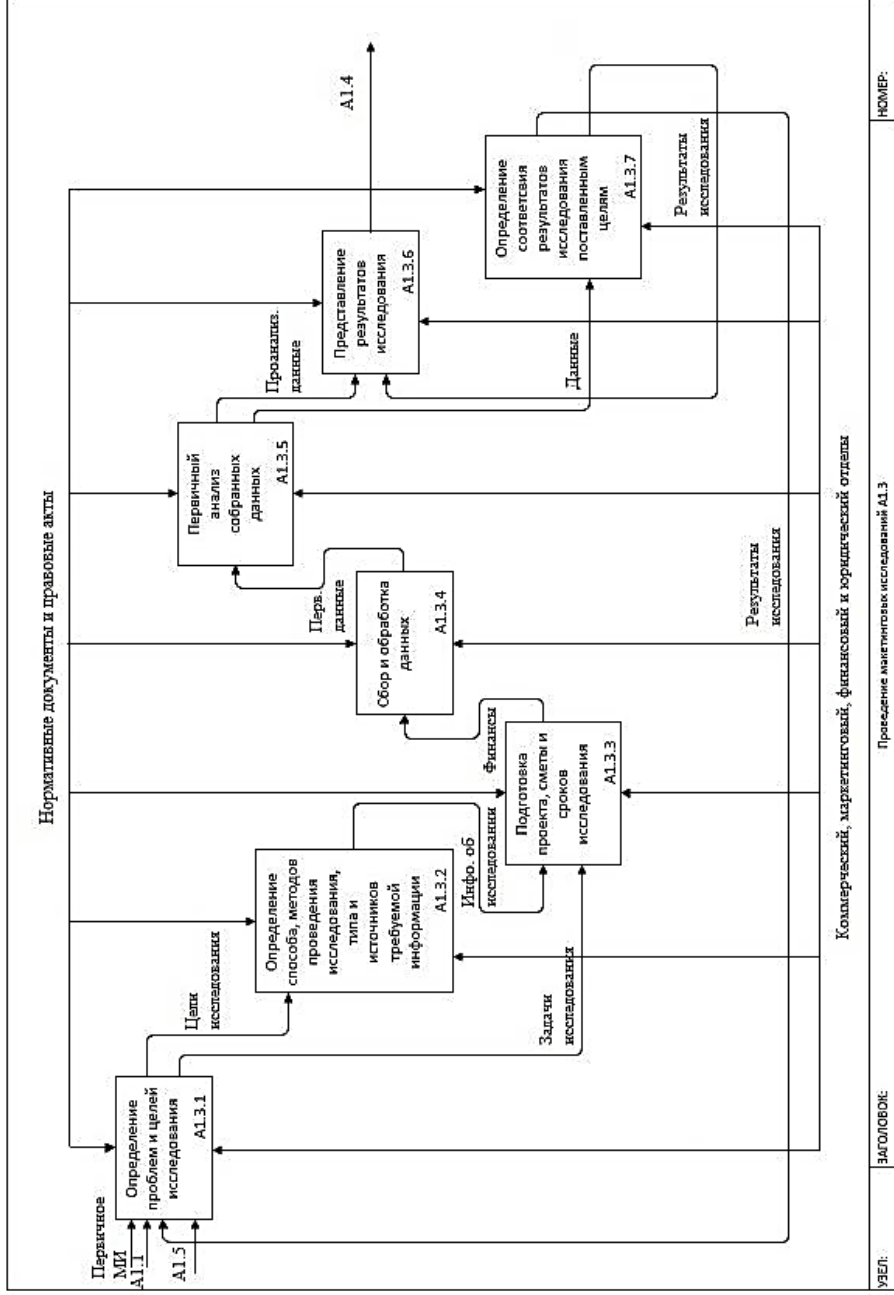
Особенно актуальным построение функциональных моделей становится для процессов информационного обеспечения маркетинговой деятельности [3]. Функциональное моделирование в стандарте IDEF0 заключается в представлении любой изучаемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия, происходящие в системе. Основное достоинство функциональной модели состоит в визуализации и графической простоте. Функциональная модель процесса маркетингового исследования, построенная на основе методологии IDEF0 и отражающая взаимосвязь всех происходящих в ней информационных процессов, приведена на рисунке.

Предложенная модель отражает специфику и содержание процессов маркетингового исследования современных предприятий, носит комплексный характер и может функционировать во взаимодействии с другими моделями.

Очевидно, что число предприятий и организаций, использующих в своей деятельности моделирование маркетинговых ситуаций, будет постоянно возрастать. Следующим шагом после функционального моделирования целесообразно осуществлять имитационное моделирование.

#### Литература

- [1] Бром А.Е. Современные технологии организации и управления жизненным циклом наукоемкой продукции. *Вестник МГОУ. Сер. Экономика*, 2015, № 2, с. 41–46.
- [2] Борисова В.В. Методология моделирования в маркетинговых исследованиях. *Вестник Томского государственного университета*, 2009, № 323, с. 229–232.
- [3] Терентьева З.С. Моделирование процессов в маркетинговых каналах цепи поставок. *Эффективная логистика: Сб. ст. VI всерос. науч.-практ. конф.* Челябинск, ИЦ ЮУрГУ, 2013, с. 267–275.



Функциональная модель процесса маркетингового исследования

## Product life Cycle Modeling at the Stage of Marketing Research

© | Terentieva Z.S.

zinaida.terentieva@gmail.com

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

*It justifies the use of marketing research stage modeling. It provides the functional model of marketing research in the IDEF0 standart. It reviews the prospects of modeling marketing research processes.*

**Keywords:** *Modeling, life cycle, marketing research, functional model, product.*

# Содержание

---

## **А** Машиностроительные технологии

<b>A1. Metallорезущие станки</b> .....	<b>3</b>
<i>Дегтярева А.С., Дьяконов А.А.</i> Совершенствование технологии изготовления шпиндельной бабки металлорежущего станка .....	3
<b>A2. Инструментальная техника и технологии</b> .....	<b>6</b>
<i>Карельский А.С.</i> Исследование геометрических параметров резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками .....	6
<i>Ларин Н.А., Потапова М.С.</i> Определение коэффициента удельной силы резания при фрезеровании однозубой фрезой .....	8
<i>Леквешвили М.А., Оленин Л.Д.</i> О путях создания высокоэффективного режущего инструмента .....	11
<i>Миненков С.И.</i> Разработка программы определения сечения срезаемого слоя и силы резания при фрезеровании фрезой с волнистой режущей кромкой .....	13
<b>A3. Технология машиностроения</b> .....	<b>17</b>
<i>Акинцева А.В., Алсигар М.К.</i> Теоретические подходы к проектированию циклов механической обработки .....	17
<i>Ардашев Д.В.</i> Повышение эффективности операций шлифования на основе учета работоспособности шлифовальных кругов .....	20
<i>Гончаров А.А.</i> Обработка винтовой поверхности миниатюрных роторов героторных микродозаторов на станках с ЧПУ .....	23
<i>Городкова А.Е.</i> Сравнительный анализ температурных полей при обработке микрошлифованием .....	26
<i>Гусев А.В., Закураев В.В.</i> Система автоматического определения эффективных режимов токарной обработки .....	29
<i>Дегтярева А.С., Дьяконов А.А.</i> Постановка задачи проектирования циклов круглого врезного шлифования .....	32
<i>Лютиков Ю.А., Васильев А.С.</i> Обеспечение износостойкости поверхностей прецизионных деталей в гетерогенных технологических структурах с использованием лазерной закалки .....	34
<i>Мальшев В.А., Иванова Ю.С.</i> Технология изготовления и упрочнения деталей на станках с ЧПУ .....	37
<i>Мозгин С.А., Игнатов А.В., Островский Ю.А.</i> Автоматизация сборки клеевых соединений в дизельном двигателестроении .....	40
<i>Рзаев Р.А., Чуларис А.А.</i> Основные аспекты формирования сварного соединения способом сварки трением с перемешиванием и учетом механизмов пластической деформации на разных структурно-масштабных уровнях .....	43
<b>A4. Метрология и взаимозаменяемость</b> .....	<b>49</b>
<i>Болдасов Д.Д., Лазарев Н.Ю., Сырицкий А.Б.</i> Разработка программно-аппаратного комплекса диагностики роторных машин на базе фазохронометрического метода .....	49

<i>Коленкин А.В., Чикмарев А. Д., Обухов И.В.</i> Задача разделения статистических характеристик составляющих суммарного сигнала и пути ее решения .....	52
<i>Коленкин А.В., Чикмарев А. Д., Обухов И.В.</i> Оценка точности измерительных машин по результатам эксперимента .....	57
<i>Крансуцкая А.А., Тумакова Е.В.</i> Измерительный комплекс для исследования подшипников качения .....	61
<i>Метелкина Е.Д., Кошкин А.С.</i> Оптимизация функционирования и диагностика технических систем летательных аппаратов на базе энергоэффективных измерительных технологий .....	63
<i>Носова А.О., Кустиков Ю.А.</i> К вопросу необходимости разработки и использования стандартных образцов медицинского назначения .....	68
<i>Савенков А.П., Мордасов М.М.</i> Бесконтактные аэродинамические методы измерения физических свойств жидкостей .....	71
<b>A5. Литейные технологии .....</b>	<b>74</b>
<i>Варфоломеев М.С., Моисеев В.С., Шербакова Г.И.</i> Термостойкие керамические изделия для плавки и литья высокожаропрочных сплавов .....	74
<i>Зарубина О.А., Коротченко А.Ю.</i> Анализ работы вертикально-щелевой литниковой системы при литье в кокиль отливок из алюминиевых сплавов .....	77
<i>Хилков Д.Э., Коротченко А.Ю.</i> Методики расчета литниковых систем в МИМ-технологии .....	81
<i>Хилкова А.А., Коротченко А.Ю.</i> Моделирование уплотнения стержневой смеси .....	83
<b>A6. Технологии обработки давлением .....</b>	<b>85</b>
<i>Билалов Д.Х., Лехов О.С., Михалев А.В., Шевелев М.М.</i> Напряженное состояние системы бойки — полоса при получении листов из стали для сварных труб на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации .....	85
<i>Григоренко Г.Д., Евсюков С.А.</i> Исследование влияния температуры на механические характеристики матриц одноугловой гибки, изготовленных FDM-прототипированием .....	89
<i>Ло Синь, Евсюков С.А.</i> Исследование влияния угла конусности вытяжной матрицы на потерю устойчивости заготовки .....	91
<i>Никифоров И.А., Стульников В.П.</i> Разработка конструкции штампа для совмещенного процесса обжима и выдавливания листовых заготовок .....	95
<b>A7. Технологии сварки и диагностики .....</b>	<b>99</b>
<i>Гуркин С.В., Нифонтова А.В.</i> Влияние режимов плазменно-порошковой наплавки на структуру антифрикционных покрытий на базе сплавов баббита .....	99
<i>Мордасов М.Д., Толубец А.О., Черных Д.А.</i> Физико-химическая модель процесса низкотемпературной пайки хромоникелевой аустенитной стали и меди с применением активного флюса .....	101
<i>Панкратов А.С., Коберник Н.В.</i> Влияние лигатуры на формирование сварного шва при автоматической двухдуговой сварке под флюсом .....	104
<i>Проваторов А.С., Галиновский А.Л.</i> Разработка метода определения эксплуатационно-технологических характеристик наноструктурированных покрытий по результатам воздействия на них высокоскоростной гидроструи .....	106
<b>A8. Материаловедение .....</b>	<b>110</b>
<i>Артемченко Н.И., Симонов В.Н.</i> Инженерная методика оценки внутренних напряжений в ионно-плазменных покрытиях .....	110

<i>Березина Т.А., Герасимов С.А., Скачков О.А.</i> Разработка и сравнение технологий получения дисперсно-упрочненных порошков сплава на основе Fe–Cr–Al методами восстановления окислов металлов и распыления водой высокого давления .....	114
<i>Хтет Вай Ян Мин, Шевченко С.Ю.</i> Сравнительная оценка методов определения коэффициентов теплоотдачи азота высокого давления .....	117
<i>Власова Д.В., Плохих А.И.</i> Исследование влияния горячей прокатки на послойное распределение микротвердости в многослойных материалах .....	121
<i>Курганов Д.С., Николокин Ю.В., Куркалов С.М.</i> Выбор материалов и конструкции их соединения для электрических контактов автоматических выключателей .....	124
<i>Минаков А.А., Плохих А.И.</i> Исследование долговечности многослойных стальных материалов при циклическом нагружении .....	127
<i>Мишук Л.Н., Крапошин В.Ф.</i> Термодинамическая вероятность образования феррита на месте графита в высокопрочных чугунах после азотирования .....	130
<i>Сафонов М.Д., Плохих А.И.</i> Исследование температурной зависимости теплового расширения многослойных материалов на основе сталей .....	132
<i>Севальнев Г.С., Смирнов А.Е.</i> Влияние термической обработки на контактную выносливость легированных высокоуглеродистых сталей .....	135
<i>Севальнева Т.Г., Севальнев Г.С., Курганова Ю.А.</i> Анализ влияния режимов термической обработки на структуру и свойства сварного соединения — гранулируемого никелевого сплава системы Ni–Cr–Mo–Al–Co .....	138
<i>Симич-Лафицкий Н.Д., Крапошин В.С.</i> Ориентационные соотношения между аустенитом и цементитом .....	141
<b>А9. Промышленный дизайн .....</b>	<b>146</b>
<i>Власов М.Э., Спаская Д.Д., Терехова Н.Ю.</i> Управление эффективностью предпринимательского проекта в сфере дизайна .....	146
<i>Косовская Д.В.</i> Дизайн-проектирование художественного изделия из полимерных материалов .....	151
<i>Матвеев Д.П., Щербакова И.С.</i> Дизайн-модернизация промышленных пространств в России .....	154
<i>Матвеев Д.П., Щербакова И.С.</i> Синтез производственного и образовательного пространств в рамках одного учебного учреждения .....	159
<i>Храмченкова О.В.</i> Дизайн-исследование требований и стандартов по оснащению учебной судебной лаборатории .....	164
<i>Щербакова И.С., Колесников А.Г.</i> Культура прототипирования .....	168
<b>А10. Оборудование и технологии прокатки .....</b>	<b>171</b>
<i>Захарова В.В., Комкова Т.Ю.</i> Получение бесшовных труб на ТПА 30-102 с непрерывным станом .....	171
<i>Колесова С.Я., Комкова Т.Ю.</i> Анализ поведения летучей пыльной установки редуccionного стана ТПА 30-102 в процессе ее эксплуатации .....	173
<i>Черепанов Д.С., Колесников А.Г.</i> Приоритетные направления развития станом холодной прокатки труб .....	176
<b>А11. Электронные технологии в машиностроении .....</b>	<b>179</b>
<i>Акишин М.Ю., Васильев Д.Д., Моисеев К.М.</i> Разработка блока коммутации источника питания с потребителями в камере установки ВУП-11М .....	179
<i>Арсланов И.К., Зарипова Р.С.</i> Проектирование электронных устройств в программе DesignLab .....	182



<i>Баклыков Д.А., Дубинин С.А., Моисеев К.М., Сидорова С.В.</i> Декоративные черные покрытия на установке PLATIT π80, полученные методом дугового испарения .....	185
<i>Голованов Д.А., Прохоров Е.П., Моисеев К.М.</i> Разработка системы автоматического управления вакуумной и газовой систем установки МВТУ-11-1МС .....	188
<i>Дюбанов В.А., Езенкова Д.А., Мозер К.В.</i> Исследование влияния электрофореза на формирование коллоидных пленок кремнезема .....	192
<i>Кулешова В.Л., Жуков Р.М.</i> Разработка оборудования для формирования коллоидных пленок .....	196
<i>Мельник М.А., Зикий Е.В., Боброва Ю.С.</i> Прямая металлизация гибко-жестких печатных плат .....	200
<i>Ротарь А.П., Иванова Д.А., Николенко В.А., Смирнова К.С., Базиненков А.М.</i> Оценка погрешности поддержания положения платформы активной виброизоляции на основе магниторегологических эластомеров .....	204
<i>Ласен Халиль, Малеванная Е.И. Моисеев К.М.</i> Применение комбинированной магнетронной распылительной системы с ионным ассистированием для нанесения тонких пленок .....	207
<i>Матанин А.Р., Храмова А.А. Васильев Д.Д., Моисеев К.М.</i> Моделирование магнитных систем магнетронов с использованием САПР COMSOL .....	209
<i>Пронин М.А., Сидорова С.В., Панфилов Ю.В.</i> Получение тонких пленок AlN различной структуры методами вакуумного осаждения .....	213
<i>Сачкова Н.А., Хриченко В.В.</i> Перспективы механической и лазерной обработки в технологии изготовления оптоэлектронных модулей .....	217
<i>Смирнова О.Н., Боброва Ю.С.</i> Медь с полимерным покрытием для плат с высокой плотностью межсоединений .....	220
<i>Тюлькова А.А., Боброва Ю.С.</i> Методы изготовления печатных плат с теплоотводящими основаниями .....	223
<b>A12. Лазерные технологии в машиностроении .....</b>	<b>227</b>
<i>Валиев А.Р., Зарипова Р.С.</i> Система измерения расстояний для средних дистанций .....	227
<i>Шмелев С.А., Богданов А.В., Татаркин Д.Ю., Хриптович Е.В.</i> Разработка оптимальных режимов упрочнения контактных поверхностей колесных пар вагонов и локомотивов с использованием волоконных лазеров .....	230
<b>A13. Реновационные технологии в машиностроении .....</b>	<b>237</b>
<i>Баринов А.С., Смолкина Т.В., Кострюков А.А., Чихачева Н.Ю., Щедрин А.В.</i> Инновационные методы охватывающей обработки .....	237
<i>Власов М.В., Федоров С.К.</i> Обоснование выбора технологии закалки зубчатых колес .....	240
<i>Горковцов А.А., Ломпас А.М., Федорова Л.В.</i> Результаты износных испытаний на износ чугуновых образцов .....	243
<i>Зинин М.А., Косарев И.В., Сергеев Е.С., Поляков А.О., Щедрин А.В.</i> Теоретическое и экспериментальное исследование метода комбинированного дорнования отверстий инструментом с регулярной микрогеометрией в условиях применения металлоплакирующих смазок .....	246
<i>Козлов А.Ю., Щедрин А.В.</i> Совершенствование алгоритмов системно-параметрического синтеза методов охватывающей обработки .....	252
<i>Кострюков А.А., Щедрин А.В.</i> Уточнение формулы для прогнозирования силы волочения сплошных цилиндрических заготовок инструментом с регулярным микрорельефом .....	256
<i>Соловьева А.А., Кононенко А.С.</i> Применение полимерных материалов для повышения долговечности неподвижного соединения вал — подшипник качения .....	259

**Б Энергомашиностроение**

**Б1. Теплофизика энергоустановок двигателей ..... 263**

- Егоров К.С., Степанова Л.В.* Теплообмен и сопротивление высококомпактных пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена ..... 263
- Судомоин П.Д., Шабанов В.А., Каськов С.И.* Моделирование тепловых потоков от группы инфракрасных нагревателей при тепловвакуумных испытаниях космического аппарата ..... 266

**Б2. Энергетические и транспортные установки и двигатели ..... 270**

- Борисов Ю.А., Вендланд Л.Е., Косой А.А., Прибылов В.Г., Синкевич М.В.* Математическое моделирование термодинамических процессов газовой турбины малой мощности ..... 270
- Виноградов Ю.А., Попович С.С., Леонтьев А.И., Стронгин М.М.* Влияние локального отрывного течения за преградой в сверхзвуковом потоке на эффективность устройства безмашинного энергоразделения ..... 274
- Косой А.А., Прибылов В.Г., Пугачук А.С., Вендланд Л.Е., Синкевич М.В.* Нейросетевая модель статических характеристик микрогазотурбинной энергетической установки ..... 277
- Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Родионов А.В., Уютов С.Ю., Савельев Г.С.* Экономическая эффективность использования сжиженного углеводородного газа в качестве топлива в сельскохозяйственной автотракторной технике ..... 281
- Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Родионов А.В., Уютов С.Ю., Савельев Г.С.* Способы устранения детонации при работе дизеля на сжиженном углеводородном газе по газодизельному процессу ..... 283
- Маруценко А.А., Маруценко О.В., Козич А.И., Сундеткалиев И.Х.* Проектирование опытно-промышленной волновой электростанции мощностью 30 кВт ..... 286
- Филинов Е.П., Остапюк Я.А., Кузьмичев В.С.* Сравнительный анализ математических моделей массы авиационных газотурбинных двигателей ..... 289

**Б3. Холодильная техника, компрессорные, вакуумные и гидравлические машины ..... 292**

- Чугаев С.С., Стриженов Е.М., Жердев А.А.* Эмпирический метод исследования низкотемпературной заправки адсорбционной системы аккумуляции природного газа ..... 292

**Б4. Промышленная экология и безопасность ..... 296**

- Антипова Э.Е., Китаев С.В., Шакиров А.Р., Тунцев Д.В.* Установка термической переработки органосодержащего сырья ..... 296
- Асманкин Е.Г., Попов В.Г.* Социально-экологические аспекты управления экологической безопасностью ..... 299
- Богомолова А.Д., Копытов Д.О.* Оценка степени защищенности населения от несчастных случаев на примере г. Севастополя ..... 301
- Боландова Ю.К., Сухов Ф.И., Попов В.Г.* К оценке аварийного риска при движении поездов в результате воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера ..... 304
- Бурдюков Д.А., Королёв И.В., Локтионов О.А., Кондратьева О.Е.* Выбор адаптационных мероприятий для решения проблемы климатических изменений в городе Москве ..... 308
- Бурков А.В., Виноградов М.С., Еришов А.Л., Ксенофонтов Б.С.* Изучение кинетики кондиционирования сточных вод на лабораторной установке ..... 310
- Бушуев Н.Н.* Некоторые тенденции загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами в Москве ..... 314

<i>Быковская Е.А., Кустикова М.А., Саусьярис Э.С.</i> Оценка экологических рисков при добыче углеводородов в Арктической зоне РФ .....	316
<i>Варнавский А.Н.</i> Исследование эффективности восприятия и запоминания информации о работе химического реактора в различных информационных средах .....	319
<i>Волков С.С., Николайкин Н.И.</i> Особенности детоксикации комплексно-загрязненных грунтов после авиационного происшествия .....	322
<i>Галимова А.Ильнуровна, Муравьева Е.В.</i> Риски возникновения чрезвычайных ситуаций на прудах-миллионниках .....	325
<i>Галимова А.И., Шакуров Р.Ф.</i> Обеспечение безопасности топливно-энергетического комплекса .....	328
<i>Долгополова А.Г., Плуготаренко Н.К.</i> Комплексная оценка уровня экологической опасности промышленных городов .....	333
<i>Зайцева А.Ю., Волков Ю.А.</i> Продовольственное обеспечение ликвидации чрезвычайных ситуаций .....	335
<i>Иванов А.Д., Самойленко А.А., Миньков К.Н., Ружицкая Д.Д.</i> Высококчувствительный сенсор на основе оптических микрорезонаторов для детектирования наночастиц .....	338
<i>Киричек А.С., Медведев В.Т.</i> Создание комфортных акустических условий сборщика электрических машин .....	340
<i>Киселева Д.А., Шарай Е.Ю.</i> Визуализация вихревых структур как метод экспериментального исследования течения в гидродинамическом фильтре .....	343
<i>Климов Е.И., Кустикова М.А.</i> Культивирование водорослей с целью получения сырья для производства биотоплива .....	345
<i>Кожевников А.Д., Паткин И.Р.</i> Производственный и дорожно-транспортный травматизм промышленного центра .....	349
<i>Кожин Д.Г., Новиков В.К.</i> Математическая модель распространения разлившейся нефти на водной поверхности .....	353
<i>Койда А.Г., Акатьев В.А.</i> Необходимость средств снижения риска при эксплуатации магистрального нефтепровода в сложных климатических условиях .....	357
<i>Коннов Г.В., Новиков В.К.</i> Методика расчета выбросов угольной пыли при перевалке угля в порту .....	358
<i>Краева Е.М., Крохина А.В.</i> Разработка блока классификации суспензий для очистки загрязненных почв и донных отложений .....	362
<i>Краснова Н.А., Гречушкин А.Н.</i> Проектирование обратноосмотической установки модульного типа .....	365
<i>Кузнецова П.В., Акатьев В.А.</i> Обзор технических решений по обеспечению пожарной безопасности высотных сооружений .....	368
<i>Куран А.М., Макальский Л.М.</i> Система очистки артезианской воды с обеспечением питьевого качества .....	372
<i>Лебская Т.А., Таранов Р.А.</i> Анализ риска эксплуатации объектов транспортировки сжиженного природного газа .....	373
<i>Лисанов А.М., Лисанов М.В.</i> Показатели аварийности на Российских и Европейских нефтегазопроводах .....	378
<i>Локтионов О.А., Чувириова С.А., Щербачева О.С., Кондратьева О.Е.</i> Влияние климатических изменений на состояние здоровья населения города Москвы .....	381
<i>Мартынова Е.В., Калайдов А.Н.</i> Анализ опасностей на предприятиях по производству авиационных двигателей .....	383
<i>Маюрова А.С., Кустикова М.А.</i> Оценка жизненного цикла диклофенака в акватории озера Кадагно .....	385
<i>Загребина Е.И., Миназетдинов Т.Ф.</i> Вопросы оптимизации укрытия населения в условиях современного города .....	389

<i>Мусина С.А., Нафикова Э.В., Красногорская Н.Н.</i> Разработка технологии очистки ивневого стока с площадки промышленного предприятия машиностроительного профиля .....	392
<i>Мухамеджанова Е.Р., Акатьев В.А.</i> Генерирующие мощности и безопасность АЭС .....	396
<i>Николаева В.А., Комкин А.И.</i> Акустические характеристики резонатора Хершеля — Квинке .....	398
<i>Пожелуева З.В., Николайкин Н.И.</i> Исследование геофизического и гелиофизического воздействия на деятельность человека .....	403
<i>Рахметова Э.Р., Ткаченко Ю.Л.</i> Применение программного обеспечения для анализа опасности системы подготовки ультрачистой воды для производства микроэлектроники на этапе проектирования .....	405
<i>Романова М.В., Новиков В.К.</i> Физико-химические основы отмытки загрязненных нефтепродуктами поверхностей с применением композиций экологически безопасных поверхностно-активных веществ .....	408
<i>Савельева Я.Э., Калайдов А.Н.</i> Основные причины возникновения аварий на тепловых электростанциях .....	412
<i>Скворцов Е.Е., Новиков В.К.</i> Концептуальные основы обеспечения экологической безопасности комплексного обслуживания судов в порту .....	414
<i>Ступников А.В., Кустикова М.А.</i> Разработка системы для контроля температурно-влажностного режима чердачных, подвальных и архивных помещений города Санкт-Петербурга .....	417
<i>Трубникова А.Э., Татаринов В.В.</i> Применение фильтров Петрянова с конфигурированием волокнистого слоя в противорадиационных убежищах .....	420
<i>Шайдуллина А.Ф., Калайдов А.Н.</i> Ретроспективный анализ пожарной опасности и средства дистанционного обнаружения лесных пожаров .....	423
<i>Шакурова А.Р.</i> Анализ риска аварии на магистральном газопроводе в зоне Чульмаканского разлома .....	426
<i>Яшина Д.И., Татаринов В.В.</i> Задача о рассеивании легких газов в атмосфере с учетом рельефа местности и атмосферной устойчивости .....	428

## **В Специальное машиностроение**

<b>V1. Ракетно-космическая техника .....</b>	<b>432</b>
<i>Дергачев С.А., Щеглов Г.А.</i> Вычисление нестационарных гидродинамических нагрузок методом вихревых петель .....	432
<i>Жирихин К.В., Левицкий А.В., Усов А.В., Вермель В.Д.</i> Особенности проектирования и изготовления весовых и свободношторящих аэродинамических моделей для экспериментальных исследований в аэродинамических трубах .....	437
<b>V2. Вооружение и военная техника .....</b>	<b>440</b>
<i>Былдин А.Ю., Хорошенин А.Д., Жураковский В.Н.</i> Объединение информации в РЛС наведения и целеуказания .....	440
<i>Иванникова Л.О., Жураковский В.Н.</i> Адаптивный обнаружитель в неконтактном датчике цели .....	443
<i>Лалин Д.В., Власова Н.С., Товарнов М.С., Быков Н.В.</i> Формирование проблем интеграции инновационной малогабаритной мобильной роботизированной платформы и средств дистанционного кинетического воздействия .....	446
<i>Попов Ю.В., Пусев В.И.</i> О методике предварительного расчета ударно-проникающего действия самолетов и авиабомб по корабельным конструкциям .....	449

<i>Утенков М.Д., Агаев Р.Н.</i> Проектирование беспилотного ударного экраноплана .....	452
<i>Шапш Небрас, Зузов В.Н.</i> Анализ сопротивления проникновению пули «АРМ2» в броневые стали .....	455
<b>V3. Робототехнические системы .....</b>	<b>462</b>
<i>Бажинова К.В., Селиверстова Е.В., Лесков А.Г.</i> Модернизация аппаратно-программного комплекса для решения задачи автоматического захвата и перемещения объекта .....	462
<i>Воронин А.В., Рубцов В.И.</i> Алгоритм технического зрения для беспилотного летательного аппарата, входящего в группу роботов сельскохозяйственного назначения .....	465
<i>Коновалов К.В., Рубцов В.И.</i> Разработка компьютерной модели четырехногого шагающего робота .....	467
<i>Овсянкин Г.И., Бошляков А.А.</i> Обзор высокоточных систем стабилизации оптических приборов .....	470
<b>V4. Транспортные системы .....</b>	<b>475</b>
<i>Алендеев Е.М., Крючков В.А.</i> К вопросу управления двухпарными переключениями передач на тракторах .....	475
<i>Альсаламех Бальсам, Рязанцев В.И.</i> Эффективность применения системы управления вертикальными реакциями колес автомобиля при движении по периодическому профилю дороги .....	479
<i>Арутюнян Г.А., Карташов А.Б.</i> Моделирование композитной энергопоглощающей зоны несущей системы легкового автомобиля при кософронтальном ударе .....	483
<i>Богданов К.А., Крючков В.А., Федоткин Р.С.</i> Проектирование профиля зубьев ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин .....	487
<i>Бородин Н.С., Михайлова Л.Н.</i> Учебная установка коробки переключения передач автомобиля .....	490
<i>Валиев М.Ш.</i> Оценка технического состояния цилиндров дизеля с использованием датчика содержания кислорода в отработавших газах .....	493
<i>Голубева Т.А., Балакина Е.В.</i> Влияние учета смещений реакций опорной поверхности на расчетные параметры траектории движения колесной машины при математическом моделировании равномерного движения в повороте .....	496
<i>Дубин Д.А., Наказной О.А.</i> Методика оценки живучести торсионных валов быстроходных гусеничных машин на этапе проектирования .....	499
<i>Евсеев К.Б., Карташов А.Б.</i> Метод оценки реологических свойств пружин, выполненных с применением полимерных композиционных материалов в системах подрессоривания колесных машин .....	503
<i>Зацепин В.А., Лебедева Е.Г.</i> Раздельная жидкостная система охлаждения .....	507
<i>Косицын Б.Б., Котиев Г.О.</i> Разработка энергоэффективного закона управления движением электробуса с использованием метода динамического программирования .....	510
<i>Крючков В.А., Федоткин Р.С.</i> Создание универсального гусеничного трактора класса 0,6-2,0: силовая передача и гидropневмопривод .....	513
<i>Кузьмин В.А., Федоткин Р.С.</i> Расчетный метод оценки вибронагруженности кабины трактора с помощью имитационной модели .....	516
<i>Кузьмин В.А., Овчаренко А.С., Федоткин Р.С.</i> Экспериментальное исследование упругодемпфирующих характеристик виброизоляторов различных типов системы подрессоривания кабины колесного трактора .....	520
<i>Лядов А.А., Плеханов П.Г.</i> Двухмассовый маховик коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания .....	523

<i>Овчинников Е.В., Савельев Г.С., Кочетков М.Н.</i> Создание универсального гусеничного трактора класса 0,6-2,0: система адаптации дизельного двигателя для работы на альтернативных видах топлива .....	526
---	-----

**В5. Технологии специального машиностроения ..... 529**

<i>Башмур К.А., Нашиванов И.С., Гусев В.Ю., Петровский Э.А.</i> Анализ характеристик ударного виброгасителя .....	529
<i>Михнев М.М., Кадочникова Н.С., Кудрявцев И.В., Сильченко П.Н.</i> Индукционная пайка волноводов из алюминиевых сплавов для космических аппаратов связи .....	532

**В6. Композиционные материалы ..... 535**

<i>Агеева Т.Г., Ашихмина Е.Р., Резник С.В., Просунцов П.В.</i> Разработка тепловой защиты композитного крыла многоразового космического аппарата туристического класса .....	535
<i>Ажевский Я.А., Новиков А.Д.</i> Болтовое соединение тонкостенных композитных конструкций .....	538
<i>Барановски С.В., Михайловский К.В.</i> Влияние основных элементов авиалайнера на точность определения аэродинамических нагрузок на крыло из полимерных композиционных материалов .....	542
<i>Тун Лин Хтет, Городецкии М.А., Малышева Г.В.</i> Технология формования и свойства гибридных композитов на основе органического нетканого материала .....	545
<i>Тараскин Н.Ю., Просунцов П.В., Баринов Д.Я.</i> Расчетно-теоретическое определение теплопроводности иглопробивного каркаса для углерод-керамических материалов .....	547

**Г Робототехника и комплексная автоматизация**

**Г1. Системы 3D-моделирования, прототипирования, графический дизайн .... 551**

<i>Дятлев А.В., Дзюнин Г.Р.</i> Размерный контроль строительства кораблей с использованием технологий 3D-моделирования и лазерного сканирования .....	551
<i>Дятлев А.В., Дзюнин Г.Р.</i> Реверсное проектирование на примере разработки 3D-модели стенда испытаний виброшумовых характеристик .....	556

**Г2. Конструкторско-технологические решения в современной технике ..... 561**

<i>Добрынина А.О., Шумаев В.В.</i> Приближенный расчет термонапряжений в элементе конструкции высокоскоростного летательного аппарата .....	561
<i>Казаков В.В., Зинченко Л.А., Цивинская Т.А.</i> Методы визуализации многомерных данных при анализе однослойных углеродных нанотрубок .....	564
<i>Косоруков С.А.</i> Исследование вибропрочности и виброустойчивости системы позиционирования .....	567
<i>Стариков А.И., Лукьянов А.С.</i> Моделирование клиноременного вариатора с помощью программного обеспечения САПР .....	569

**Г3. Системы автоматизированного проектирования и поддержка жизненного цикла продукции ..... 573**

<i>Варнаровский А.Н.</i> Регрессионные модели для выбора оптимального средства воспроизведения информации в интерактивных электронных технических руководствах .....	573
<i>Журбенко П.А., Гузненков В.Н.</i> Геометрическое моделирование интегрирующий фактор подготовки машиностроителя .....	576
<i>Комкова О.Е., Быков А.Ю.</i> Идентификация и аутентификация при запуске приложений .....	579

**Г4. Робототехнические и интеллектуальные системы в современном производстве и технике ..... 583**

<i>Каишан М.А., Морозова М.П., Стаблевский В.А., Гринюк Д.А.</i> Экспериментальное исследование динамики температуры металлического стержня .....	583
<i>Козловский В.Ю., Литвиненко Д.С., Карпович М.А.</i> Исследование динамики теплообмена дисковой пилы .....	586
<i>Колесников М.А., Юдин А.В.</i> Аппаратно-программный комплекс по определению местоположения объекта на плоскости методом ультразвуковой триангуляции .....	591
<i>Кочешков М.А.</i> Алгоритмический способ коррекции навигационной системы космического летательного аппарата .....	595
<i>Пью Си Тху, Цибизова Т.Ю.</i> Использование алгоритмов идентификации для полунатурного моделирования .....	597
<i>Сулим П.Е., Юденков В.С.</i> Программное обеспечение интеллектуального модуля для перспективных моделей ризографов .....	600
<i>Чжо Зин Хтут, Неусытин К.А.</i> Система контроля прицельно-навигационного комплекса летательных аппаратов .....	602

**Д Развитие инженерного образования**

<i>Арсенькина Л.С., Буренина В.И.</i> Применение технических средств обучения в современном образовательном процессе .....	607
<i>Глушко А.А., Зинченко Л.А., Резчикова Е.В., Шахнов В.А.</i> Компьютерно-ориентированная методика преподавания технологического курса с элементами интерактивности .....	610
<i>Гришин Д.В., Тихонов А.И.</i> Необходимость создания отраслевой рамки квалификации в машиностроении .....	613
<i>Заринова Р.С.</i> Место SCADA-пакетов как составной части информационных технологий в учебной подготовке инженеров .....	616
<i>Комкова Т.Ю., Цибизова Т.Ю.</i> Профессионально-ориентированный подход при подготовке высококвалифицированных кадров .....	618
<i>Косовская В.В., Цибизова Т.Ю.</i> Процесс отбора студентов для военного обучения по программам подготовки солдат и сержантов запаса в организациях высшего образования .....	622
<i>Куцый О.Я., Куцяя А.Ю.</i> Проблемы использования студентами технических средств в качестве электронных шпаргалок .....	625
<i>Хомутова Е.К., Татаринцев В.В.</i> Математические методы моделирования техногенных чрезвычайных ситуаций применительно к учебному процессу в МГТУ им. Н.Э. Баумана .....	628
<i>Шершнева Т.В., Юневич Н.Г.</i> Трансформация нравственности личности при развитии у студентов интернет-зависимости .....	631

**Е Экономика и управление в сфере высоких технологий**

<i>Артющик В.Д., Гусаков А.Г., Тихонов А.И.</i> Возможность замены американского двигателя PW1400 на отечественный ПД-14 .....	635
<i>Артющик В.Д., Гусаков А.Г., Тихонов А.И.</i> МС-21 как продукт отечественного авиационного производства .....	637
<i>Блинов А.А., Отставнов С.С., Ипполитова Е.В., Отставнов Н.С., Соболева В.Ю., Бреусов А.В.</i> Аспекты применения системы менеджмента качества и «бережливого производства» для построения систем управления на ранних стадиях развития высокотехнологичных предприятий .....	640

<i>Глебова Д.И., Ковнир В.Н.</i> Оценка эффекта от присоединения России к Соглашению ВТО по торговле гражданской авиационной техникой .....	643
<i>Жуков М.С., Орлов А.И.</i> Использование экспертных ранжировок при расчетах кредитного риска в банке .....	646
<i>Лифарь А.С., Бром А.Е.</i> Реестр внутренних рисков логистической стратегии в гидроэнергетике .....	649
<i>Просвирина Н.В., Тихонов А.И.</i> Перспективы развития аддитивных технологий в российском авиационном двигателестроении .....	651
<i>Середина Д.О., Масленникова И.Л., Бром А.Е.</i> Оценка стоимости жизненного цикла — задачи, этапы, решения .....	653
<i>Сидельников И.Д., Бром А.Е.</i> Проблема обеспечения эффективного материально-технического снабжения для сложной техники .....	655
<i>Стоянова М.В., Бром А.Е.</i> К вопросу оценки целесообразности привлечения инжиниринговой компании к проекту в контексте заказчика и инжиниринговой компании .....	658
<i>Терентьева З.С.</i> Моделирование жизненного цикла продукции на этапе маркетингового исследования .....	660



*Научное издание*

**Десятая Всероссийская конференция  
молодых ученых и специалистов  
(с международным участием)**

**«Будущее  
машиностроения России»**

Сборник докладов

Редакторы *В.Г. Чуреева, Л.В. Сивай*  
Художники *А.С. Ключева, Я.М. Асинкритова*  
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева.

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Подписано в печать 12.09.2017. Формат 70×100/16.  
Усл. печ. л. 54,84. Тираж 500 экз. Заказ .

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
[www.baumanpress.ru](http://www.baumanpress.ru)

Отпечатано: ПАО «Т 8 Издательские Технологии»  
109316, Москва, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 5.

**В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышел в свет учебник  
под редакцией О.А. Ряховского  
«Детали машин» (4-е издание)**



Изложены основы теории, расчета и принципы конструирования деталей и узлов машин общего назначения: разъемных и неразъемных соединений, передач зацеплением и трением, подшипников скольжения и качения, валов и муфт приводов. В четвертое издание (3-е — в 2007 г.) внесены исправления и дополнения.

Содержание учебника соответствует программе и курсу лекций, который авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов технических университетов, обучающихся по программам специалиста, магистра, бакалавра. В зависимости от программы обучения и направления подготовки студенты могут использовать необходимые разделы учебника. Может быть полезен аспирантам и преподавателям, а также специалистам в области машиностроения.

**Год издания:** 2014

**Тип издания:** Учебник

**Объем:** 472 стр. / 29 п. л.

**Формат:** 60×90/16

**ISBN:** 978-5-7038-3939-3

---

Информацию о других новых книгах можно получить на сайте Издательства МГТУ им. Н.Э. Баумана  
<http://baumanpress.ru>

По вопросам приобретения обращаться в отдел реализации Издательства:

телефон: 8 499 263-60-45;

факс: 8 499 261-45-97

e-mail: [press@baumanpress.ru](mailto:press@baumanpress.ru)