

# Материалы

X Международной научно-технической конференции  
«Инновационные машиностроительные технологии,  
оборудование и материалы – 2019»  
(МНТК-ИМТОМ – 2019»)

Часть 2



5-6 декабря 2019 года

г. Казань

Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан  
Акционерное общество «Казанский научно-исследовательский институт  
авиационных технологий»  
Казанский (Приволжский) Федеральный университет  
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.  
Туполева - КАИ (КНИТУ - КАИ)  
Казанский национальный исследовательский технологический университет  
ООО «ЦПР «Техносвар»  
ИЦ «Энергопрогресс»



*Конференция посвящается:*

*60-летию АО «Казанского научно-исследовательского института  
авиационных технологий»,  
215-летию Казанского (Приволжского) Федерального университета,  
30-летию ИЦ «Энергопрогресс»*

## **Материалы**

**X Международной научно-технической конференции  
«ИННОВАЦИОННЫЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ  
И МАТЕРИАЛЫ – 2019»  
(МНТК «ИМТОМ – 2019»)**

Часть 2

5-6 декабря 2019 года

Казань  
2019

**УДК 67**  
**ББК К34**  
**М34**

*Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.*

**М34** Материалы X Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2019» (МНТК «ИМТОМ–2019»). Ч. 2. – Казань, 2019. – с., ил.

Материалы состоят из 6 разделов в соответствии с секциями Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы–2019» (МНТК «ИМТОМ-2019»): «Высокоэффективные материалы, технологии и оборудование в машиностроении», «Цифровизация, инновационные разработки и экономика в машиностроении», «Химическое машиностроение», «Математическое и физическое моделирование информационных, технических, технологических и управленческих систем и процессов», «Инновационные сварочные технологии в промышленности», «Надежность, эффективность и безопасность объектов топливно-энергетического комплекса»

Будет полезно научным работникам, технологам и инженерам соответствующих специальностей.

**ISBN 978-5-6043506-8-3 (m. 2)**  
**ISBN 978-5-6043506-9-0**

© АО «КНИАТ», 2019

© ООО «Фолиант», оформление, 2019

Все права защищены. Материалы Сборника трудов не могут быть воспроизведены в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, магнитную запись или иные средства копирования или сохранения информации без письменного разрешения АО «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий».

## *СЕКЦИЯ № 4*

### **«Математическое и физическое моделирование информационных, технических, технологических и управленческих систем и процессов»**

#### **Модераторы:**

**Просвиряков Евгений Юрьевич** – директор ООО «Теплообмен: адвекция и конвекция», Институт машиноведения УрО РАН, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, д.ф.-м.н., профессор

**Хантимеров Сергей Мансурович** – старший научный сотрудник КФТИ КазНЦ РАН и АО «КНИАТ», к.ф. - м.н.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СОСТАВНОГО КРОНШТЕЙНА

Ахмадуллина Гузель Ринатовна, студент-магистрант

[guzelka\\_nv@bk.ru](mailto:guzelka_nv@bk.ru)

Шмелёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКиИС

[gn.shmelev@mail.ru](mailto:gn.shmelev@mail.ru)

Антонов Анатолий Сергеевич, аспирант, инженер кафедры МКиИС

Гимазетдинов Айваз Расимович, студент-магистрант

ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки и исследования нового конструктивного решения составного кронштейна. Описана принципиальная схема изобретения и область ее применения. Представлены результаты численного моделирования и оптимизации геометрических и физико-механических характеристик разработанных составных элементов кронштейна в программном комплексе.

**Abstract.** The article presents the results of the development and research of a new design solution of the composite bracket. The fundamental schematic diagram of the invention and its application are described. The results of numerical modeling and optimization of geometric and physical-mechanical characteristics of the developed components of the bracket in the software package are presented.

**Ключевые слова.** Составной кронштейн, численное моделирование, входные параметры, критерий минимума массы, оптимизация.

**Введение.** Цель работы – разработка и исследование нового конструктивного решения составного кронштейна с наиболее рациональным использованием материала по площади и возможностью крепления на две взаимно перпендикулярные поверхности основания.

### **Объект исследования.**

Основной особенностью разработанного нового конструктивного решения является изготовление профилей различного очертания по площади из алюминиевых сплавов.

Разработанный кронштейн состоит из двух основных частей:

- П-образного профиля с изменяемой по длине толщиной стенок, четырех отверстий на концах обеих стенок для крепления навешиваемых элементов с возможностью их регулировки по двум направлениям, двух отверстий в опорной стенке профиля с возможностью регулировки в горизонтальном положении относительно анкерного крепления или иного крепления к вертикальной поверхности основания;

- Г-образного неравнополочного профиля, короткий конец которого примыкает к внутренней поверхности опорной стенки П-образного профиля и имеет одно отверстие под совместное с П-образным профилем анкерное крепление или иное крепление к вертикальной поверхности основания, длинный конец профиля опирается на горизонтальную поверхность основания

и закрепляется к нему анкерным или иным креплением через одно регулируемое отверстие, расположенное на достаточном от вертикальной поверхности основания расстоянии, чтобы не пересечь оси перпендикулярно расположенных креплений П-образного профиля.

Разработанная конструкция кронштейна также может использоваться в области строительства, а именно для крепления ограждающих конструкций зданий и сооружений в виде навесных фасадных систем, включая системы со светопрозрачными модулями.

### Численные моделирование и оптимизация.

С целью определения напряженно-деформированного состояния и наиболее рациональных геометрических параметров в ПК «ANSYS» была создана параметрическая конечно-элементная модель разработанного несущего составного кронштейна. В блоке «Response Surface Optimization» был произведен дополнительный расчет модели с параметрами основных геометрических размеров кронштейна, физико-механических характеристик его материала, а также максимальных значений прогибов и напряжений, с условием не превышения ими предельно допустимых значений. Основной критерий оптимизации – минимум массы.

По результатам расчета модели в ПК «ANSYS» установлены значения прогибов и напряжений от расчетной нагрузки, равные 92.65 МПа и 0,2 мм для П-образного профиля, и 65.565 МПа и 0,05 мм для Г-образного неравнополочного профиля, что не превышает предельно допустимых значений расчетного сопротивления стали  $[R]=135$  МПа и прогиба  $[f]=3.33$  мм. Получены оптимальные геометрические размеры кронштейна и его физико-механические характеристики для заданных условий. Результаты численного исследования приведены на рис.1-4.

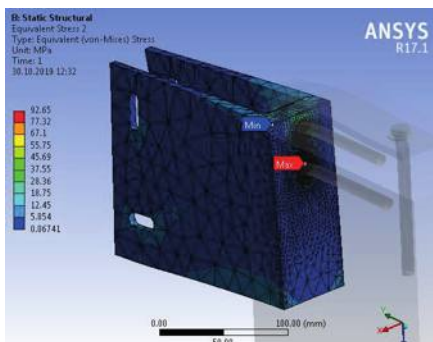


Рис.1. Эквивалентные напряжения, возникающие в П-образном профиле.

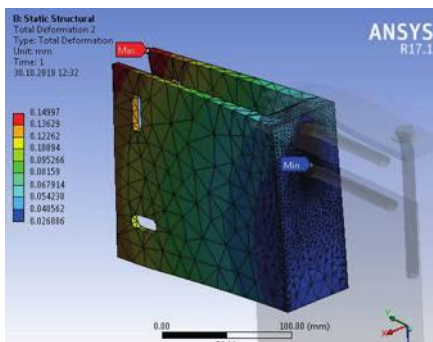


Рис.2. Полный прогиб П-образного профиля.

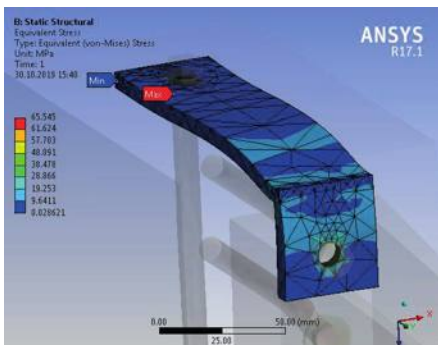


Рис.3. Эквивалентные напряжения, возникающие в Г-образном неравнополочном профиле

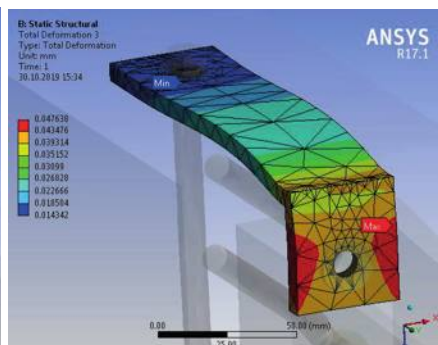


Рис.4. Полный прогиб Г-образного неравнополочного профиля

Результаты решения задачи оптимизации приведены на рис.5 и рис.6.

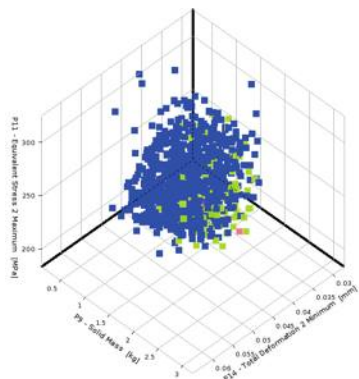


Рис.5. Область компромиссов между эквивалентными напряжениями, прогибами и массой П-образного профиля.

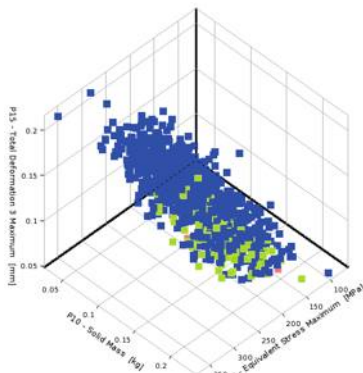


Рис.6. Область компромиссов между эквивалентными напряжениями, прогибами и массой Г-образного неравнополочного профиля

Оба профиля кронштейна изготавливаются из алюминиевых сплавов методом экструзии, позволяющим выполнять изменяемую по вылету толщину стенок П-образного кронштейна и нестандартную форму Г-образного профиля с дальнейшим образованием отверстий, включая регулировочные, любым из имеющихся способов.

**Выводы.** Таким образом, разработан новый тип составного кронштейна. Выполнены численные исследования данного кронштейна, по результатам которых определены оптимальные геометрические размеры кронштейна и физико-механические характеристики его материала для заданных условий.

Получена картина напряженно-деформированного состояния с оптимальными геометрическими и физико-механическими параметрами расчетной модели составного кронштейна.

#### Список литературы

1. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие / В.А. Бруяка [и др]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
2. Николаева Е.А. Основы механики разрушения: учеб. пособие / Е.А. Николаева ; ПГТУ. – Пермь. : Изд-во ПГТУ, 2010. – 103 с.
3. Хайдаров Л.И., Шмелев Г.Н., Зияйтинов Э.К. Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу // Известия КГАСУ № 2 (40). –2017 – с. 139-145

### РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ НАРУЖНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 20CrMnTi

Балабанов Игорь Петрович<sup>1,2</sup>, Балабанова Ольга Николаевна<sup>1</sup>,  
Гильман Виталий Николаевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008,  
Российская Федерация

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им.  
А.Н. Туполева - КАИ, ул. К. Маркса 10, Казань, 420111, Российская  
Федерация  
balabanovip@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлена математическая модель расчета силы резания при обработке стали 20CrMnTi инструментом Sandvik CNMG 120408 16P25T. Представлен стенд, построенный на основе станка 16Д25 позволяющий измерять реальные значения оборотов шпинделя, продольной подачи, глубины резания, а также силы резания. Результаты передаются компьютеру через рабочую станцию LTR-EU-8 с гальванически изолированными LTR модулями и интерфейсом синхронизации. По результатам испытания полученная теоретическая модель имеет отклонение от реальных измерений не более 0.12%. Показано что результаты расчетов, представляемые ведущими производителями инструментов, ожидаемо завышены. Разница в силах резания может составлять более чем в 1.5 раза.

**Abstract.** The paper presents a mathematical model for calculating the cutting force when machining 20CrMnTi steel with Sandvik CNMG P25T. A bench built on the basis of the machine 16D25 measures the values of the spindle speed, longitudinal feed, cutting depth, as well as cutting force. The results are transmitted to the computer through the LTR-EU-8 workstation. According to the test results, the resulting theoretical model has a deviation from actual measurements of not more than 0.12%. It is shown that the calculation results presented by leading



manufacturers of instruments are expectedly overstated. The difference in cutting forces can be more than 1.5 times.

**Ключевые слова.** Моделирование, сила резания, скорость резания, модель силы резания.

**Введение.** Сила резания является ключевым параметром необходимым для прогнозирования необходимой мощности резания, температуры в зоне резания и режущего инструмента, качества формируемой поверхности [1]. При этом сами модели прогнозирования сил резания в последнее время значительно упрощаются [2] или производители инструмента старательно обходят это понятие заменяя их на их производные, например, потребляемая мощность или стойкость инструмента [3]. Так, например, известный производитель инструментов Walter ([https:// www.walter-tools.com](https://www.walter-tools.com)) рекомендует рассчитывать силы резания согласно формуле (1) [4]

$$F_c = A \times k_c \times h^{-mc} (N) \quad (1)$$

где  $A$  – поперечное сечение стружки ( $\text{мм}^2$ );  $h$  – толщина стружки ( $\text{мм}$ );  $k_c$  – удельная сила резания ( $\text{Н/мм}^2$ );  $mc$  – поправочный коэффициент.

Но сила резания зависит от множества дополнительных параметров, например, от твердости материала или наличия корки на поверхности заготовки. Сами коэффициенты  $k_c$  и  $mc$ , являются приблизительными, полученными на некотором “аналогичном” материале и инструменте. Можно сделать вывод что представленная модель скорее всего неточна и может служить только для поверхностных оценок вероятностного значения параметра.

В последнее время все более и более значимости приобретаем моделирование [5]. Моделирование позволяет производить анализ существующих решений без значительных затрат. Но приближенные модели дают весьма условный результат, что неприемлемо в рамках современного развития систем автоматизированного проектирования. Поэтому возникает острая необходимость в адекватных моделях, позволяющих прогнозировать силы резания.

Наиболее полной, и достаточно простой для реализации моделью, позволяющей рассчитать силу резания считается эмпирические уравнения Тейлора (2) [1], [2] позволяющие учитывать любые условия обработки. При этом в коэффициенты  $K$  можно закладывать любые особые условия обработки.

$$P = 10 \times C_p \times t^x \times s^y \times V^n \times K \quad (2)$$

где  $t$ ,  $S$ ,  $V$  – параметры режимов резания;  $K$  – поправочный коэффициент, позволяющий учитывать условия резания;  $C_p$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $n$  – эмпирические коэффициенты и показатели степени.

Исходя из выше сказанного цель работы ставиться разработка эмпирической модели резания на основе уравнения Тейлора для обработки стали 20CrMnTi конкретным режущим инструментом. Конечную цель работы можно заявить, как разработка методики быстрого получения модели определения силы резания для конкретного материала и режущего инструмента. В дальнейшем эти модели можно применять для точного моделирования обработки средствами ЭВМ.

*Методы.* В качестве станда для проведения экспериментов использовался стандартный токарный универсальный станок 16Д20. Для фиксации действительной скорости резания был установлен измеритель оборотов бесконтактного индукционного типа непосредственно на шпиндель. Для учета реальных перемещений были установлены измерители перемещений с кронштейнами до 1000 мм на продольное перемещение, и до 100 мм на поперечное перемещение относительно оси вращения шпинделя. Использовался измеритель силы по трем координатам с державкой DCLNR 2525 M12. Измеритель силы был откалиброван. Режущая пластина Sandvik CNMG 120408 16P25T, новая. Устройства и датчик подключаются к рабочей станции LTR-EU-8 гальванически изолированными LTR модулями и интерфейсом синхронизации. Измеритель силы подключается к TR212M с АЦП 24 бит/ 7,6 кГц предназначенный для подключения до восьми тензодатчиков сопротивлением от 100 Ом до 1 кОм. Остальные датчики подключались к LTR24 (4 строго параллельных канала АЦП 24 бит/ 117 кГц) и LTR11 поддерживающий многоканальный режим сбора данных: до 32 каналов сбора однофазных сигналов (АЦП 14 бит/ 400 кГц).

Для получения коэффициентов эмпирической модели резания предлагается использовать поиск оптимального решения методом перебора с учетом ограничений. Этот способ достаточно точен [5] и решается быстро специализированным программным обеспечением. В нашем случае воспользуемся функцией “поиск решения” приложения MS EXCEL.

Для расчётов коэффициентов эмпирической модели резания были замерены силы резания при различных вариантах скорости резания, продольной подачи и величины снимаемого припуска. Диапазон скоростей резания составил 150-370 м/мин. Средний шаг приращения скорости равен 50 м/мин. Станок имеет ступенчатую, механическую систему изменения скорости вращения шпинделя. Скорость резания зависит от обрабатываемого диаметра (2). При эксперименте учитывались действительные обороты шпинделя.

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1000} (\text{м/мин}) \quad (3)$$

где, d – обрабатываемый диаметр (мм); n – обороты (об/мин).

Таблица 1 – Выборочные результаты проведения эксперимента

	V (м/мин)	S (мм/об)	T (мм)	P (Н)
1	306	0,11	1,53	263,7
2	178	0,22	1,54	451,5
3	369	0,22	0,5	121,4
4	367	0,13	2,5	433,1
5	375	0,13	3	512
6	217	0,25	0,5	154

Величина снимаемого припуска изменялась 0,5-2,5 мм с шагом измерения примерно 0,5. Шаг измерения зависит от коробки скоростей. В целях исключения погрешности продольной подачи из-за погрешности изготовления станка и износа за период эксплуатации измерялась действительная подача на

основе измерителя перемещений. Значения подачи были приняты 0,11-0,13-0,22-0,25 мм/об. Заготовки обрабатывались из одной партии. Твердость каждой заготовки предварительно измерялась и составила 156 НВ. Обработка без СОЖ.

Подобранные параметры					Функция	
K	x	y	n	Cp	$P = 10 \times Cp \times t^x \times s^y \times V^n \times K$	
1,279698	0,956236	0,511901	-0,32398	271,2887		
Исходные данные					Расчет функции	
	P	V	S	t		
1	263,7	306	0,11	1,53		263,7
2	451,5	178	0,22	1,54		450,9685
3	121,4	369	0,22	0,5		121,4513
4	433,1	367	0,13	2,5		433,1
5	512	375	0,13	3		512
6	154	217	0,25	0,5		154

Рисунок 1 – Интерфейс подбора коэффициентов при построении модели резания

**Результаты.** В таблице 1 представлены выборочные данные измерения зависимостей V-s-t-P. Интерфейс программного обеспечения для расчета коэффициентов эмпирической модели резания на основе поиска оптимального решения методом перебора с учетом ограничений встроенными средствами MS EXCEL представлен на рисунке 1.

На рисунке 1 в ячейках C12–C17 представлены данные полученные в ходе проведения эксперимента. В ячейках B5–F5 подобранные функцией “поиск решения” в приложении MS EXCEL на основе ограничений (2). В ячейках H12–H17 значения, рассчитанные на основе эмпирической модели Тейлора (1). Как видно расхождения данных полученных при проведении эксперимента и значений силы резания рассчитанных на основе подобранных коэффициентов незначительные и составляет не более 0.12% (0.54 Н при значении 450 Н).

**Выводы.** В результате проведения эксперимента обработки материала 20CrMnTi инструментом Sandvik CNMG 120408 16P25T была получена модель расчёта силы резания (4):

$$P = 10 \times 271,2887 \times t^{0.956236} \times s^{0.5119} \times V^{-0.32398} \times 1.2797 \quad (4)$$

где t, S, V – параметры режимов резания.

Как показывают расчеты отклонение теоретической модели составило не более 0.12% от результатов, полученных на тестовом стенде. По результатам предварительного моделирования сил резания аналогичного материала инструментом с аналогичной геометрией и режимами резания s=0.11 мм/об, t=1.53 мм, V=306 м/мин были получены следующие результаты:

- согласно источнику <https://www.walter-tools.com>, сила резания составит 494.15F<sub>c</sub>[N], при удельном съеме материала 49.73 cm<sup>3</sup>/min и мощностью 2.58P<sub>mot</sub>[KW];
- у согласно источнику <https://www.sandvik.coromant.com>, удельный объём съема материала составит 48.00 cm<sup>3</sup>/min и мощность резания

2.32  $P_{\text{mot}}[KW]$ ; по косвенным расчетам можно предположить, что сила резания будет составлять порядка 460 Н;

- в виду применения новых материалов и повышенных скоростей резания расчет сил резания по методикам Барановского и Косиловой не имеют актуальности.

Как видно, результаты, представляемые онлайн сервисами, ожидаемо завышены. Их задача гарантировано обеспечить заявленную стойкость. При этом результаты реального испытания показывают силы резания, завышенные более чем в 1.5 раза.

### Литература

1. Барановский Ю.В. Режимы резания металлов / Изд. 4-е. перераб. и доп. М.: НИИТавтопром, 1995. - 456 с.: ил.
2. Резание металлов и режущие инструменты: Учебное пособие / В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин. - М.: ИНФРА-М, 2011. - 416 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004719-5 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/258644>
3. Руководство SANDVIK COROMANT 2019 Механическая обработка(<https://www.sandvik.coromant.com>) Просмотрено: 31.10.2019
4. Точение/ Токарная обработка ISO (<https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/wmc/index-bakup.html#content>) Просмотрено: 31.10.2019
5. Компьютерное моделирование : учебник / В.М. Градов, Г.В. Овечкин, П.В. Овечкин, И.В. Рудаков — М. : КУРС : ИНФРА-М, 2018. — 264 с.

УДК 62-585.234

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ С АКСИАЛЬНЫМ ДЕЛИТЕЛЕМ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ МНОГОПРИВОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Белоусов А.М., Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Болдырева С.В.

Набережночелнинский институт КФУ  
423810, РТ, г. Набережные Челны, пр-кт Мира, д.13

**Аннотация.** В статье рассматривается математическая модель гидростатической трансмиссии с аксиальным делителем потока для многоприводного транспортного средства при его маневрировании. Представлен новый метод управления энергетическими параметрами привода колес путем регулирования углов наклонных дисков для каждой секции аксиального делителя потока в зависимости от радиуса поворота многоприводного транспортного средства и построены статические характеристики.

**Abstract.** The article considers a mathematical model of hydrostatic transmission with an axial flow divider for a multi-drive vehicle during its maneuvering. The new method for controlling the energy parameters of the wheel drive by adjusting the angles of swash plates for each section of the axial flow divider depending on the radius of rotation of the multi-drive vehicle is presented and static characteristics are constructed.

**Ключевые слова:** гидростатическая трансмиссия, высокоомобильное транспортное средство, аксиальный делитель потока, криволинейное движение.

Применение гидростатической трансмиссии (ГСТ) для многоприводной техники обладает рядом значительных преимуществ относительно трансмиссий с электродинамическим, либо механическим приводом. Поэтому исследованию новых конструкций гидростатических трансмиссий и системам управления ее работой для повышения энергетической эффективности посвящена работы многих авторов. В частности, в работах [1-4] рассмотрены математические модели ГСТ с особым упором на механизм изменения угла наклона диска регулируемого насоса [1], ГСТ, использующей гидравлический аккумулятор для регенерации энергии [2], ГСТ внедорожных многоосных колесных транспортных средств [3,4].

Одной из функций трансмиссии является распределение моментов и частот вращения колес при движении транспортного средства по криволинейной траектории. При использовании гидростатических трансмиссий частота вращения колес контролируется путем изменения расхода жидкости через гидравлические мотор-колеса.

В данной работе рассматривается использование аксиального делителя потока [5] для независимого управления угловой скоростью каждого гидравлического двигателя в случае криволинейного перемещения транспортного средства. При построении статических характеристик гидростатической трансмиссии использовался теоретический метод численного исследования по представленным в статье математическим уравнениям. Расчет статических характеристик осуществлялся в программе MathCad v.14 при следующих допущениях: не учитывались неровности дорожного полотна, утечки рабочей жидкости и сжимаемость рабочей жидкости.

Для расчета кинематики транспортного средства воспользуемся схемой, изображенной на рис. 1.

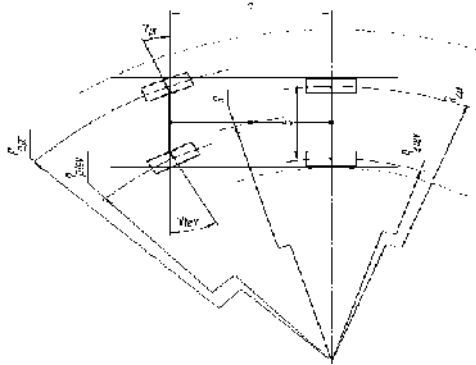


Рис.1. Схема кинематики поворота двухосного транспортного средства

Радиусы поворота заднего левого, заднего правого, переднего левого и переднего правого колес определяются из уравнений (1) – (4) соответственно.

$$R_{z,lev} = R - b / 2, \quad (1)$$

$$R_{z,pr} = R + b / 2 = R_{z,lev} + b, \quad (2)$$

$$R_{p,lev} = ((R + b_p / 2)^2 + a^2)^{0.5} - b_k, \quad (3)$$

$$R_{p,pr} = ((R - b_p / 2)^2 + a^2)^{0.5} + b_k, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус поворота центра задней оси, м;  $a$  – база автомобиля, м;  $b$  – расстояние между центрами заднего левого и заднего правого колес, м;  $b_p$  – расстояние между шарнирами передней оси, м;  $b_k$  – расстояние от шарнира до центра колеса, м.

Углы поворота правого и левого кинематически связанных передних колес определяются из уравнений (5), (6):

$$\gamma_{pr} = \arctg(a / (R + b / 2)), \quad (5)$$

$$\gamma_{lev} = \arctg(a / (R - b / 2)). \quad (6)$$

Преобразуя уравнения (5), (6), мы получим выражения для определения радиуса центра задней оси:

$$R = a / \tg(\gamma_{pr}) - b_p / 2 = a / \tg(\gamma_{lev}) + b_p / 2. \quad (7)$$

Угловая скорость машины при повороте

$$\omega_a = v / R, \quad (8)$$

где  $v$  – линейная скорость машины.

Частоты вращения каждого колеса

$$n_{z,lev} = 2\omega_a R_{z,lev} / (\pi^2 R_k), \quad (9)$$

$$n_{z,pr} = 2\omega_a R_{z,pr} / (\pi^2 R_k), \quad (10)$$

$$n_{p,lev} = 2\omega_a R_{p,lev} / (\pi^2 R_k), \quad (11)$$

$$n_{p,pr} = 2\omega_a R_{p,pr} / (\pi^2 R_k), \quad (12)$$

где  $R_k$  – радиус колеса.

Для системы управления необходимо определить суммарную частоту вращения всех гидравлических мотор-колес  $n_{max}$  по уравнению:

$$n_{max} = n_{z,lev} + n_{z,pr} + n_{p,lev} + n_{p,pr} \cdot \quad (13)$$

и коэффициентов наклона дисков секций делителя

$$k_{z,lev} = n_{z,lev} / n_{max}, \quad (14)$$

$$k_{z,pr} = n_{z,pr} / n_{max}, \quad (15)$$

$$k_{p,lev} = n_{p,lev} / n_{max}, \quad (16)$$

$$k_{p,pr} = n_{p,pr} / n_{max}. \quad (17)$$

Тогда частота вращения вала аксиального делителя

$$n_d = \frac{q_m}{q_{max.s}} \cdot \frac{n_{z,lev} + n_{z,pr} + n_{p,lev} + n_{p,pr}}{k_{z,lev} + k_{z,pr} + k_{p,lev} + k_{p,pr}}, \quad (18)$$

где  $q_m$  – рабочий объем гидромотора,

$q_{max.s}$  – максимальный рабочий объем секции делителя.

Расходы жидкости через гидромоторы без учета утечек

$$Q_{z,lev} = n_{z,lev} \cdot q_m, \quad (19)$$

$$Q_{z,pr} = n_{z,pr} \cdot q_m, \quad (20)$$

$$Q_{p,lev} = n_{p,lev} \cdot q_m, \quad (21)$$

$$Q_{p,pr} = n_{p,pr} \cdot q_m. \quad (21)$$

Суммарная подача жидкости насосной группой:

$$Q_{pump} = Q_{z,lev} + Q_{z,pr} + Q_{p,lev} + Q_{p,pr}. \quad (22)$$

По представленным уравнениям произведен расчет статических характеристик гидростатической трансмиссии при криволинейном движении автомобиля на примере КАМАЗ-43501. В качестве входных данных для расчетов использовались реальные параметры автомобиля:  $R_k=570$  мм;  $q_m=q_{max.s}=8 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>;  $a=3670$  мм;  $b=2105$  мм;  $b_p=1710$  мм;  $b_k=197,5$  мм;  $v=50$  км/ч.

На рисунке 2 представлены результаты расчетов, полученных с помощью приведенной математической модели. Видно, что при наличии одной передней управляемой оси частоты вращения гидравлических мотор-колес правой стороны по ходу движения транспортного средства, поворачивающего налево, увеличиваются с ростом угла поворота (рис.2б). При этом заднее мотор-колесо левой стороны замедляется, а переднее левое мотор-колесо сначала замедляется в диапазоне углов поворота  $5^\circ \dots 25^\circ$ , а затем – плавно ускоряется. Это объясняется разными значениями радиусов  $R_{z,lev}$ ,  $R_{z,pr}$ ,  $R_{p,lev}$ ,  $R_{p,pr}$  относительно мгновенного центра поворота  $O$  (см. рис. 1). Расход группы гидронасосов увеличивается с ростом угла поворота автомобиля (рис. 2а).

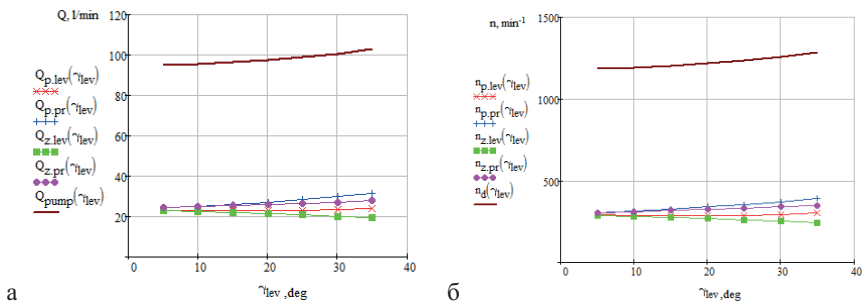


Рис. 2. Расходы гидромоторов и требуемая подача насоса (а) и частоты вращения гидравлических мотор-колес и вала делителя (б) в зависимости от угла поворота переднего левого колеса

Представленные статические характеристики показывают возможность реализации независимого объемного регулирования частоты вращения нескольких нерегулируемых гидравлических мотор-колес (например, высокомоментных радиально-поршневых гидромоторов), имеющих общий привод от одного или группы регулируемых насосов. При этом система электронного управления приводом рассматриваемой гидростатической трансмиссии, основанная на разработанной математической модели, обеспечит качественное соотношение между частотами вращения валов гидравлических мотор-колес за счет регулирования наклона дисков соответствующих секций аксиального делителя.

### Литература

1. Kugi A., Schlacher K., Aitzemuller H., Hirmann G. Modeling and simulation of a hydrostatic transmission with variable-displacement pump. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2000, vol. 53, pp. 409-414.
2. Ho T.H, Ahn K.K. Modeling and simulation of hydrostatic transmission system with energy regeneration using hydraulic accumulator. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2010, vol. 24, pp. 1163-1175.
3. Comellas M., Pijuan J., Potau X., Nogues M., Roca J. Analysis of a hydrostatic transmission driveline for its use in off-road multiple axle vehicles. *Journal of Terramechanics*, 2012, vol. 49, pp. 245-254.
4. Comellas M., Pijuan J., Potau X., Nogues M., Roca J. Efficiency sensitivity analysis of a hydrostatic transmission for an off-road multiple axle vehicle. *International Journal of Automotive Technology*, 2013, vol. 14, No. 1, pp. 151-161.
5. Mulyukin V.L., Boldyrev A.V., Karelin D.L., Belousov A.M. "Simulation of parameters of hydraulic drive with volumetric type controller", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 240, 2017



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА СБОРКИ НЕРАЗЪЕМНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

доцент, к.т.н. Валиев А.М., д.т.н., проф. Панкратов Д.Л.

Набережночелнинский институт (филиал) КФУ

Адрес: 423810, РТ, г. Набережные Челны, проспект Мира, д. 68/19 (1/18)

**Аннотация:** Разработана многоуровневая структура системы моделирования и управления в реальном времени автоматизированным технологическим процессом, отличающаяся тем, что с учётом результатов моделирования пластического течения металла обеспечивается поэтапная локализация деформаций в соединяемых элементах изделия. Проведена апробация полученных результатов на примере изготовления заготовки пуансона для пробивки отверстий.

**The summary:** A multi-level structure of the system for modeling and control in real time by an automated technological process has been developed, characterized in that, taking into account the results of modeling the plastic metal flow, a gradual localization of deformations in the connected elements of the product is provided. Apr probation of the obtained results on the example of the manufacture of a blank punch for punching holes was carried out.

**Ключевые слова:** система управления, нечеткая логика, моделирование, сборка неразъемных изделий, пластическая деформация.

Технология изготовления неразъемных металлических изделий посредством сборки их пластической деформацией основана на совмещении процессов обработки металлов давлением и сварки давлением. Сложность процесса сборки неразъемного изделия заключается в поэтапной смене объекта деформирования, а также в нестационарности температурно-силовых условий [1, 2].

Достижение заданных показателей качества сборки такого рода неразъемных изделий, таких как точность геометрических размеров изделия, прочность неразъемного соединения зависит от принимаемых решений, как на этапах технологической подготовки, так и на этапе управления самим технологическим процессом. Решение поставленной задачи возможно только при использовании автоматизированной системы моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемного изделия с использованием элементов искусственного интеллекта [3, 4].

В результате проведенных исследований разработана автоматизированная система моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией, структурная модель которой представлена на рисунке 1. Данная система позволяет производить автоматизированную подготовку и управление технологическим процессом сборки композиционных металлических изделий в режиме реального времени. Система состоит из блоков АСТПП и АСУ ТП.

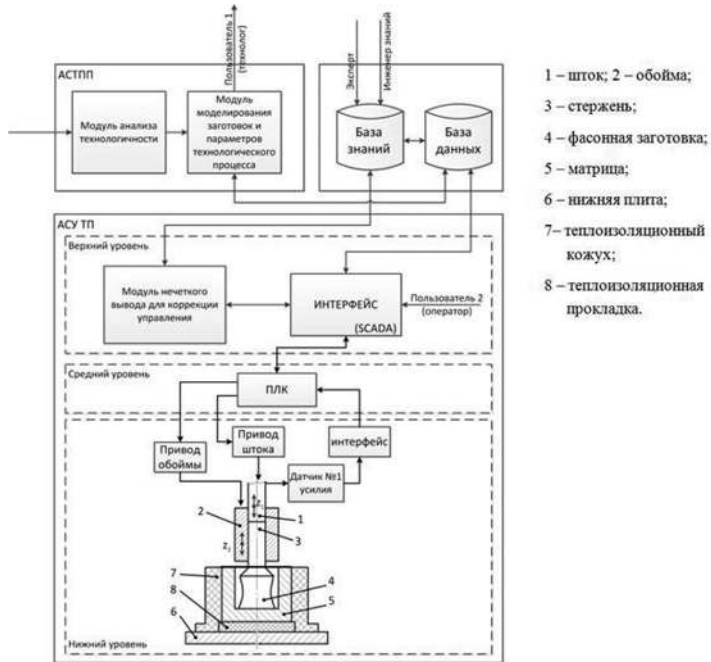


Рисунок 1 - Структурная модель автоматизированной системы моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией

1 – шток; 2 – обойма; 3 – стержень; 4 – фасонная заготовка; 5 – матрица; 6 – нижняя плита; 7 – теплоизоляционный кожух; 8 – теплоизоляционная прокладка.

Для решения задачи о применимости технологии по геометрическим параметрам и проверке на совместимость прочностных свойств соединяемых элементов неразъемного изделия в блоке АСТПП предусмотрен модуль анализа технологичности

Модуль моделирования заготовок и параметров технологического процесса блока АСТПП производит расчет размеров фасонной заготовки и стержня; назначает параметры технологического процесса; формирует входные данные для блока АСУ ТП.

В свою очередь блок АСУ ТП построен по трехуровневому принципу. На нижнем уровне осуществляется согласование сигналов датчиков с входами устройства управления, а также вырабатываемых команд с исполнительными устройствами. На среднем уровне на основе данных о состоянии контролируемых параметров ПЛК (PLC, Programable Logic Controller) выдает сигналы управления исполнительным устройствам. Верхний уровень осуществляет коррекцию управления процессом сборки на основе нечетких

правил в зависимости от данных, получаемых с датчиков нижнего уровня. Таким образом, верхний уровень представляет собой интеллектуальную надстройку в виде модуля нечеткого вывода.

Для производственной реализации технологического процесса разработан способ управления, обеспечивающий сборку изделия в неразъемное соединение в режиме реального времени с применением нечеткой логики. При данном способе обеспечивается локализация деформации в соединяемых элементах изделия в соответствии с этапами технологического процесса [5]. На рисунке 2 представлен пример цикла сборки неразъемного изделия.

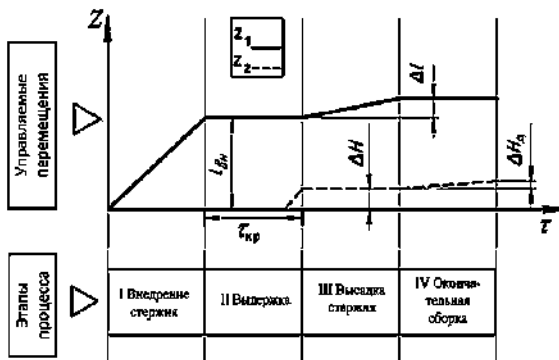


Рисунок 2 – Пример цикла сборки неразъемного изделия

В основе способа - управление перемещениями  $z_1$  и  $z_2$  штока прессы 1 и привода обоймы 2 соответственно (см. рис. 1), временем выдержки соединения  $\tau_{кр}$  в следующей последовательности (рис. 2):

1. На этапе «внедрения стержня» обеспечивается перемещение привода штока на  $z_1 = l_{вн}$ , мм. Управление осуществляется ПЛК. Значение  $l_{вн}$  рассчитывается на этапе АСТПП и записывается в БД.

2. На этапе «выдержки» обеспечивается время выдержки  $\tau = \tau_{кр}$ , сек. Управление осуществляется ПЛК.

3. На этапе «высадка стержня» обеспечивается перемещение привода штока на  $z_1 = \Delta l$ , мм. Управление осуществляется ПЛК. Значение  $\Delta l$  рассчитывается на этапе АСТПП и записывается в БД.

4. На этапе «окончательная сборка» обеспечивается перемещение привода обоймы на  $z_2 = \Delta H_\delta$ , мм. Управление осуществляется ПЛК по правилу: Если усилие  $P > 0$ , то «стоп привод обоймы». Источник информации об усилении – датчик усилия.

Определение реального времени  $\tau_{кр}$  традиционными способами ограничено возможностью измерения температуры как заготовки так и стержня в зоне соединения. В связи с этим в качестве информативного параметра управления вторым этапом сборки предложено использовать данные о

фактическом удельном усилии, полученные на этапе внедрения стержня. Таким образом, по данным с нижнего уровня об удельном усилии на первом этапе сборки модуль нечеткого вывода на основе базы знаний определяет значение  $\tau_{кр}$  для реальных условий процесса.

Была произведена апробация разработанной системы для технологии изготовления составного инструмента для пробивки отверстий. В результате получены образцы с отклонением геометрических параметров в пределах диапазона точной горячей объемной штамповки, который равен 5-25% по массе (объему) поковки, что позволяет использовать данную интеллектуальную систему для сборки неразъемных изделий для различных областей машиностроения.

### Список литературы:

1. Шибиков В.Г., Калашников В.И., Соколова Ю.А. и др. Производство композиционных материалов в машиностроении: Учеб.пособие. — М.: КНОРУС, 2008. — 96с.
2. Pankratov, D.L., Shibakov, V.G., Valiev, A.M., Valieva, R.F. Technology of manufacturing of multiple core stamp tools by plastic deformation // 2015 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 86 012004 - P.1-4.
3. Valiev, A.M., Shibakov, V.G., Pankratov, D.L. Design and Manufacture of a Composite Punching Tool // Russian Engineering Research. – 2016, - 36 (2). - P. 146-148.
4. Valiev A.M., Shibakov V.G., Pankratov D.L. Automated Control System for the Assembly of a Composite Punching Tool // Russian Engineering Research, - 2016. - 36 (2). - P. 142-145.
5. Валиев А.М. Автоматизированная система моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией / Валиев А.М., Панкратов Д.Л. // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 12-2. – С. 258-262

## ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ НИТРОЗНЫХ ГАЗОВ В ВИХРЕВОМ КОНТАКТНОМ УСТРОЙСТВЕ

Гафуров Расим Вильданович, Фаляхов Динар Харисович,  
Халитов Рифкат Абдрахманович  
Казанский национальный исследовательский технологический  
университет, г. Казань, ул.К.Маркса, д.68

В работе представлены результаты экспериментальных исследований гидродинамических характеристик физической модели вихревого контактного устройства для интенсификации процесса абсорбции нитрозных газов.

The paper presents the results of experimental studies of the hydrodynamic characteristics of a physical model of a vortex contact device for intensifying the process of absorption of nitrous gases.

**Ключевые слова:** нитрозные газы, абсорбция, вихревое контактное устройство

**Key words:** nitrous gases, absorption, vortex contact device

В процессе денитрации азотносерных отработанных кислот производства нитратов целлюлозы образуются нитрозные газы, содержащие пары азотной кислоты и оксиды азота, которые направляются в систему газоочистки. Абсорбцию нитрозных газов проводят в насадочных башнях, в которых не обеспечиваются современные санитарные нормы очистки. В процессе поглощения нитрозных газов водой и водными растворами азотной кислоты одновременно с процессом абсорбции протекают химические реакции, как в газовой, так и жидкой фазах. Скорости реакций зависят от концентрации оксидов азота, температуры, концентрации кислорода в газовой фазе, концентрации азотной кислоты в жидкости. Скорость хемосорбции оксидов азота высоких концентраций находится в диффузионной области, а низких концентраций – в кинетической области [1].

Проведенный анализ путей интенсификации абсорбции оксидов азота показал, что при высоких концентрациях оксидов азота проведение процесса хемосорбции в вихревых контактных устройств позволяет значительно повысить эффективность поглощения оксидов азота по сравнению с насадочными башнями и барботажными аппаратами [2]. Для интенсификации процесса абсорбции возможно применение насадочных элементов в виде шарообразных тел устанавливаемых внутри вихревого устройства. Расположение насадочных элементов в виде шариков внутри вихревого устройства позволяет значительно турбулизовать взаимодействие между газом и жидкостью, и обеспечить интенсификацию абсорбции нитрозных газов.

Конструкция вихревого устройства представлена на рисунке 1. Насадка в виде шариков 7 диаметром 14 мм расположена внутри контактного патрубка и в зазоре между контактным патрубком и внешней обечайкой. Исследования проводились на экспериментальной установке, смонтированной в соответствии с требованиями, предъявляемыми к технике физико- химических исследований.

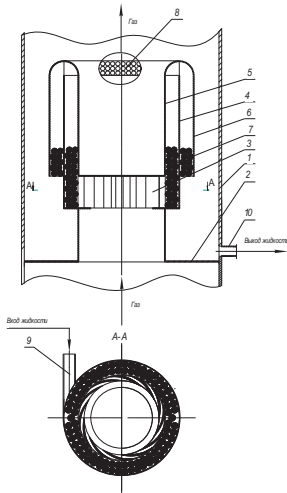


Рисунок 1. Вихревое контактное устройство: 1 – корпус; 2 – тарелка; 3 – завихритель; 4 – контактный патрубок; 5 – внутренняя обечайка; 6 – внешняя обечайка; 7 – шариковая насадка; 8 – перфорированная часть контактного патрубка; 9 – патрубок входа жидкости, 10 – патрубок выхода жидкости

Проведены исследования гидродинамических характеристик вихревого устройства: гидравлического сопротивления и брызгоуноса жидкости при различных расходах газовой и жидкой фаз, а также при различном объеме насадочных шарообразных тел в вихревом устройстве. Количество загруженных в вихревое устройство шариков составляло: 200, 400, 600, 800 и 1000 шариков. На рисунке 2 представлена зависимость гидравлического сопротивления ( $\Delta P$ ) вихревого аппарата от скорости газа в щелях завихрителя ( $W_{ш}$ ) при различных расходах жидкости ( $L$ ). Объем занимаемый шариками в вихревом устройстве:  $V_{ш}=0,00048\text{м}^3$ , (400ш.) доля в свободном объеме контактного патрубка составляет - 10,6%.

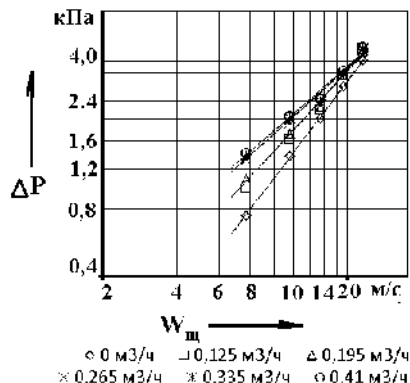


Рисунок 2. Зависимость гидравлического сопротивления ( $\Delta P$ ) вихревого аппарата от скорости газа в щелях завихрителя ( $W_{ш}$ ) при различных расходах жидкости ( $L$ ).

Получены уравнения, описывающие экспериментальные данные в виде степенных функций. Для расхода жидкости  $0,265 \text{ м}^3/\text{ч}$  уравнение имеет вид:

$$\Delta P = 0,0966 W_{\text{щ}}^{1,12},$$

Анализ полученных графических зависимостей изменения гидравлического сопротивления вихревого устройства от расходов фаз и количества загруженных шариков показал, что при увеличении скорости газа в щелях завихрителя гидравлическое сопротивление вихревого устройства возрастает, что удовлетворяет характеристике турбулентного движения двухфазного потока в вихревом устройстве. С увеличением расхода орошающей жидкости наблюдается незначительное повышение перепада давления.

При малых расходах жидкости наблюдается снижение гидравлического сопротивления орошаемого аппарата по сравнению с гидравлическим сопротивлением неорошаемого аппарата. Это связано с покрытием элементов вихревого устройства пленкой жидкости, вследствие чего уменьшается трение парогазовой смеси о конструкцию вихревого устройства, и соответственно, наблюдается уменьшение гидравлического сопротивления вихревого аппарата.

Влияние на гидравлическое сопротивление вихревого устройства количества загруженных шариков представлено на графиках рис.3. Как видно из рис. 3, с увеличением количества насадки возрастает гидравлическое сопротивление вихревого устройства.

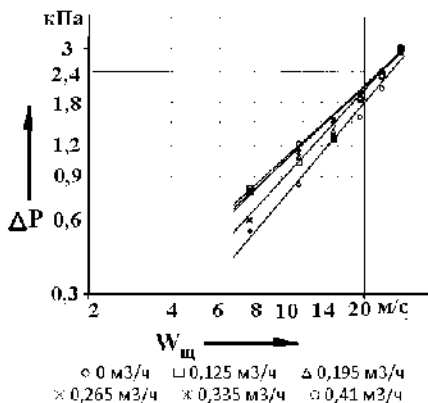


Рисунок 3. Сравнительная зависимость гидравлического сопротивления ( $\Delta P$ ) вихревого аппарата от скорости газа в щелях завихрителя ( $W_{\text{щ}}$ ) при одинаковых расходах жидкости ( $L$ ) и при разных количестве шаров в контактной патрубке (шт.):  $\diamond$  - 0;  $\square$  - 200;  $\blacktriangle$  - 400;  $\times$  - 600;  $*$  - 800;  $\bullet$  - 1000

На рисунке 4 представлена зависимость изменения относительного брызгоуноса от плотности орошения при различных скоростях газа в щелях завихрителя. Из рисунка видно, что при малых расходах жидкости наблюдается пониженный брызгоунос, а при больших скоростях газа в щелях завихрителя наблюдается повышение брызгоуноса.

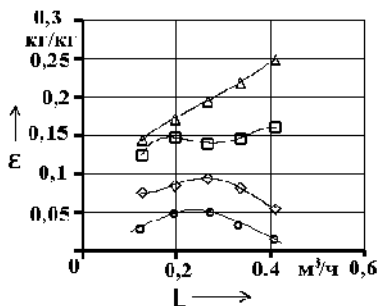


Рисунок 4 - Зависимость брызгоуноса ( $\omega$ ) от расхода жидкости ( $L$ ) при разных скорости в щелях ( $W_{щ}$ ), количество шариков в контактном патрубке – 200 шт.

$W_{щ}$ , м/с:  $\circ$  – 15,2;  $\diamond$  – 23,14;  $\square$  – 27;  $\Delta$  – 30,86

Получены уравнения, описывающие экспериментальные зависимости: при  $W_{щ}=23,14$  м/с уравнение имеет вид:

$$\epsilon = 0,2417 - 3,2855L + 22,347L^2 - 59,623L^3 + 53,592L^4$$

Из рис. 4 видно, что увеличением скорости газа в щелях наблюдается повышение относительного брызгоуноса, Это явление характерно для всех расходов жидкости и объясняется увеличением крутки газового потока с увеличением скорости газа в щелях и уменьшением толщины пленки жидкости в контактном патрубке за счет центробежной силы. При высоких скоростях газового потока большее количество жидкости начинает уноситься газовым потоком на вышележащую ступень.

Проведенные экспериментальные исследования гидродинамических характеристик вихревого устройства позволили сделать вывод о том, что в рабочем диапазоне работы вихревого контактного устройства снабженного насадочными элементами в виде шариков, т.е. при скорости газа в щелях завихрителя от 8 до 20 м/с при различных расходах жидкости вихревое устройство работает в режиме развитой турбулентности с гидравлическим сопротивлением (0,8 ÷ 3) кПа и относительным брызгоуносом не превышающим допустимое значение:  $\epsilon < 0,1$ .

### Литература

1. Халитов, Р.А. Исследование кинетики абсорбции двуокси азота в вихревом контактном устройстве/ Р.А.Халитов, В.И.Петров, А.Ф.Махоткин, И.К.Гайфуллина; КХТИ им. С.М.Кирова - Казань, 1984, 8с. - Деп. в ОНИИТЭХИМ, г. Черкассы, №772 хп-Д84.



## РЕШЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ В УЗЛАХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Генералов Фёдор Станиславович, студент-магистрант  
genefedor001@yandex.ru

Шмелёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКиИС  
gn.shmelev@mail.ru

Антонов Анатолий Сергеевич, аспирант, инженер кафедры МКиИС  
antonov01234@mail.ru

Гимазетдинов Айваз Расимович, студент-магистрант  
aivazaivaz1313@gmail.com

ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния узла реально существующего узла светопрозрачной конструкции. Анализ выполнялся на основе компьютерного моделирования в ПК «Ansys». В ходе исследования выявлены наиболее напряжённые зоны в конструкции узла.

**Abstraction.** The article presents the results of the study of the stress-strain state of the node of the really existing node of the translucent structure. The analysis was carried out based on computer modeling in PC "Ansys". The study revealed the most stressed zones in the design of the node.

**Ключевые слова.** Светопрозрачные конструкции, контактные задачи, расчёт узла, численные исследования

**Введение.** В условиях современного строительства находят применения различные системы и технологии, которые требуют внедрения инновационных материалов, конструктивных решений и методик расчётов. Большое внимание уделяется решению фасадов зданий и сооружений, для их устройства применяются новейшие технологии и решения.

Наиболее востребованными остаются фасадные системы с использованием светопрозрачных элементов и большой площади остекления, так как такие конструкции обладают рядом достоинств: эстетичность, современность, долговечность, индустриальность, технологичность и пр.

Данные конструкции относительно просты в изготовлении и монтаже, позволяют придать зданию современный внешний вид, а также обеспечить внутреннее пространство естественным светом.

Несмотря на сравнительно долгую историю использования подобных систем, вопрос расчета на прочность, жесткость и устойчивость всей конструкции и её элементов остается слабо изученным. В частности, не получал внимания вопрос взаимодействия элементов остекления с несущими элементами фасадной конструкции.

В настоящее время в расчетах подобных конструкций игнорируются особенности взаимодействия стеклянного диска со стоечно-ригельной системой несущего каркаса. Так при расчете стекла на рабочие нагрузки принято

принимать сопряжение стекла со стоечно-ригельной системой как шарнирное опирание по контуру. Такое решение не соответствует реальной картине и ведет к необоснованному перерасходу материала.

Несущей конструкцией светопрозрачной фасадной системы является стоечно-ригельный каркас. При расчете его на рабочие нагрузки влияние стеклянного полотна на работу системы учитывается неточно: в расчётной схеме принимается шарнирное опирание по контуру. Такое предположение идёт в запас прочности, но также приводит к перерасходу материала, а значит утяжелению и удорожанию конструкции.

#### Численные исследования.

Для выявления состояния упругого элемента в положении, когда система ещё не нагружена, используем программный комплекс ANSYS.

ANSYS - универсальный конечно-элементный программный комплекс, предназначенный для решения задач в различных областях инженерной деятельности. Для работы в ANSYS нам необходимы:

- Создать геометрическую модель сечения узла с недеформированными элементами;
- Задать элементам узла свойства соответствующих материалов;
- Задать условия контакта элементов;
- По зонам пересечения плоскостей элементов восстановить их вид в деформированном состоянии;
- Получить схему распределения напряжений в элементах узла.

Геометрическая модель узла создавалась на основе реально существующего узла профиля производства «ТАТПРОФ» (Рис.1.)

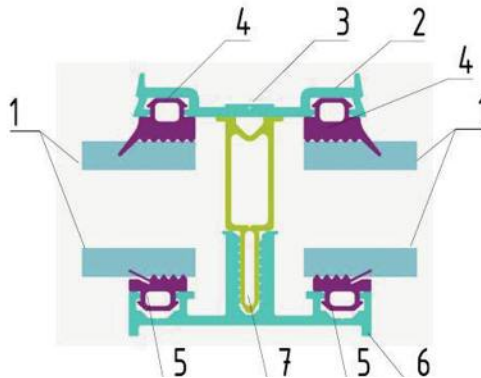


Рис.1. Созданное в AutoCAD сечение профиля. 1- стекло, 2 – профиль зажима, 3 – шайба винта крепления, 4 – внешняя упругая прокладка, 5 - внутренняя упругая прокладка, 6 – несущий профиль, 7 – дюбель

На основе данной геометрии была создана расчётная модель для программного комплекса ANSYS. Для этого геометрия была перенесена в модуль geometry соответствующей задачи.

Для назначения свойств материала элементам геометрии воспользуемся готовой библиотекой материалов ANSYS. В модуле «mechanical» назначим свойства материалов элементам геометрии.

Закрепление узла создадим используя закрепление fixed support, имитируя закрепление узла на конструкцию каркаса (fixed support 1), листов стела между собой (fixed support 2) и закрепление шайбы прижимным болтом (fixed support 3). Реакция в заделке fixed support 3 будет имитировать усилие в прижимном болте.

Далее следует настройка контакта элементов. На данном этапе ANSYS способен самостоятельно вычислить зоны пересечения поверхностей, чтобы затем привести модель узла в напряженное состояние путём «выдавливая» элементов упругой прокладки из тел, с которыми они имеют зоны пересечений. После настройки контактных зон с учетом включения параметра «Ramped Effects», можно выполнять расчет задачи. Результат решения отображен на рисунках 2, 3, 4 (рис. 2)

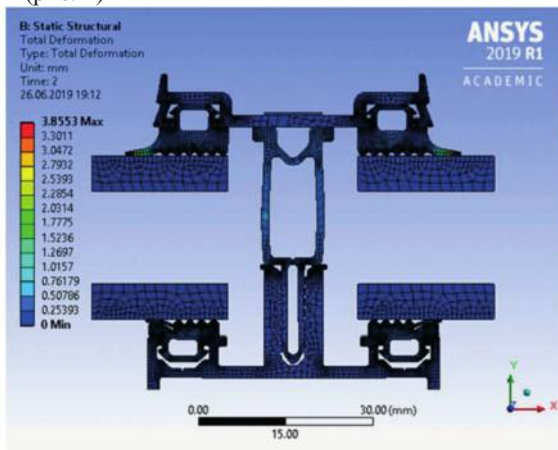


Рисунок 2. Общая деформированная схема. Мозаика перемещений

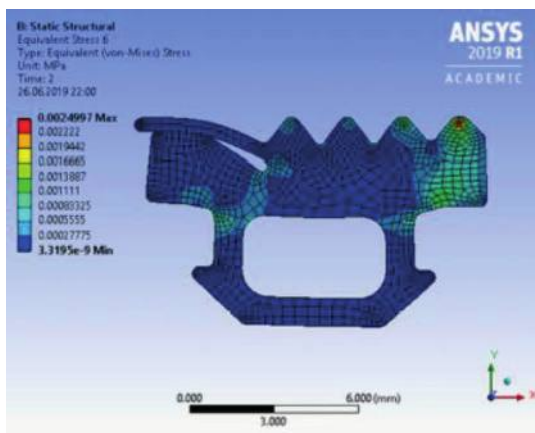


Рисунок 3. Мозаика напряжений упругой прокладки

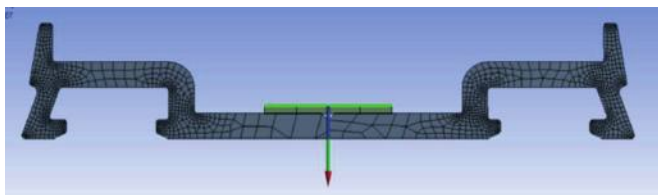


Рисунок 4. Усилие в затяжном болте

### Выводы:

- 1) Получена рабочая модель напряженно-деформированного состояния узла крепления стекла;
- 2) Получено усилие в прижимном болте;
- 3) Разработан алгоритм решения контактных задач с пересечением поверхностей с использованием программного комплекса ANSYS.

### Список литературы

1. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие / В.А. Бруйка [и др]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
2. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции», актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. М.: Минрегион России, 2012. 120с.
3. СП 128.13330.2012. Алюминиевые конструкции. Актуализированная редакция. СНиП 2.03.06-85.
4. Predicting Performance of Aluminum - Glass Composite Facade Systems Based on Mechanical Properties of the Connection/ Maciej Cwyłł, Rafał Michalczyk, Natalia Grzegorzewska, Andrzej GarbacZ1: Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2016

5. М.К. Михайлова, А.В. Галямичев: Несущая способность клеевых соединений в конструкциях навесных фасадных систем: Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 5 (68). 2018. 1-14

6. Замалиев Ф.С. Расчетно-экспериментальные исследования сталежелезобетонных балок // Известия КГАСУ № 4 (42). –2017 – с. 150-157

## АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SIEMENS NX

Евлампов Евлампьев Андрей Владиленович, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева (КНИТУ – КАИ),  
[evlampiev.andrey@mail.ru](mailto:evlampiev.andrey@mail.ru)

Агафонов Александр Евгеньевич, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева (КНИТУ – КАИ),  
[cool.fsgs@mail.ru](mailto:cool.fsgs@mail.ru)

**Аннотация.** Выполнен анализ деформации различных элементов конструкций: тавровое сварное соединение, труба квадратная, выполненные из конструкционных сталей. По результатам моделирования с помощью программного обеспечения Siemens NX, установлено, что при одной и той же силовой нагрузке наиболее устойчивым соединением является тавровая балка, а также из исследуемых материалов наиболее прочным оказалась нержавеющая сталь AISI 310 SS.

**Abstract.** The analysis of the deformation of various structural elements: T-welded joint, square pipe made of structural steel. According to the simulation results using the Siemens NX software, it was found that with the same power load the most stable connection is an I-beam, and the AISI 310 SS turned out to be the most durable of the materials studied.

**Ключевые слова:** сварное соединение, труба квадратная, тавровое соединение, деформация.

**Keywords:** welding joint, square pipe, T-joint, deformation.

В настоящее время сварка плавлением, основным видом которой является дуговая сварка, наиболее распространена в сфере создания неразъемных соединений. Ряд специалистов прогнозируют, что такая тенденция сохранится и в будущем [1, 2]. Таким образом, анализ конструкционных материалов, выполненных с помощью дуговой сварки, является важной задачей, для решения которой чаще всего используют приемы и методы технологического характера. По мнению Б. Е. Патона и В. И. Труфякова более высоких технико-экономических показателей можно добиться на основе оптимального конструирования сварных изделий [3]. Поэтому, стоящие перед сварочным производством задачи, не могут быть успешно решены без изучения несущей способности изделий. Рассмотрим несущую способность балок.

Рассматриваемые балки имеют следующую форму поперечного сечения: труба квадратная, тавровое соединение. Изделия смоделированы из двух одинаковых швеллеров, соединяемые между собой дуговой сваркой плавлением. Размеры швеллера представлены на следующем чертеже:

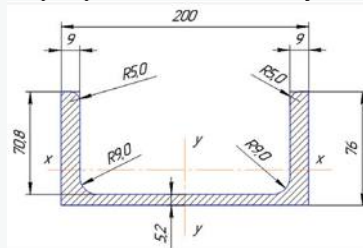


Рис. 1. Чертеж швеллера.

Длина швеллера: 5 м. Сварной шов выполняется с двух сторон балки. Сечение сварного шва имеет следующие параметры: контур выпуклый, корневой шов 3 мм., отклонение вершин 3мм., угол 50°, глубина 5мм. На одну из торцевых сторон балки накладывается ограничение в виде жесткой заделки и на противоположную сторону создается нагрузка в 10 кН ( $\approx 1020,4$  кг). Опыт проводится при температуре 20 °С.

Для анализа деформации балок были выбраны следующие материалы: AISI 310 SS (российский эквивалент сталь 20Х25Н20С2), AISIS teel 4340 (сталь 40ХН2МА), iron 60 (чугун ВЧ60), titanium alloy (титановый сплав) [4]. Ниже приведен анализ деформации исследуемых изделий.

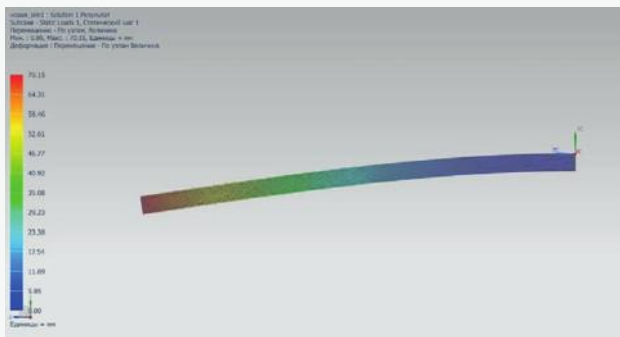
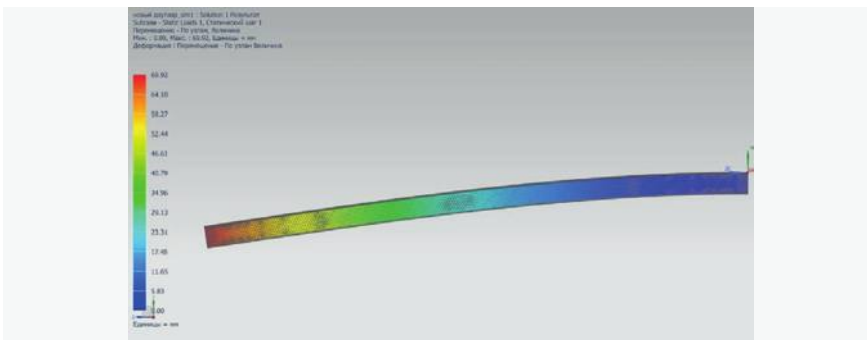


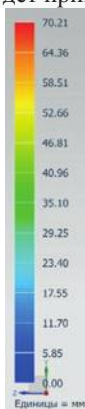
Рис. 2. Труба квадратная (AISI 310 SS).



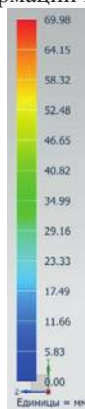
**Рис. 3.** Тавровое соединение (AISI 310 SS).

На данных рисунках видно, что деформация трубы на 0,23 мм. больше, чем при тавровом соединении. Смещения распределяются следующим образом: синий цвет – минимальное смещение, красный – максимальное.

Далее будет приведена только диаграмма деформации изделий.

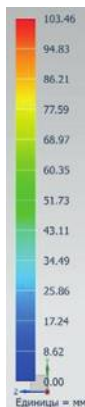


**Рис. 4.** Труба квадратная (AISIS teal 4340).

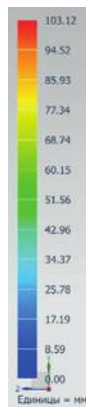


**Рис. 5.** Тавровое соединение (AISIS teal 4340).

Сталь AISI 4340 по механическим свойствам близка к стали AISI 310 SS, но оказалась менее устойчивой. В данном случае труба так же деформируется на 0,23 мм. больше.

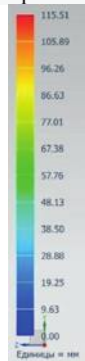


**Рис. 6.** Труба квадратная (Iron 60).

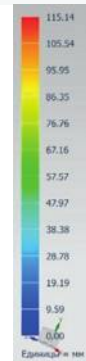


**Рис. 7.** Тавровое соединение (Iron 60).

Iron 60 оказался менее устойчивым материалом, по сравнению с вышеперечисленными сталями. Разность между соединениями так же изменилась. Тавровая балка деформируется на 0,34 мм. меньше.



**Рис. 8.** Труба квадратная (Titanium alloy).



**Рис. 9.** Тавровое соединение (Titanium alloy).

Наибольшие деформации из выбранных материалов получил титановый сплав. Здесь разница между соединениями оказалась наибольшей. Труба деформировалась на 0,37 мм. больше.

По полученным диаграммам можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что при равных внешних условиях наиболее устойчивым соединением является тавровая балка и, что ее выгоднее использовать при проектировании балок с точки зрения наименьшей деформации.
2. Показано, что наиболее прочными материалами оказались стали AISI 310 SS и AISIS teel 4340, российским эквивалентом которых являются соответственно стали марок 20X25H20C2 и 40XH2MA.



3. Ниже представлена итоговая таблица №1 с максимальными деформациями:

**Таблица 1**

Марка материала	Деформация балки, мм.	
	Труба квадратная	Тавровое соединение
AISI310 SS	70.15	69.92
AISIS teel 4340	70.21	69.98
Iron 60	103.46	103.12
Titanium alloy	115.51	115.14

### Список литературы

1. Миддельдорф К., Д. фон Хофе. Тенденции развития технологии соединения материалов // Автоматическая сварка 2008. № 11. С. 39-47.
2. Походня И. К. Металлургия дуговой сварки конструкционных сталей и сварочные материалы // Сварочное производство. 2010. № 4. С. 3-15.
3. Патон Б. Е., Труфяков В. И. О повышении несущей способности и долговечности сварных конструкций // Автоматическая сварка. 1982. № 2. С. 1-6.
4. [www.emk24.su/wiki](http://www.emk24.su/wiki)

## ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Жетесова Гульнара Сантаевна - д.т.н., профессор  
 Юрченко Василий Викторович – доктор PhD, КарГТУ  
 К.М. Джолдибаев Канат Мырзагалиевич – магистрант КарГТУ,  
[kdzholdibaev@mail.ru](mailto:kdzholdibaev@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье обсуждается проблема автоматизации задач технического регулирования и прогнозирования производства. Работы других авторов рассматриваются. Рассмотрены некоторые программные системы для автоматизированного регулирования производства.

This article discusses the problem of automating the tasks of technical regulation and forecasting production. The works of other authors are considered. Some software systems for automated production regulation are considered.

**Ключевые слова:** САПР, гибкие производственные системы, автоматизация технического регулирования, нормирование производства.

Чтобы помочь компаниям в реструктуризации исследований новейшего продукта и подготовке производства к его выпуску, предназначены концепции автоматизированного проектирования (САПР). Инновационные САПР позволяют объединить задачи проектирования и технологической подготовки для управления созданием единой информационной платформы (базы данных)

на физическом уровне. Они гарантируют общую работу значительного числа специалистов, могут помочь техническим и производственным предприятиям оперативно реагировать на ситуацию на товарном рынке, сократить время и материальные затраты на подготовку производства новейшего продукта.

В машиностроении САПР используется на всех этапах подготовки производства к выпуску нового продукта, начиная от концептуального проектирования его внешнего вида, разработки конструкторской и технологической документации, включая программы управления станками с ЧПУ, до оперативное планирование загрузки оборудования.

В настоящее время высокая эффективность мероприятий по автоматизации производственных процессов характерна для предприятий с большим серийным производством продукции, высокой надежностью автоматизированных процессов, минимальной частотой и продолжительностью переключения, низкими дополнительными затратами на автоматизированное оборудование, имеющими большой опыт автоматизации. Использование гибких производственных систем и технологических модулей позволяет изготавливать детали в любом порядке и варьировать их выпуск в зависимости от производственной программы, сокращает затраты и время на подготовку производства, увеличивает коэффициент использования оборудования, меняет характер работы персонала, увеличивается доля творческого, высококвалифицированного труда.[2]

Были выявлены три проблемы, которые касаются вопроса эффективности инженерных работ в области проектирования:

- рационализация системы проектирования, в том числе систематизация самого процесса проектирования и совершенствование организации труда инженера-конструктора;

- комплексная автоматизация ментально-формальных, не творческих функций инженера-конструктора в процессе проектирования;

- разработка имитационных моделей для компьютерного воспроизведения умственной деятельности человека, его способности принимать решения в условиях полной и частичной неопределенности проектных ситуаций, разработка эвристических алгоритмов, позволяющих решать сложные задачи проектирования с введением определенных ограничений.

Актуальность темы исследования формируется, основываясь на повышении качества деятельности предприятия, трудоемкости изготовления изделия, экономии времени и материальных затрат, упрощение производительности труда кадров, создании информационной модели изделия.

Тип производства современных машиностроительных предприятий Республики Казахстан является в основном единичным, мелкосерийным и редко среднесерийным. Также в большом количестве есть ремонтные компании. Как известно, при такой организации производства ассортимент продукции обширен, сроки производства готовой продукции ограничены, из-за чего время на технологическую подготовку производства очень короткое, а процесс разработки технологических процессов очень трудоемко и связано с возникновением большого количества ошибок. В среднем сроки

проектирования технологических процессов для деталей типа «Вал» составляют до 5-7 дней, для деталей типа «Корпус» - от 7 до 14 дней. [4]

Основными проблемами ручного проектирования является недопустимость однозначного принятия решения на определенном этапе, поскольку значения критериев выбора конкретного элемента технологического процесса станут известны только на последующих этапах проектирования, а зачастую и на самый конец проектирования. Основным недостатком огромного количества систем от различных разработчиков автоматизированных систем является то, что при их работе необходимо проверять и корректировать результаты проектирования технологических процессов в соответствии с определенной текущей ситуацией на производстве.

При неоднозначности выбора конкретных решений на промежуточных этапах проектирования необходимо разработать огромное количество вариантов технологических процессов, результаты которых можно оценить только в конце проектирования. Нужно учитывать огромное количество критериев для объективной оценки получаемых вариантов. В связи с этим рекомендуется осуществить окончательный, но уже субъективный выбор оптимального технологического процесса из как минимум трех наиболее подходящих решений, исходя из технико-экономической оценки окончательного проекта.

В настоящее время управление машиностроительным бизнесом практически невозможно без формирования стабильного информационного пространства, объединяющего все приобретенные корпоративные знания, в котором оно обязано совместно генерировать все информационные потоки предприятия. Практический опыт хорошо функционирующих отечественных предприятий показывает, что управление корпоративными знаниями должно осуществляться преднамеренно и непрерывно, без чего нет бизнеса.[3]

В качестве основных факторов для создания единой информационной системы предприятия могут быть учтены как трудности, связанные с информационным обеспечением вопросов управления, так и необходимость создания дополнительного конкурентного преимущества за счет эффективного использования накопленных знаний. Однако предприятия, работающие с ИТ-поддержкой, уже не считают их конкурентным преимуществом, а жизненно важным компонентом успешной работы.

Автоматизация задач технического регулирования и прогнозирования сейчас очевидно актуальна. В связи с этим ряд российских компаний-разработчиков программного обеспечения предлагают интегрировать соответствующие программные модули в системы управления производством и системы технологического проектирования

С целью решения предоставленной задачи допускается порекомендовать формирование автоматизированной системы, что сумела б объединить в себя все плюсы показанных ранее комплексов. Кроме того система обязана обладать сравнительно не высокую стоимость, Для того чтобы предприятия в том числе и с незначительным бюджетом имели возможность разрешить себе автоматизацию собственного изготовления, что повлекло бы за собою

усовершенствование свойства продукции, повышения скорости производства изделий и вблизи иных позитивных факторов.

Решение рассмотренных трудностей даст возможность усовершенствовать состояние в области нормирования работы в индустриальных предприятиях, что в окончательном результате отразится в производительности работы и производительности труда абсолютно всех сотрудников предприятия.

### Список использованной литературы

1. Сапр в машиностроении / Берлинер Э.М., Таратынов О.В. - М. машиностроение – 2008 – 439 с.
2. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Капустин Н.М., Кузнецов П.М. – М. Машиностроение – 2007 – 414 с.
3. Фролов Е.Б. Автоматизированное проектирование технологии и формирование групп оборудования на основе интеграции САПР ТП и MES на принципах модульной технологии // Станочный парк. -2011 -№9. - с.44-51.
4. Швоев В.Ф., Юрченко В.В. Анализ и перспективы развития САПР технологического процесса //Труды Университета. - Караганда: Изд-во КарГТУ, 2001. Вып.2 – С. 21-22.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ

Звездин Валерий Васильевич,  
Саубанов Рузиль Рашитович,  
Рахимов Радик Рафисович,  
Хисамутдинов Равиль Миргалимович,  
Болдырев Алексей Владимирович,  
Карелин Дмитрий Леонидович

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета, г. Набережные Челны, Россия  
e-mail: rafisih88@mail.ru, irmaris@yandex.ru

**Аннотация.** Различные технологические процессы позволяют получать высокие показатели качества, это лазерная резка, сварка, закалка и др. В статью представлены результаты моделирования по лазерной резке толстостенных конструкций. Создание вычислительных инструментов экспресс-анализа в математической постановке и количественной оценке температурных полей в пространственно-переменных и нестационарных условиях лазерного воздействия представляют несомненный практический интерес для минимизации экспериментальных затрат.

**Abstract.** Various technological processes allow to obtain high quality indicators, such as laser cutting, welding, hardening, etc. The article presents the results of modeling for laser cutting of thick-walled structures. The creation of

computational tools for express analysis in a mathematical setting and a quantitative assessment of temperature fields in spatially variable and non-stationary conditions of laser exposure are of undoubted practical interest to minimize experimental costs.

**Ключевые слова:** лазерная сварка, длинномерные, прецизионное, техническое зрение.

**Введение.** В настоящее время для решения актуальных задач лазерного воздействия в технологии концентрированных потоков энергии активно разрабатываются и исследуются лазерные технологические комплексы (ЛТК) высокой плотности мощности излучения. Изучение динамики температурных полей в зоне лазерного воздействия и многофакторных оптико-теплофизических процессов является необходимым не только для количественного описания фазовых переходов «твердое тело – газ – плазма», но и для управляемой модификации свойств конструкционных материалов. В зоне воздействия лазерного излучения (ЛИ) при осуществлении всех циклов разработок и инженерной оптимизации параметров ТП энергогенерирующих систем ЛТК и систем контроля в режиме реального времени происходят сложные физико-химические процессы. Для относительно хорошо изученных металлов результаты исследований 3D температурных полей и сопряженных с ними масс расходных характеристик обрабатываемых металлов, спектрально-энергетических порогов плавления, испарения и ионизации, полученные различными теоретическими и экспериментальными группами, значительно отличаются. Создание вычислительных инструментов экспресс-анализа в математической постановке и количественной оценке температурных полей в пространственно-переменных и нестационарных условиях лазерного воздействия представляют несомненный практический интерес для минимизации экспериментальных затрат [1-6].

**Теоретические и экспериментальные исследования.** При моделировании необходимо учитывать особенности процесса ЛР и результаты проведенных исследований.

Моделирование процесса лазерной резке стали 17Г1С реализовывалось с помощью многофазной модели жидкости (ММЖ), основанной на методе фиксации поверхности раздела фаз при воздействии пучка концентрированной энергии и определяющей распределение и перемещение несмешивающихся фаз. Этот подход к моделированию предполагает, что разрешение сетки достаточно для разрешения положения и формы интерфейса между фазами [1, 2, 5].

Для определения распределения фазы использовалось уравнение сохранения массы объемной части фазы:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V a_i dV + \int_A a_i v da = \int_V \left( S_{a_i} - \frac{a_i}{\rho_i} \frac{D\rho_i}{Dt} \right) dV - \int_V \frac{1}{\rho_i} \nabla (a_i \rho_i v_{d,i}) dV \quad (1)$$

где  $a$  - вектор к площади теплопередающей поверхности,  $v$  - скорость смеси (усредненная по массе),  $S_{a_i}$  - скорость диффузии, является определяемым

пользователем исходным членом фазы  $i$  или Лагранжевой производной от плотностей фаз  $\rho_i$ .

Определение суммарной массы для всех фаз производится с помощью уравнения неразрывности:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \int_V \rho dV \right) + \int_A \rho v \cdot da = \int_V S dV \quad [2]$$

где  $S$  – элемент источника массы, связанный с элементом источника фазы следующим образом:

$$S = \sum_i S_{a_i} \cdot \rho_i$$

Зависимость от объемных долей составляющих фаз вещества смеси учитывается через плотность  $\rho_i$ .

Скорость движения фаз рассчитывалась по уравнению импульса массы соответствующей объемной части фазы:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \int_V \rho v dV \right) + \int_A \rho v \otimes v \cdot da = & - \int_A p I \cdot da + \int_A T \cdot da + \\ & + \int_V \rho g dV + \int_V f_b dV - \sum_i \int_A a_i \rho_i v_{d,i} \otimes v_{d,i} \cdot da \end{aligned} \quad [3]$$

где  $p$  – давление,  $I$  – объединенный тензор,  $T$  – тензор напряжений,  $f_b$  – вектор массовой силы.

Расчет температурного поля при воздействии на материал концентрированного излучения, вследствие теплопроводности материала производился с помощью уравнения энергии:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \int_V \rho E dV \right) + \int_A \left[ \rho H v + p + \sum_i a_i \rho_i H_i v_{d,i} \right] \cdot da = \\ = - \int_A q^n \cdot da + \int_A T \cdot v da + \int_V f_b v dV + \int_V S_E dV \quad [4] \end{aligned}$$

где  $E$  – общая энергия,  $H$  – полная энтальпия,  $q^n$  – вектор теплового потока,  $S_E$  – потребитель источника энергии.

По уравнению 4 проведено математическое моделирование лазерной резки стали 17Г1С с использованием программного пакета STAR-CCM+v13. Результат моделирования представлен на рисунках 1 и 2.

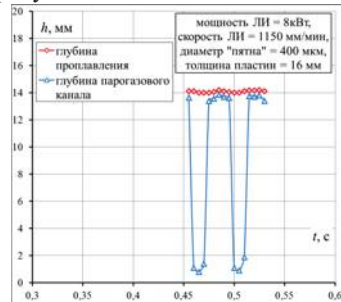
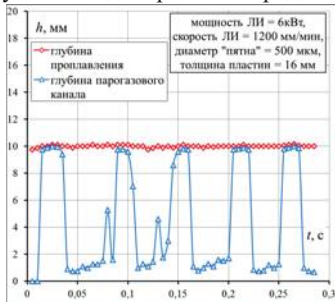


Рис.1. График зависимости глубины парогозового канала при мощности ЛИ для 6 кВт от времени воздействия

Рис.2. График зависимости глубины парогозового канала при мощности ЛИ для 8 кВт от времени воздействия

По результатам (см. рис. 3- 6) моделирования отмечается наличие неустойчивой пульсации: для 6кВт с частотой 17-20 Гц; для 8 кВт с частотой 25-29 Гц.

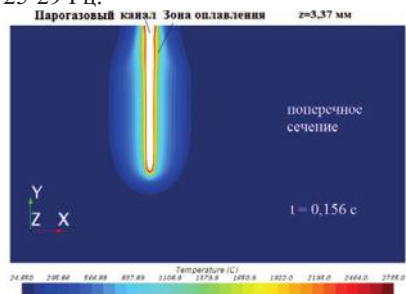


Рис.3. Тепловая карта распределения температурного поля и частоты пульсации в промежутке времени  $t = 0.156$  с в поперечном сечении

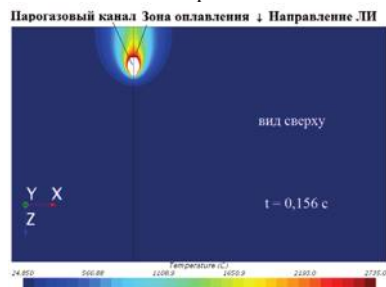


Рис.5. Тепловая карта распределения температурного поля и частоты пульсации в промежутке времени  $t = 0.156$  с на лицевом виде.

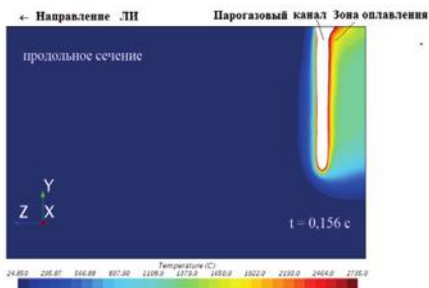


Рис.4. Тепловая карта распределения температурного поля и частоты пульсации в промежутке времени  $t = 0.156$  с в продольном сечении.

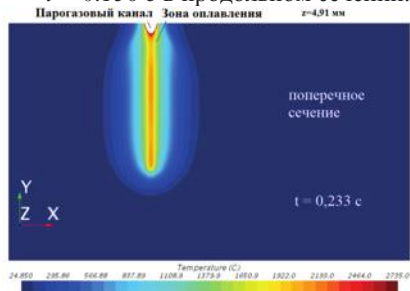


Рис.6. Тепловая карта распределения температурного поля и частоты пульсации в промежутке времени  $t = 0.233$  с в поперечном сечении

**Вывод.** Из экспериментальных исследований известно, что разлет жидкой фазы от фронта резания происходит во всех возможных направлениях: вверх, вбок и, если рез сквозной, вниз. В результате двойной «поддержки» в этой части реза может развиваться зона теплового влияния такой глубины, наличие которой, как отмечено в начале работы, неприемлемо в большинстве случаев применения лазерного резания в технологиях изготовления тех изделий, в которых оно или наиболее эффективно, или является единственно возможным инструментом.

### Литература

1. Григорьянц, А. Г., Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / И. Н. Шиганов, А. И. Мисуров; под ред. А. Г. Григорьянца; — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 664 с.
2. Исследование процесса влияния изменения мощности при газолазерной резке металлов / Песошин В.А., Звездин В.В., Портнов С.М., Кисаев Р.А., Кузнецов И.Н. // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2010. № 2. С. 43-46.
3. Improvement of combined laser-plasma welding/ Zvezdin V.V., Zamorskiy V.V., Pesoshin V.A., Aleev R.M., Saubanov R .R. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 9-2. С. 36-39.
4. A system for automatic control of precision laser welding in engineering / Grigoryants A.G., Perestoronin A.V., Portnov S.M., Zvezdin V.V., Israfilov I. Welding International. 2015. Т. 29. № 10. С. 801-804.
5. Галёв Р. В., Ковалев О. Б. Об использовании уравнений Максвелла при численном моделировании лазерного взаимодействия с материалами // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2014. Т. 9, вып. 2. С. 55–64.
6. Методология разработки автоматизированных технологических комплексов лазерной наплавки и закалки инструмента / Звездин В.В., Хисамутдинов Р.М., Саубанов Р.Р., Рахимов Р.Р., Сыркин С.С. // Материалы IX Международной научно-технической конференции "Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2018" (МНТК "ИМТОМ-2018"). Казань, 2018. С. 318-322.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ МЕСТ В СБОРОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Искандаров Муса Зямилович аспирант 1 курса, кафедры КТОМП НЧИ КФУ,  
РФ, г. Набережные Челны E-mail: [musaiskandarov@yandex.ru](mailto:musaiskandarov@yandex.ru)

Хисамутдинов Равиль Миргалимович научный руководитель, д.н. доцент НЧИ  
КФУ, РФ, г. Набережные Челны

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена имитационная модель рабочих мест в сборочных системах, а также ее симуляция как надежный метод проверки производственных и сборочных систем в части рационального использования трудовых ресурсов при выполнении технологических операций. В данной статье приведена часть теоретической база темы и практический пример использования моделей для эффективной организации труда рабочего персонала на производстве. Для практического исследования использовалось программное обеспечение и библиотеки объектов.

**Abstract.** This article discusses a simulation model of jobs in assembly systems, as well as its simulation as a reliable method of checking production and assembly systems in terms of the rational use of labor resources when performing technological operations. This article provides a theoretical basis. For practical research, software and an object library were used.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, моделирование



сборочных систем, имитационная модель, рабочие места, сборочная система.

### **Введение.**

В условиях рыночной экономики возрастает значение различных факторов, которые воздействуют на эффективность производства, так как в силу возрождающейся конкуренции результативность деятельности становится решающей предпосылкой существования и развития предприятий. Среди факторов эффективности существенное место занимает организация труда. Повышение эффективности деятельности предприятия в значительной мере связано с использованием живого труда, с рациональным использованием персонала предприятия [1]. Так, например, даже использование сверхэффективного и прогрессивного оборудования, не даст желаемого результата, если оно не будет обеспечено рабочим местом, которое будет выполнять на нем предназначенную работу и следить за своевременным обслуживанием.

Любое промышленное предприятие как объект моделирования является исключительно сложной системой [2]. Использование современных методов моделирования предоставляют большие возможности для выполнения комплексного анализа деятельности предприятий в части совершенствования их организационной структуры и эффективного распределения труда. Моделирование сборочных систем на рабочих местах помогает в планировании новых и улучшении существующих систем [3].

Организационные факторы роста производительности труда могут быть заложены уже на ранних стадиях проектирования новых производств. А своевременное моделирование поможет устранить потери, избежать нерациональные затраты труда и снизить трудовые нагрузки на работников.

Моделирование сборочных участков в настоящее время используется на роботизированных позициях или в районе сборочных конвейеров [4]. Кроме того, широко используется программное обеспечение для моделирования движений персонала, изучения эргономики рабочего места.

Выбор модели был обусловлен многофакторностью решаемой задачи и условиями системы сборки.

### ***Анализ моделирования в сборочной системе***

В данном разделе рассматривается анализ сборочной системы состоящей из конвейера сборки автомобилей и трех рабочих мест, а также пример проектирования модели (рис. 1).

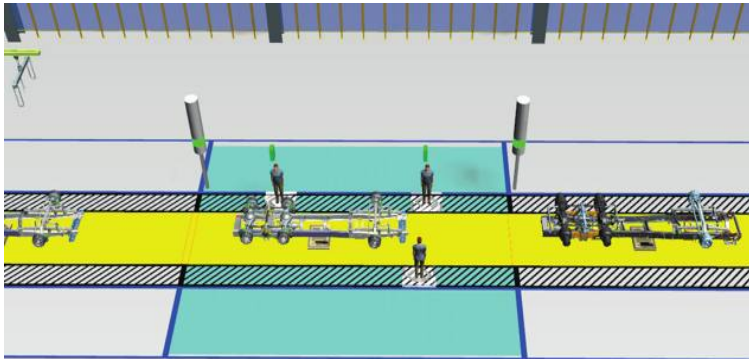


Рисунок 1. 3d модель сборочной системы с рабочими местами.

Если рассматривать классификацию организационной формы сборки по перемещению собираемого объекта, то принято различать стационарную и подвижную сборку. Стационарная сборка изделия или его составных частей осуществляется на одной позиции, при подвижной сборке, изделие перемещается с позиции на позицию, а рабочее место остается неподвижным. Для стационарной сборки характерна длительность общего цикла, тогда как при подвижной сборке трудоёмкость снижена, за счет специализации рабочих месте и лучшей организацией труда. Ярким примером организации подвижной сборки является конвейерное производство.

Конвейерное производство – система поточной организации производства на основе конвейера, при которой оно разделено на простейшие операции, а перемещение деталей осуществляется автоматически. Подобное расчленение производственного процесса на простейшие операции позволяет одному рабочему выполнять какую-либо одну операцию, не тратя время на смену инструментов и передачу деталей другому рабочему. Такая параллельность производственного процесса позволяет уменьшить количество рабочих часов, необходимых для производства одного изделия.

Анализ показывает, что с учетом логистических решений, конвейерная сборка является оптимальным вариантом.

Для моделирования сборочной системы нами использовалось программное обеспечение от компании SIEMENS Tecnomatix Plant Simulation.

Для создания рабочего места был использован стандартный объект Workplace (Рабочее место) из раздела Resources (Ресурсы).

Рабочее место – это неподвижный математический объект, место нахождения работника, к которому привязаны пронормированные вариативные технологические операции, связанные с продуктом, проходящим через позицию. Фактически, это место на станции, где работник выполняет свою работу [5].

При тестировании базовой модели сборочной системы было выявлено, что технологические операции, рассчитанные на 3 рабочих места, не укладываются в такт движения конвейера, в следствии чего образуются

непредвиденные остановки. При данной организации труда, фактический такт выхода готовой продукции равен 5,8 мин. При базовой модели, за восьмичасовой рабочий день, было собрано 82а/м.

Для вхождения в целевой такт, была произведена перебалансировка технологических операций, с добавлением дополнительного рабочего места. В результате все рабочие места на сборочной позиции равномерно загружены и укладываются в такт движения конвейера, равной 4,8 мин.

После доработки модели, в ходе анализа результатов моделирования установлено, что при таких же плановых параметрах, было изготовлено 100а/м, что больше базовой модели на 18а/м.

Изменение графика, выполнения технологических операций рабочими местами, «до» и «после» настройки представлена на рисунке 2.

**Вариант №1: 3 рабочих места на позиции**

Рабочее место	Операция		Суммарная трудоемкость	
	Наименование	Трудоемкость		
1	Установка передней подвески	2 мин 30 сек	5 мин 30 сек	
	Установка амортизаторов	3 мин 00 сек		
2	Установка передней подвески	2 мин 30 сек	5 мин 30 сек	
	Установка амортизаторов	3 мин 00 сек		
3	Затяжка передней подвески	4 мин 00 сек	4 мин 00 сек	
Итого	3 чел.	5 операций	15 мин 00 сек	15 мин 00 сек



**Фактический такт сборки: 5 мин 52 сек**

**Вариант №2: 4 рабочих места на позиции**

Рабочее место	Операция		Суммарная трудоемкость	
	Наименование	Трудоемкость		
1	Установка передней подвески	2 мин 30 сек	4 мин 00 сек	
	Установка амортизаторов	1 мин 30 сек		
2	Установка передней подвески	2 мин 30 сек	4 мин 00 сек	
	Установка амортизаторов	1 мин 30 сек		
3	Затяжка передней подвески	2 мин 00 сек	3 мин 30 сек	
4	Затяжка передней подвески	2 мин 00 сек	3 мин 30 сек	
	Установка амортизаторов	1 мин 30 сек		
Итого	4 чел.	8 операций	15 мин 00 сек	15 мин 00 сек



**Фактический такт сборки: 4 мин 48 сек**

Рисунок 2. Варианты распределения технологических операций на рабочих местах. Базовая модель (слева), доработанная модель (справа).

Из правого графика можно увидеть, что рабочие места 1 и 2 перегружены, и не укладываются в такт движения конвейера. Добавление дополнительного рабочего места уменьшило нагрузку и позволило повысить пропускную способность позиции на которой выполняются технологические операции. Оптимизированная модель, позволила повысить производительность на 22%.

Результаты и выводы.

1. Отслеживание и анализ выходных результатов в виде графиков, позволило увеличить пропускную способность сборочной системы, что свидетельствует о возможности оптимизации производственных процессов сборочной системы.

2. При разработке модели были использованы стандартные объекты и библиотеки что сокращает, времена проектирования сборочной системы.

3. Работа в виртуальной среде и сохранение промежуточных результатов, позволило провести тестирование нескольких версий сборочной системы и выбрать наиболее оптимальную и сбалансированную версию. Из этого следует что можно устранить организационные ошибки перед их вводом в эксплуатацию.

4. По результатам реализации практического примера был установлен ряд преимуществ оптимизированной модели рабочих мест.

### Литература

1. Гостенина В.И., Социология управления: Учебное пособие. Стандарт третьего поколения. – Спб.: Питер, 2013. 368с.– (Серия «Учебное пособие»).

2. Шаранов И.М., Петрова Е.С. Имитационное моделирование управленческих процессов в производственных системах // Вестник ВУиТ, 2011. - №18. с. 5-10.

3. M. Iskandarov, R. Khisamutdinov, Simulation as a tool for supporting assembly systems // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering -2019. - 570.

4. Хисамутдинов Р.М., Хисамутдинов М.Р., Моделирование обмена данными между разноплатформенными информационными системами для решения задач подготовки производства // Национальная Ассоциация Ученых. - 2015.- № 6-2 (11).- с.72-75.

5. Steffen Bangsow. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk / Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010. P–512.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В КОМБИНИРОВАННОМ ПРОЦЕССЕ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ

<sup>1</sup>Кадырметов Анвар Минирович, <sup>2</sup>Шарифуллин Саид Насибуллович,  
<sup>1</sup>Снятков Евгений Вячеславович, <sup>1</sup>Плахотин Александр Александрович,  
<sup>1</sup>Мандрыкин Игорь Александрович, <sup>1</sup>Романов Владислав Вячеславович

<sup>1</sup>Воронежский государственный лесотехнический университет имени  
Г.Ф. Морозова, Россия, e-mail: [kadyrmetov.a@mail.ru](mailto:kadyrmetov.a@mail.ru)

<sup>2</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия  
e-mail: [Saidchist@mail.ru](mailto:Saidchist@mail.ru)

**Аннотация.** Разработана методика моделирования распространения тепла в детали для способа нанесения плазменного покрытия в комбинации с электромеханической обработкой и охлаждением водяной струей. Показано, что водяное охлаждение существенно понижает температуру поверхности детали, и способствует образованию более прочного покрытия благодаря уменьшению внутренних напряжений в покрытии.

**Abstract.** The modeling method of heat extension in a detail in the combined process of plasma spraying coating with electromechanical treating and cooling by

water jet is worked out. It is shown that water cooling essentially decreases detail surface temperature and forms more strong coating thank to reduction of inner strains in the coating.

**Ключевые слова:** моделирование, тепловые процессы, деталь, плазменное покрытие.

### 1. Введение

Одним из эффективных методов восстановления поверхностей деталей является плазменное нанесение покрытий с сопутствующей электромеханической обкаткой роликом (рис.1) [1]. Однако в таком процессе детали могут перегреваться, а покрытия накапливать избыточные внутренние напряжения.

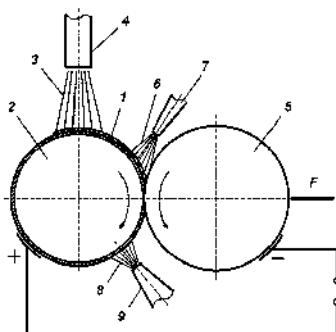
Моделирование распространения тепла при способе комбинированного нанесения покрытия для реальных форм деталей, нескольких сред и динамики нагрева является чрезвычайно сложной задачей [2, 3]. В данной работе разработана модель, основанная на базовых уравнениях классической термодинамики. При этом сложность задачи для учета всех внешних условий преодолевается использованием дискретизации пространства, алгоритмизации численными методами расчета на основе сеточных конечно-разностных методов и программирования [3-4].

### 2. Материалы и методы

В трехмерном случае распространение тепла описывается уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial}{\partial t} T(\vec{r}, t) = (\nabla, \chi(\vec{r}, t) \nabla T(\vec{r}, t)) + Q(\vec{r}, t), \quad (1)$$

где  $T(\vec{r}, t)$  – распределение температуры в пространстве и его изменение с течением времени;  $\vec{r}$  – радиус вектор исследуемой точки пространства;  $t$  – время;  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$  – дифференциальный оператор набла;  $x, y, z$  – декартовы координаты исследуемой точки пространства;  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы в декартовом пространстве;  $(, )$  – скалярное произведение;  $\chi(\vec{r}, t)$  – коэффициент температуропроводности вещества (в общем случае зависит от положения в пространстве и времени);  $Q(\vec{r}, t)$  – изменяющееся с течением времени тепловое поле от источников нагрева и охлаждения в данной схеме



1 – покрытие; 2 – деталь;  
3 – плазменная струя; 4 –  
платотрон; 5 – ролик; 6, 8 –  
охлаждающая струя; 7, 9 –  
форсунки;  
F – сила прижима ролика  
Рис. 1. Схема комбинированного  
нанесения покрытия

нанесения покрытия. Коэффициент температуропроводности может быть выражен через коэффициенты теплопроводности  $\kappa$ , теплоемкости  $c$  и плотность вещества  $\rho$  зависимостью  $\chi = \kappa / (c \cdot \rho)$  [3].

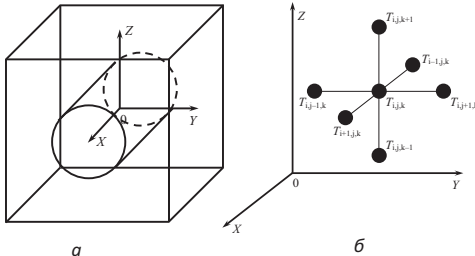


Рис. 2. Представление геометрической области вала в модели (а) и крестообразная схема учета соседних узлов при сеточном решении уравнения теплопроводности (б)

Для достаточно адекватной передачи в модели формы детали пространство, в котором производится моделирование, дискретизировано прямоугольной сеткой с шагом  $h = 1$  мм (рисунок 2, а). Протяженность пространства в каждом из трех пространственных направлений  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  составляет 100 ячеек сетки (соответствует размеру 100 мм). При этом общее количество ячеек составляет  $100^3 = 1000\ 000$ .

Сетка для решения уравнения теплопроводности имеет вид, представленный на рис. 2, б. Каждый узел сетки имеет шесть соседних узлов, от которых возможен прием либо передача. В конечно-разностной постановке задачи уравнение (1) преобразуется следующим образом. Для каждого узла  $(i, j, k)$  на каждом шаге интегрирования по времени температура  $T_{i,j,k}$  зависит от температуры соседних узлов следующим образом.

$$\frac{\Delta T_{i,j,k}}{\Delta t} = \chi_{i,j,k} \left( \frac{\Delta T_{i,j,k}}{(\Delta x)^2} + \frac{\Delta T_{i,j,k}}{(\Delta y)^2} + \frac{\Delta T_{i,j,k}}{(\Delta z)^2} \right) + Q_{i,j,k}. \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – шаг дискретизации по времени;  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = h$  – шаг дискретизации пространства;  $\chi$  – коэффициент температуропроводности;  $Q_{i,j,k}$  – поступление тепла от внешней среды к данной ячейке или отведение тепла от неё. Расписывая подробно конечные разности в (2) получим следующую окончательную формулу для теплового расчета [4].

$$\frac{T_{i,j,k}^{\tau+1} - T_{i,j,k}^{\tau}}{\Delta t} = \frac{\chi_{i,j,k}}{h} (T_{i+1,j,k}^{\tau} + T_{i-1,j,k}^{\tau} + T_{i,j+1,k}^{\tau} + T_{i,j-1,k}^{\tau} + T_{i,j,k+1}^{\tau} + T_{i,j,k-1}^{\tau} - 6 \cdot T_{i,j,k}^{\tau}) + Q_{i,j,k}. \quad (3)$$

Данная формула позволяет рассчитать температуру  $T_{i,j,k}^{\tau+1}$  каждой ячейки  $(i, j, k)$  для следующего шага интегрирования по времени  $\tau + 1$  на основе текущей температуры  $T_{i,j,k}^{\tau}$  текущего шага интегрирования  $\tau$ .

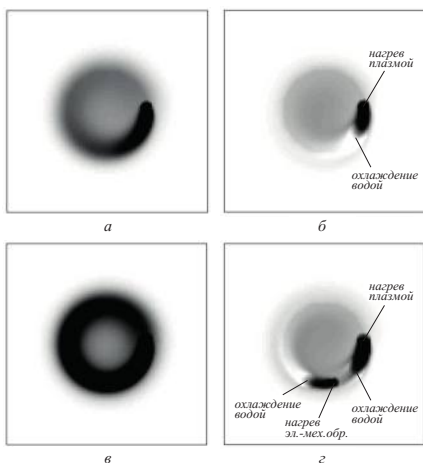
Задача распространения тепла решается для сред двух типов: металла вала ( $\chi = 0,25$  Вт/(м·К)) и газа, окружающего вал ( $\chi = 0,026$  Вт/(м·К)). В начальный момент времени все узлы сетки имеют одну и ту же, комнатную, температуру ( $T = 20^\circ\text{C}$ ). В отличие от реального процесса нанесения покрытия, в модели деталь является неподвижной, а пятна нагрева и охлаждения, представляющие систему нанесения покрытия, движутся вокруг детали в плоскости  $x = 0$ .

Программа моделирования тепловых процессов разработана на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7. Основные технические ограничения программы: шаг интегрирования

дифференциальных уравнений не более 0,01 с; максимальный размер куба дискретизации пространства не более 1 мм. Параметры компьютерной модели были близки к следующим реальным параметрам процесса нанесения покрытия: подложка – сталь; порошок ПН55Т45; диаметр частицы порошка (элемента модели) 10 мкм; эффективный радиус ролика 10 мм; характерная толщина одного слоя покрытия 50 мкм; скорость перемещения плазматрона и ролика относительно поверхности 1 см/с; расход порошка 10 мг/с; характерное давление ролика 100 МПа.

### 3. Результаты и обсуждения

С помощью разработанной модели были проведены пять компьютерных экспериментов для имитации основных вариантов работы системы плазменного напыления (рис.3). На картах распределения температуры уровень затемнения пропорционален температуре. Температура поверхности детали снижается от 600<sup>о</sup>С (рис. 3, а, в) до 200<sup>о</sup>С с охлаждением одной струей воды после пятна напыления (рис. 3, б) и до 150<sup>о</sup>С при охлаждении двумя струями воды (рис. 3, г). На рис. 4 приведен пример расчета профиля температуры.



а, в – без водяного охлаждения;  
б, г – с охлаждением вала одной или двумя  
водяными струями; а, б – без  
электрохимической обработки; в, г – с  
электрохимической обработкой

Рис. 3. Иллюстрация улучшения охлаждения поверхности детали: карты распределения температуры в поперечном сечении шейки коленчатого вала для случаев плазменного напыления

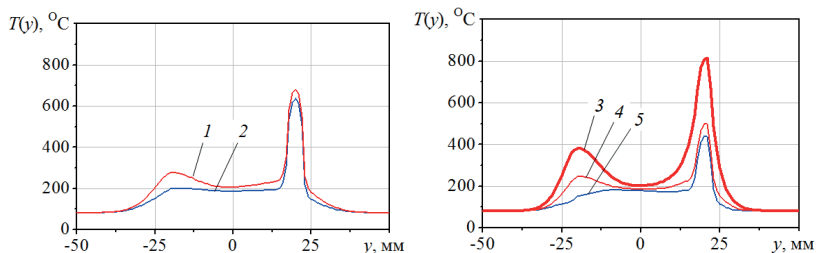


Рис. 4. Распределение температуры в поперечном сечении вала (в области "пятна нагрева плазмой") при плазменном нанесении покрытия без (а) и с дополнительной электрохимической обработкой (б): 1–5 – номер компьютерного эксперимента

Анализируя случаи нанесения покрытия без дополнительной электромеханической обработки (линии 1 и 2), можно сделать вывод, что охлаждение струей воды приводит к снижению средней температуры поверхности детали вдоль линии движения плазматрона на 50–200 °С. В случае проведения дополнительной электромеханической обработки при отсутствии водяного охлаждения средняя температура поверхности приблизительно на 200 °С выше, чем в случае отсутствия таковой. Использование двух струй водяного охлаждения позволяет поддерживать среднюю температуру детали на приемлемом уровне (около 150 °С). Анализируя профили кривых можно прийти к выводу, что каждая струя водяного охлаждения приводит к снижению средней температуры вдоль линии движения плазматрона приблизительно на 150–200 °С.

#### **4. Выводы**

Водяное охлаждение существенно понижает температуру поверхности детали, чем способствует образованию более прочного покрытия благодаря уменьшению внутренних напряжений в нём. В случае использования дополнительной электромеханической обработки поверхности целесообразно использовать две водяные струи охлаждения: до и после прохода обкатывающего ролика.

#### **Литература**

1. Пат. №2480533 Россия, МПК С23С 4/18, В24В 39/06, В23Н 9/00 Способ комбинированного упрочнения деталей [Текст] / Кадырметов А. М., Посметьев В. И., Посметьев, В. В., Никонов В. О., Сухочев Г. А., Мальцев А. Ф.; заявитель и патентообладатель ООО «Доступная робототехника». – № 2011140996/02; заявл. 11.10.2011; опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12. – 8 с.
2. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем: учебное пособие – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.
3. Полянин А. Д. Линейные задачи тепло- и массопереноса: Общие формулы и результаты // Теоретические основы химической технологии. –2000. Т. 34. - №6. - С. 563-574.
4. К проблеме неизотермического массопереноса в пористых средах / Н. Н. Гринчик, П. В. Акулич, П. С. Куц, Н. В. Павлюкевич, В. И. Терехов // Инженерно-физический журнал. 2003. - Т. 76. - №6. - С. 129-142.



## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С УЧЕТОМ НЕРАСЧЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Гуреев В.М., Болдырев С.В.

Набережночелнинский институт КФУ  
423810, РТ, г. Набережные Челны, пр-т Мира, д.13

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема поддержания энергоэффективности современных тепловых трансформаторов в непроектных условиях эксплуатации. Представлена статическая математическая модель, основанная на уравнениях теплового баланса и теплопередачи и модифицированная с точки зрения дополнительного учета влияния массового расхода наружного воздуха на теплопередачу в теплообменнике-конденсаторе. Предложен способ управления, сочетающий одновременное изменение производительности компрессора и массового расхода рабочей среды путем управления расширительным клапаном при сохранении соотношения давлений.

**Abstract.** The article describes the problem of maintaining the energy efficiency of modern heat transformers in off-design operating conditions. Static mathematical model based on the equations of heat balance and heat transfer and modified in terms of additional accounting for the effect of outside air mass flow on heat transfer in a heat exchanger-condenser are presented. a control method is proposed which combines a simultaneous change in the compressor capacity and the mass flow rate of the working medium by controlling the expansion valve while maintaining the pressure ratio.

**Ключевые слова:** математическая модель, пароконденсационная система охлаждения, конденсатор, испаритель, рабочий агент, компрессор

### Введение

Современные трансформаторы тепла широко применяются в нефтегазовой отрасли для ожижения природного газа, подогрева высоковязкой нефти при ее транспортировке по магистральным нефтепроводам и др. Между тем, их работа часто производится в режимах, отличных от расчетных, на основе которых производится определение параметров основных элементов установки.

Различают следующие методы регулирования производительности пароконденсационных систем охлаждения: изменение количества параллельно работающих агрегатов; реализация цикличности работы системы путем ее периодического включения/выключения при одновременной установке аккумулирующих сосудов; изменение производительности компрессора; изменение расхода рабочего агента путем регулирования расширительного устройства (дроссельного вентиля).

При использовании последних двух методов регулирования происходит изменение параметров работы конденсатора и испарителя, а именно температур конденсации и испарения и, как следствие, изменение тепловой производительности парокompрессионных систем охлаждения [1].

Процесс моделирования реального объекта трансформации теплоты является достаточно сложной задачей, однако ее можно упростить, рассматривая совокупность элементарных тепловых процессов, что позволит получить желаемые статические характеристики моделируемой системы на основании статических уравнений этих элементарных процессов [2].

### Статическая модель

Для более точного определения холодопроизводительности  $Q_{И}$  необходимо в математической статической модели учитывать разделение площади теплообменника-конденсатора, на зону  $F'_K$  конденсации (в которой непосредственно походит процесс конденсации хладагента) и зону  $F''$  охлаждения перегретого пара, поступающего после сжатия его компрессором. Таким образом, общая холодопроизводительность является суммой холодопроизводительности  $Q'_{И}(G_{Ком})$  от поверхности охлаждения в зоне конденсации и холодопроизводительности  $Q''_{И}(G_{Ком})$  от поверхности зоны охлаждения хладагента:

Рассматриваемая математическая статическая модель парокompрессионной систем охлаждения представляет собой модификацию статических моделей, полученных в работах [3, 4] в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{И} = Q'_{И} + Q''_{И} \\ Q'_{И} = k'_K \cdot F'_K \cdot \frac{q_{И}}{q_K} \cdot \left[ (T'_K - T'_B) - \frac{q'_K \cdot G_{Ком}}{2 \cdot G'_B \cdot c_{pB}} \right] \\ Q''_{И} = k''_K \cdot F''_K \cdot \frac{q_{И}}{q_K} \cdot \left[ (T''_K - T'_B) - \frac{q''_K \cdot G_{Ком}}{2 \cdot G''_B \cdot c_{pB}} \right] \\ G_B > 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $k'_K = f(\alpha_B(G_B); \alpha'_K)$  - коэффициент теплопередачи в зоне конденсации хладагента, Вт/м·К;  $k''_K = f(\alpha_B(G_B); \alpha''_K)$  - коэффициент теплопередачи в зоне охлаждения перегретого пара хладагента, Вт/м·К;  $G'$  и  $G''_B$  - соответственно массовые расходы охлаждающего воздуха в зоне конденсации хладагента и охлаждения перегретого пара хладагента.

Численное значение сложной функции  $k_K = f(\alpha_B(G_B))$  в статической модели (1) парокompрессионной системы охлаждения определяется с учетом конструктивных особенностей теплообменника-конденсатора, режима обтекания потоком охлаждающего воздуха пучка трубок в по соответствующим критериальным уравнениям. Для трубчатого теплообменника-конденсатора с оребренной поверхностью критериальные уравнения [4, 5] имеют следующий вид:

$$\alpha_B = C \cdot \frac{\lambda_{B,K}}{b} \cdot \left( \frac{v_{B,K} \cdot b}{v_{B,K}} \right)^n \cdot \left( \frac{b}{d_{K,H}} \right)^{0,54} \cdot \left( \frac{h}{b} \right)^{0,14} \cdot \Psi \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_z, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_c = (S1_K - d_{K,H} / S2_K - d_{K,H})^{0,2}$ ;  $\varepsilon_z$  – коэффициент, учитывающий количество вертикальных рядов в теплообменнике-конденсаторе;  $S1_K$  и  $S2_K$  – продольный и поперечный шаг трубок соответственно, м;  $\Psi = 1 - 0,058 \cdot \sqrt{2 \cdot \alpha / (\lambda_{ж} \cdot \delta)} \cdot h$  – коэффициент учитывающий неравномерность теплоотдачи по высоте ребра.

Для зоны для конденсации рабочего агента, согласно [8, 9] используются следующие критериальные уравнения (3 и 4):

$$\alpha_{ж}(t) = \left( \frac{\lambda_{ф}(t)}{d_{K,ВН}} \right) \cdot 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8}(t) \cdot \text{Pr}^n(t). \quad (3)$$

Среднее значение коэффициента теплоотдачи в зоне конденсации холодильного агента определяется уравнением:

$$\alpha_K(t) = \alpha_{ж}(t) \cdot \left( \frac{5}{9} + \frac{2,04}{\text{Pr}^{0,38}(t)} \right). \quad (4)$$

### Заключение

Таким образом, получена статическая математическая модель, позволяющая оценивать параметры производительности рассматриваемой пароконденсационной системы охлаждения: перепад давления в конденсаторе и испарителе, массовый расход рабочего агента, количество тепла  $Q_{и}$ , отведенного системой от охлаждаемого природного газа, коэффициент теплопередачи в конденсаторе  $k_K$  и площадь поверхности теплообмена  $F_K$  конденсатора, а также теплоотдачу наружному воздуху, как функцию и  $k_K = f(G_B)$  с учетом режимов их течения. За счет одновременного изменения производительности компрессора и регулирования расширительного устройства, степень повышения давления в системе остается постоянной, что позволяет обеспечить условие  $T_K = \text{const}$  и сохранить эффективность работы системы при меняющихся значениях массового расхода холодильного агента  $G_{Ком}$ .

### Литература

1. Соколов Е. Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
2. Оносовский В. В. Моделирование и оптимизация холодильных установок. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1990. – 208 с.
3. Карелин Д.Л., Гуреев В. М., Мулюкин В.Л. Моделирование системы охлаждения с парожидкостной компрессионной установкой // Вестник КГТУ им. Туполева. Казань: редакция журнала КНИТУ КАИ, 2015. № 5. С. 5-10
4. Karelin D.L., Boldyrev A.V., Boldyrev S.V. Math Modeling and Transient Characteristics Research of Vapor Compression Cooling System // AIP Conf. Proc. 2141, 050005 (2019). - pp. 1–3.

5. Е. Г. Дудников, В. С. Балакиреев, В. Н. Кривсунов и др. Построение математических моделей химико-технологических объектов. – М.: Химия, 1970. – 312 с.
6. В. В. Авчугов, Б. Я. Паюсте Задачник по процессам теплообмена. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
7. Л. М. Розенфельд, А. Г. Ткачев Холодильные машины и аппараты. – М.: ГИТЛ, 1960. – 666 с.
8. M. M. Shah, A general correlation for heat transfer during film condensation in tubes // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1974. – № 22(4). – С. 547–556.
9. V. V. Klimenko, A generalized correlation for two-phase forced flow heat transfer. // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1988. – № 31(3). – С. 541–552.

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НАСТИЛА С УЧЕТОМ НЕСОВЕРШЕНСТВ КРЕПЛЕНИЯ В ФИЗИЧЕСКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ**

Каюмов Рашит Абдулхакович, профессор, доктор физ-мат. наук  
Шмельёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКиИС  
[gn.shmelev@mail.ru](mailto:gn.shmelev@mail.ru)

Гимазетдинов Айваз Расимович, студент-магистрант  
[aivazaivaz1313@gmail.ru](mailto:aivazaivaz1313@gmail.ru)

Хайдаров Ленар Ильнурович, ассистент кафедры МКиИС

ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос о влиянии несовершенств крепления комбинированного фанерно-металлического настила на напряженно-деформированное состояние. Задача решается в физически и геометрически нелинейной постановке. Проведены численные исследования стержневых конструкций с учётом несовершенств крепления настилов, проверены полученные характеристики на соответствие нормативным требованиям. Путем рассмотрения различных величин зазоров между настилом и каркасом, оценено их влияние на напряженно-деформированное состояние настила и на перераспределение напряжений в каркасе конструкции.

**Abstract.** The article deals with the influence of imperfections of fastening of combined plywood-metal flooring on the stress-strain state. The problem is solved in a physically and geometrically nonlinear formulation. Numerical studies of rod structures taking into account imperfections of flooring fastening are carried out, the obtained characteristics are checked for compliance with regulatory requirements. By considering different values of gaps between the flooring and the frame, their influence on the stress-strain state of the flooring and on the redistribution of stresses in the frame of the structure is estimated.

**Ключевые слова.** Численное моделирование, крепление настила, напряжения, несовершенства.

**Введение.** Цель работы – исследование влияния геометрических несовершенств на действительную работу мобильных стержневых конструкций и разработка методики расчета таких конструкций с учётом несовершенств крепления настилов.

Крупные массовые мероприятия (спортивные, развлекательные и т.п.) требуют безопасной и качественной организация зрительного и сценического сектора, поэтому возникает потребность в быстровозводимых и мобильных, стержневых сооружениях. Для решения подобного рода задач удобно использовать систему модульных строительных конструкций Layher.

Для сооружений с массовым пребыванием людей предъявляются повышенные требования по обеспечению уровня безопасности. Возникает потребность в изучении действительной работы сооружения в целом, а также отдельных элементов.

Объектом исследования является сооружение сцены, которое было расположено на берегу р. Казанки и служило сценой для выступлений творческих коллективов и установки экрана и звукового оборудования для трансляции матчей.

Комбинированный фанерно – металлический настил, состоит из несущей стальной рамы, опорной поверхности из многослойной бакелизированной водостойкой фанеры и стальных ребер жесткости.

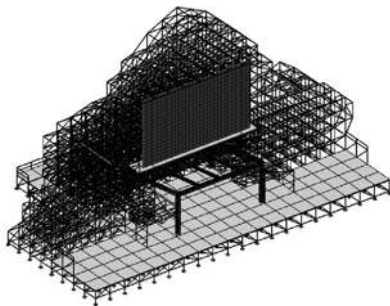


Рисунок 1– Пространственный вид расчетной модели сооружения сцены

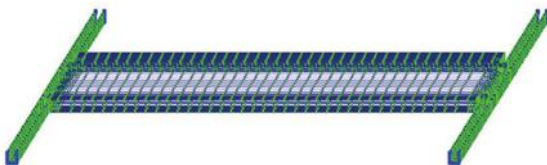


Рисунок 2–Расчетная модель настила

### Численные исследования

Численные исследования проводились в ПК «Лира-САПР». Конструкция настила моделировалась объемными конечными элементами в соответствии с конструкцией настила. Жесткости элементам выбирались в соответствии с материалом и геометрическими размерами поперечного сечения. Зазоры были смоделированы с помощью введения соответствующих конечных элементов.

Комбинированный фанерно-металлический настил в качестве горизонтального диска жесткости был смоделирован с учетом физической и геометрической нелинейности.

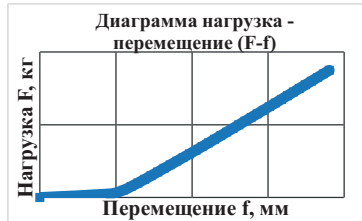


Рисунок 3 – Диаграмма нагрузка-перемещение

Результаты исследования влияния зазора в креплении настила показали, что при расчете настила с зазором эквивалентные напряжения в узле крепления уменьшаются на 8%, а в самом настиле увеличивается на 4%.

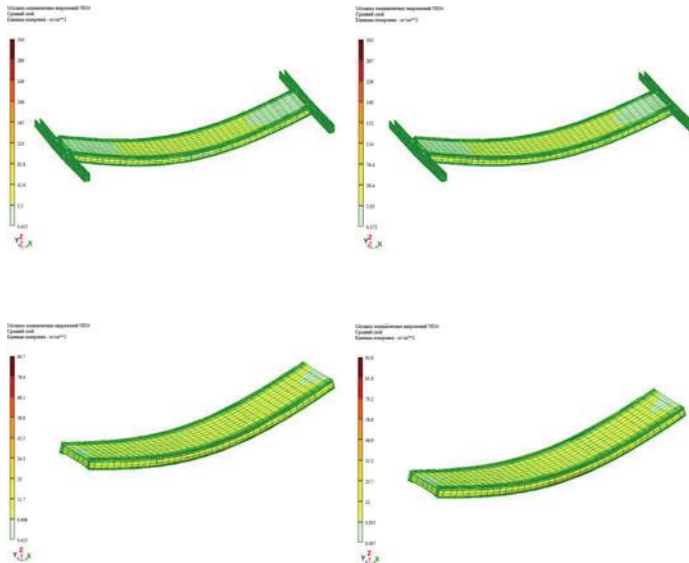


Рисунок 4 – Эквивалентные напряжения в узлах крепления и самом настиле при расчете с зазором и без зазора

**Выводы.** По результатам расчетов выявлено существенное изменение напряжений в элементах настила. Также предложена простая методика учета влияния несовершенств крепления на напряженно-деформированное состояние. Одним из важных факторов является наличие зазоров в соединениях. В связи с этим необходимо дополнительное исследование действительной работы сооружений из сборно-разборных стержневых систем с учетом зазоров в узлах соединения для корректного их моделирования и определения их напряженно-деформированного состояния.

#### Список литературы

1. Liu C, He L, Wu Z and Yuan J 2018 Experimental and numerical study on lateral stability of temporary structures Archives of civil and mechanical engineering 18 (Elsevier) p 1478-90
2. Peng J -L, Ho C -M, Chan S -L and Chen W -F 2017 Stability study on structural systems assembled by system scaffolds Journal of Constructional Steel Research 137 (Elsevier) p 135–51
3. Yuan X, Anumba C J and Parfitt M K 2016 Cyber-physical systems for temporary structure monitoring Automation in Construction 66 (Elsevier) p 1–14
4. Хайдаров Л.И., Шмелев Г.Н., Зиятдинов Э.К. Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу // Известия КГАСУ № 2 (40). –2017 – с. 139-145

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ

Кесель Б.А., АО «Уральский завод гражданской авиации» г. Екатеринбург  
(филиал в г. Казани) 420034, Россия, Татарстан, Казань, ул. Вахитова 10

Кесель Л.Г. Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, Россия, Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса 10

Смирнова А.С. Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, Россия, Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса 10

Ведерникова К.О. Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, Россия, Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса 10

**Аннотация:** В работе представлена математическая модель расчёта режимов электрогидравлической очистки деталей газотурбинных двигателей при ремонте в условия среды с переменной проводимостью.

**Abstract.** The paper presents mathematical model for calculating the modes of electrohydraulic cleaning of gas turbine engine parts during repair in an environment with variable conductivity.

**Ключевые слова:** Электрогидравлический эффект, эффект Юткина, ударная волна, эксплуатационные загрязнения, эксплуатационная наработка, межремонтный ресурс, электрическая проводимость рабочей среды.

**Key words:** Electrohydraulic effect, Yutkin effect, shock wave, operational pollution, operating time, overhaul re-SORS, electrical conductivity of the working environment.

При поступлении в ремонт на поверхностях деталей и в их внутренних полостях (при наличии) газотурбинных двигателей (ГТД) имеют место различного рода эксплуатационные загрязнения. Наиболее трудноудаляемые загрязнения: нагар на лопатках турбины, отложения во внутренних каналах охлаждаемых лопаток турбины и коксоотложения продуктов низкой термостабильности горюче-смазочных материалов (ГСМ) в топливоподводящих коллекторах камеры сгорания и маслосодержащих каналах трубопроводов, каналах маслоагрегатов и топливно- масляных радиаторов. Для удаления указанных загрязнений обычно используются многооперационные процессы очистки с достаточно большой трудоёмкостью. К числу таких процессов можно отнести, например, процесс удаления нагара с турбинных лопаток посредством выдержки в расплаве солей с последующей промывкой и последующей абразивно-жидкостной обработкой. Длительность процесса составляет в среднем 6-7 часов. Из общей трудоёмкости ремонта ГТД доля трудоёмкости процессов очистки деталей составляет 10-12%. Снижение трудоёмкости данных работ является достаточно актуальной задачей.

Цель работы – создание методики расчёта режимов обработки деталей ГТД, имеющих эксплуатационную наработку в эксплуатации, электрогидравлическим методом.

Математическая модель процесса электрогидравлической очистки лопаток ГТД, представленная в настоящей работе, разработана на основе системы уравнений, полученной Е.В.Кривицким в [1].

Указанная система уравнений имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1. U_0^{5/4} C^{1/4} L^{-3/8} I_{p.n.}^{-9/8} = 0.16 \sigma_{np} \\ 2. U_0 C^{1/4} L^{1/4} I_{p.n.}^{-1} = 8 \cdot 10^2 \\ 3. U_0^2 C L^0 I_{p.n.}^{-1} \left( \ln \frac{I_{p.n.} E_{kp}}{U_0} \right)^{-1} = 0.65 \cdot 10^8 (\pi d_3 I_3 + 10^{-3}) \sigma_{н.в.} \quad (1) \\ 4. U_0^{1/2} C^{1/2} L^0 I_{p.n.}^0 = 3 \cdot 10^{-7} d_3^2 \rho_3 I_3 \left( \frac{3C_1 T_{на} + \gamma_{на}}{k_B} + \gamma_u \right) \\ 5. U_0 C^0 L^0 I_{p.n.}^{-1} = 0,1 E_{к.р.} \end{array} \right.$$

где  $U_0$ -напряжение зарядки конденсаторной батареи, [В];  $C$  - емкость конденсаторной батареи, [Ф];  $L$  - индуктивность цепи, [Гн];  $I_{p.n.}$  - длина разрядного промежутка, [м];  $\sigma_{np}$  - напряжение разрушения материала детали,



[МПа];  $E_{кр}$  – критическая напряженность поля в разрядном промежутке, [в/м];  $d_s$  – диаметр электрода, [м];  $l_{э.}$  – длина неизолированной части электрода, [м];  $\sigma_{н.в.}$  – низковольтная проводимость рабочей среды, [ом м]<sup>-1</sup>;  $\rho_s$  – плотность материала электрода, [кг/м<sup>3</sup>];  $C_1$  – теплоемкость материала электрода, [дж/кг град];  $\gamma_{пл}$  – удельная теплота плавления материала электрода, [дж/кг];  $\gamma_u$  – удельная теплота испарения материала электрода, [дж/кг];  $k_b$  – коэффициент выброса материала электрода, [б/р].

Система уравнений (1) носит схематический характер и не может быть использована для решения поставленной задачи без соответствующего уточнения в части выбора прочностных характеристик материала обрабатываемой детали. В качестве параметра управления режимами процесса ЭГВ-очистки выбран параметр  $\sigma_{н.в.}$ . В физическом плане изменение величины  $\sigma_{н.в.}$  осуществлялось обработкой рабочей среды в электродиализаторе. Таким образом система уравнений (1) должна быть доработана по прочностным критериям. При электрогидравлической очистке происходит взаимодействие материала очищаемой детали и материала загрязнений с ударной волной рабочей среды. Ударная волна генерируется за счет высоковольтного электрического разряда в рабочей среде. В качестве рабочей среды используется вода.

Главным ограничением при взаимодействии ударной волны с обрабатываемой деталью является то, что уровень механических напряжений, создаваемых ударной волной в материале обрабатываемой детали не должен превышать значений предела текучести для данного материала, т.е. деформации в материале обрабатываемой детали должны быть упругими.

Условие пластичности, соответствующее границе областей упругих и пластических деформаций по Сен-Венану-Треска и по Мизесу

$$\sigma_x \cdot \sigma_y = \sigma_T \quad (2)$$

$$\sigma_y > \sigma_x \quad (3)$$

Предел Гюгонио – значение давления ударной волны при котором уровень напряжений достигает предельной величины упругих деформаций в условиях динамического напряжения:

$$P_T = \sigma_x \frac{(1-\nu)}{(1-2\nu)} \cdot \sigma_m \quad (4)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

$\sigma_T = \sigma_{0,2}$  – значение статического предела текучести для материала обрабатываемой детали без наработки.

$$\text{Из (4) следует } \sigma_{T \text{ дин}} = \frac{(1-\nu)}{(1-2\nu)} P_T \quad (5)$$

Разницу между статическим пределом текучести и динамическим пределом текучести принято оценивать коэффициентом динамичности:

$$K_D = \frac{\sigma_{0,2 \text{ дин}}}{\sigma_{0,2 \text{ ст}}} \quad (6)$$

В процессе эксплуатации значения  $\sigma_{0,2}$  для материала обрабатываемой детали снижаются и принимают значения  $\sigma_{0,2}^t$ . Изменение механических характеристик принято оценивать коэффициентом наработки:

$$K_D = \frac{\sigma_{0,2} \text{дин}}{\sigma_{0,2}^2} \quad (7)$$

С учетом (1) ÷ (7) в уравнении 1 системы (1) прочностной критерий, обеспечивающий прочность материала обрабатываемой детали можно записать в виде:

$$U^{5/4} C^{1/4} L^{-3/8} I^{-9/8} = 0,16 K_n \cdot K_D \sigma_{0,2} \quad (8)$$

Кроме прочностных условий в систему (1) необходимо внести условия изменения низковольтной проводимости рабочей среды за счет ее обработки в электролизаторе. С учётом ограничений объёма статьи

Выражая молярные концентрации  $H^+$  и  $OH^-$  в молярных долях выражение низковольтная проводимости примет вид

$$\sigma_{ин} = \frac{K(t)}{2000} \left( \sqrt{1 + \frac{4([C_{H^+}] + [C_{OH^-}])}{K(t)}} - 1 \right) (J^{H^+} \infty t + J^{OH^-} \infty t)$$

(9)

Окончательно, система уравнений, описывающая математическую модель процесса электрогидравлической очистки деталей с эксплуатационной наработкой может быть представлена в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1. U_0^{5/4} C^{1/4} L^{-3/8} I_{p.n.}^{-9/8} = 0,16 \cdot k_n \cdot k_g \cdot \sigma_{0,2} \\ 2. U_0 C^{1/4} L^{1/4} I_{p.n.}^{-1} = 8 \cdot 10^2 \\ 3. U_0^2 C L^0 I_{p.n.} (\ln \frac{I_{p.n.} E_{kp}}{U_0})^{-1} = 0,65 \cdot 10^8 (\pi d_s^2 I_s + 10^{-3}) \frac{K(t)}{2000} \left( \sqrt{1 + \frac{4([C_{H^+}] + [C_{OH^-}])}{K(t)}} - 1 \right) (J^{H^+} \infty t + J^{OH^-} \infty t) \\ 4. U_0^{1/2} C^{1/2} L^0 I_{p.n.}^0 = 3 \cdot 10^{-7} d_s^2 \rho_s J_s \left( \frac{3 C T_{nz} + \gamma_{nz}}{R_B} + \gamma_u \right) \\ 5. U_0 C^0 L^0 I_{p.n.}^{-1} = 0,1 E_{к.р.} \end{array} \right. \quad (10)$$

где  $k_n$  – коэффициент, учитывающий наработку детали

$k_n$  – коэффициент динамичности

$\sigma_{0,2}$  – статический предел текучести материала детали

$[C_{H^+}]$  и  $[C_{OH^-}]$  молярные концентрации соответствующих ионов, [моль/л].

Система уравнений (10) позволяет достаточно точно определить режимы обработки деталей ГТД с эксплуатационной наработкой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривицкий Е.В., Шамко В.В., Апостоли В.Л.//Электронная обработка материалов. – 1972. - №5 – с.48 – 50.
2. Гаманович В.И., Стрельцов В.А., Электрический разряд в жидкости и его применение. Сб.статей. Киев. Наукова думка, - 1977 – с. 55 – 60.

## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И ИХ ОБУЧЕНИЕ

Клочкова Наталья Сергеевна  
Аносов Максим Сергеевич

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
[klockovanatasha@gmail.com](mailto:klockovanatasha@gmail.com)

**Аннотация.** В статье идёт речь о таком понятии как нейронная сеть и её обучении. Простыми словами это система соединенных и взаимодействующих между собой искусственных нейронов. В свою очередь, эта система включает в себя две важные составляющие – нейроны и синапсы. Именно с их помощью происходит функционирование нейронной сети. Главная задача в работе с нейронными сетями состоит в их обучении. Компьютер обучается методом минимизации погрешностей и при этом ему необходимо большое количество информации. С помощью нейронных сетей в разы легче справиться с различными задачами, поэтому они имеют широкое применение и их актуальность только растёт.

The article shows a concept of neural network and its training. In simpler terms, this is a system of connected and interacting artificial neurons. In turn, this system includes two important components - neurons and synapses. This ensures that the functioning of the neural network occurs. The main task in working with neural networks is to train them. The computer learns by minimizing errors and at the same time it needs a large amount of information. It is a lot easier to cope with various tasks with the help of neural networks, that's why they are widely used and their relevance is growing.

**Ключевые слова:** нейронные сети, нейрон, синапс, обучение нейронной сети.

**Введение.** Научно-технический прогресс не стоит на месте. С каждым днем учёные придумывают и применяют новые технологии абсолютно во всех сферах жизни. Одним из таких новшеств стало создание нейронных сетей. Поэтому в данной статье я хочу рассказать о том, что это такое нейронные сети и как их обучают. Сперва начнем с самого определения.

Нейронные сети (искусственная нейронная сеть) — это система соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Они обычно довольно просты (особенно в сравнении с теми, которые используются в персональных компьютерах). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, либо посылает другим процессорам. И, тем не менее, будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, они вместе способны выполнять довольно сложные задачи. Благодаря такой структуре, машина обретает способность анализировать и запоминать различную информацию, а также воспроизводить ее из своей памяти [2].

Теперь, чтобы понять, как же работают нейронные сети, давайте взглянем на ее составляющие и их параметры [2].

Нейрон - это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Они делятся на три основных типа: входной, скрытый и выходной. В том случае, когда нейросеть состоит из большого количества нейронов, вводят термин слой. Соответственно, есть входной слой, который получает информацию,  $n$  скрытых слоев (обычно их не больше 3), которые ее обрабатывают и выходной слой, который выводит результат.

Синапс - это связь между двумя нейронами. У синапсов есть один параметр - вес. Благодаря ему, входная информация изменяется, когда передается от одного нейрона к другому. Допустим, есть 3 нейрона, которые передают информацию следующему. Тогда у нас есть 3 веса, соответствующие каждому из этих нейронов. У того нейрона, у которого вес будет больше, та информация и будет доминирующей в следующем нейроне. На самом деле, совокупность весов нейронной сети или матрица весов — это своеобразный мозг всей системы. Именно благодаря этим весам, входная информация обрабатывается и превращается в результат.

**Пример использования нейронной сети.** Искусственные нейронные сети используются для решения сложных задач, которые требуют аналитических вычислений подобных тем, что делает человеческий мозг [3]. Самым распространенным их применением является распознавание. Здесь задача состоит в том, что если компьютеру дать изображение, предположим, птицы, то он должен её определить как таковую. Для нашего мозга это простая задача, однако для компьютера несколько лет назад подобное было почти невозможно. Так что же происходит между пикселями между изображением птицы и словом «птица»? Фактически группа нейронов связана друг с другом в нейронной сети. Эта нейронная сеть в коре головного мозга могла бы быть биологической, но в наше время мы можем смоделировать такую сеть на компьютере. О пикселях на изображении можно думать как о первом слое нейронов – именно так происходит в глазу – это нейроны в сетчатке. А остальные связаны по цепи слой за слоем, их соединяют между собой синапсы различных весов. Поведение этой сети характеризуется силой данных синапсов. Они определяют вычислительные свойства сети. И в конце концов один или несколько нейронов загораются, говоря: «птица». Но чтобы этого добиться необходимо обучить нейронную сеть. Теперь давайте представим три вещи – входные пиксели, синапсы в нейронной сети и, как результат, птицу - при помощи трёх переменных:  $X$ ,  $W$  и  $Y$ . Существует миллион или около того  $X$  – пикселей в изображении. Миллиарды или триллионы  $W$  – представляющих веса всех синапсов в нейронной сети. И очень маленькое количество  $Y$  – значений на выходе сети. «Птица» же состоит всего из 5 букв. Для удобства можно составить простую формулу на основе этих трёх переменных:

$$X \llcorner W = Y \quad (1)$$

Знак умножения ставится в кавычки, потому что на самом деле там происходит очень сложная серия математических расчётов, в которые мы не будем углубляться. А вот о процессе нахождения  $W$  стоит поговорить. Будь это

простым уравнением, где мы думаем о неизвестных переменных, как о числах, мы бы знали, как это сделать:

$$6 = 2 \times W \quad (2)$$

То есть делим 6 на 2 и готово:

$$6 \div 2 = w \quad (3)$$

Но проблема именно в этом преобразовании – в делении. Мы использовали его здесь, так как оно обратное умножению, но, как было сказано, умножение здесь – это чрезвычайно сложная нелинейная операция, она не имеет обратного действия. И нужно найти способ решить это уравнение, без деления. И способ довольно простой: перенести 6 в правую часть уравнения:

$$0 = 2 \times w - 6 \quad (4)$$

Ноль, который получился с левой стороны принимается за отклонение. Другими словами, если мы посчитаем  $W$  правильно, то отклонение будет равно нулю. Теперь мы можем подбирать числа, чтобы минимизировать отклонение, а это как раз то, в чём компьютеры очень хороши. Сначала можно предположить: что если  $W=0$ ? Тогда отклонение равно 6. Если  $W=1$ , то отклонение равно -4. В результате компьютер подбирает числа, чтобы отклонение было близко или равно нулю. Обычно он не находит точного решения, но сделав с десяток шагов он приближается к истине:  $W=3$ . Это и есть процесс обучения. Теперь у нас есть готовые  $X$  и  $W$  для нахождения  $Y$ . Такая система может работать и в обратном направлении, т.е. мы знаем  $Y$  и  $W$ , а  $X$  - неизвестно. Другими словами, вы знаете, что это птица, и вашей нейронной сети это тоже известно. Но как же выглядит птица? Оказывается используя, ту же самую процедуру минимизации погрешностей, можно проделать это с нейронной сетью, обученной распознавать птиц, и в результате получается изображение птицы. Кроме метода распознавания существует другое применение для нейронных сетей, одними из которых являются:

1. Классификация — распределение данных по параметрам. Например, на вход дается набор людей и нужно решить, кому из них давать кредит, а кому нет. Эту работу может сделать нейронная сеть, анализируя такую информацию как: возраст, платежеспособность, кредитная история и т.д.

2. Предсказание — возможность предсказывать следующий шаг. Например, рост или падение акций, основываясь на ситуации на фондовом рынке.

**Применение нейронных сетей. Работы по разработке нейронных сетей.** Нейронные сети применяются в различных сферах деятельности [1]. На наш взгляд наименее исследованной областью в этом направлении является машиностроение. В связи с этим в НГТУ им. Р.Е. Алексеева активно ведется работа по разработке нейронных сетей по решению таких задач, как управление процессом стружкообразования при резании металлов, прогнозирования износа режущего инструмента и отдельных деталей и узлов оборудования. Также в настоящее время ведется работа по разработке цифровых двойников на основе подходов искусственного интеллекта, в частности моделирования с использованием нейронных сетей.

С использованием предложенного подхода [3] разрабатываются цифровые двойники отдельных единиц оборудования, инструмента и даже в целом машиностроительного предприятия.

В настоящее время идет также разработка нейронных сетей прогнозирования точности и шероховатости поверхностей деталей.

В целом же по схеме, показанной на рис. 1 может быть получен цифровой двойник любого исследуемого процесса. Данные для обучения нейронной сети (рис. 1) могут быть получены как в процессе предварительных экспериментальных исследований, так и в процессе функционирования объекта для повышения точности моделирования.

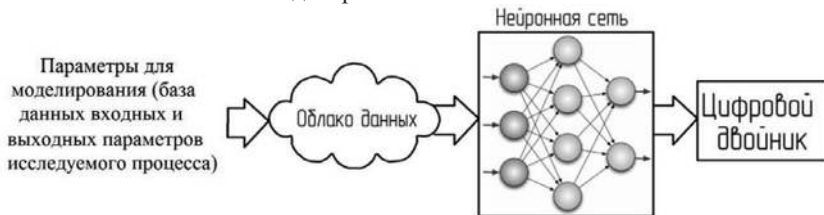


Рисунок 1. Схема разработки цифрового двойника

**Выводы.** Как видно из представленного обзора моделирование с использованием нейронных сетей развивается невероятными темпами, и не напрасно: благодаря их созданию и развитию многие сложные и трудоёмкие задачи стало решать проще и быстрее. Таким образом, нельзя преуменьшить актуальность и перспективность применения нейронных сетей в современном обществе.

### Список литературы

1. С.Г. Селиванов, С.Н. Поежалова, О.А. Бородкина, К.С. Кузнецова, Г.Ф. Габитова. Нейронные сети в АСТПП машиностроительного производства.
2. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с: ил. – (Прикладные информационные технологии).
3. Кабалдин, Ю.Г. Искусственный интеллект, интернет вещей, облачные технологии и цифровые двойники в современном механообрабатывающем производстве: монография / Ю. Г. Кабалдин [и др.]; под ред. Ю. Г. Кабалдина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексева. – Нижний Новгород, 2019. – 196с.
4. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP11/7/7 SP2+Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия «Библиотека профессионала» М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. 456 с.

## ОБ ОТСУТСТВИИ ЭФФЕКТА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ОТ НАНЕСЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЮ СО СТЕКЛОПЛАСТИКОМ PCT-250

Ключников Олег Романович

ООО «Олепластика», 420136, г. Казань, ул. Маршала Чуйкова 18 оф.44,  
Казанский национальный исследовательский технологический  
университет, г. Казань, ул. К. Маркса 68  
olegknitu@ya.ru

**Аннотация.** Показано отсутствие эффекта энергосбережения от нанесения дополнительного тонкопленочного покрытия на теплоизоляцию с плотным типом стеклопластика PCT-250.

**Abstract.** The lack of energy saving effect from applying additional thin film coating on insulation with a dense type of fiberglass PCT-250 is shown.

**Keywords:** Energy saving. Film. Fiberglass.

**Ключевые слова:** Энергосбережение. Пленка. Стеклопластик.

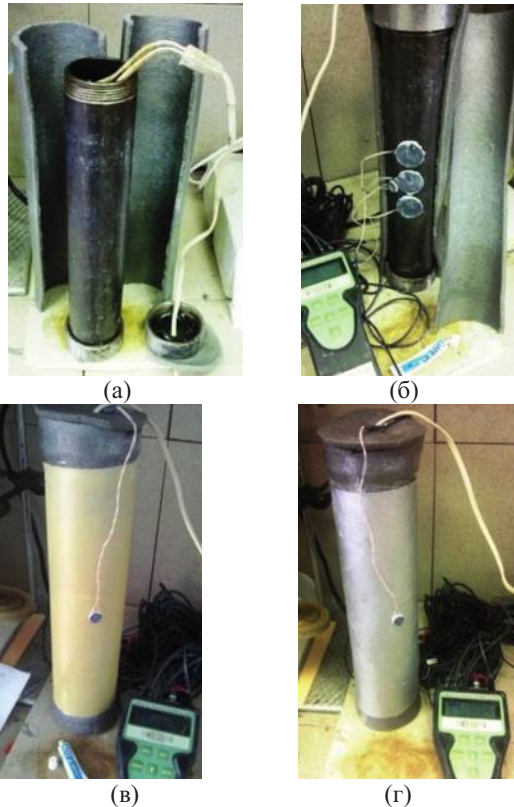
Ранее уже было известно [1] и вновь повторяются [2-5] утверждения об снижении тепловых потерь на 15-17 % от нанесения дополнительного слоя тонкопленочного резинового покрытия на теплоизоляцию типа стеклоткань-стекловата при использовании пористо стеклопластика PCT-140, используемого в основном для внутридомовых, подвальных тепловых сетей. Вместе с тем, наружные теплотрассы РФ используют более плотные и атмосферостойкие стеклопластики марок PCT-250...415. Соответственно, вновь декларируемый эффект энергосбережения в работах [2-5], основанный на испытании только пористого стеклопластика PCT-140, может ввести сетевые компании и организации ЖКХ в заблуждение и к финансовым потерям.

В связи с этим, были проведены дополнительные лабораторные исследования энергосберегающих свойств теплоизоляции на основе стеклопластика марки PCT-250 с резиновым покрытием и без него. Измерялись величины плотности тепловых потоков, сопротивления теплопередаче до и после нанесения тонкопленочного покрытия нанесенного на поверхность стеклопластика PCT-250, широко используемого в наружных тепловых сетях.

Значения плотности тепловых потоков и сопротивления теплопередаче ( $R$ ) определялись по методике ГОСТ 26254, при использовании модельного водяного термостата, с пенополиэтиленовой теплоизоляцией (с закрытыми порами) 5 мм., на поверхность которой накладывался стеклопластик PCT-250, применяемый для классических теплопроводов (стекловата – стеклоткань). Конструкция термостата-трубы показан на рисунке (а-г).

На поверхность стеклопластика PCT-250 кисточкой наносилось тонкое (0,2-0,3 мм) резиновое покрытие холодной вулканизации на основе раствора каучука СКЭПТ–ЭНБ в уайт-спирите, *n*-бензохинондиоксида и окислителя  $MnO_2$ .

Для измерения плотности телового потока использовался прибор ИТП-МГ4.03/Х(У) «ПОТОК», внесенный в реестр средств измерений в РФ.



*Рис. (а-г) Установка с водяным термостатом и прибором ИТП-МГ4.03/Х(У) «ПОТОК»*

где: (а) – водяной термостат- стальная труба с заглушками, источником теплоты- кипятильником 0,5 кВт и пенополиэтиленовой теплоизоляцией 5 мм.

(б) - установка трех датчиков теплового потока и датчика температуры в центре на внутренней стороне стального цилиндра;

(в) - установка в рабочем состоянии, стеклопластик не покрыт внешним слоем тонкого резинового покрытия, второй датчик температуры установлен на внешней поверхности теплоизоляционного материала;

(г)- установка в рабочем состоянии, стеклопластик покрыт внешним слоем тонкого резинового покрытия СКЭПТ-ЭНБ, второй датчик температуры установлен на внешней поверхности теплоизоляционного материала.

Измерения и запись величин плотности теплового потока проводились в течение суток с замером каждые 15 мин., по данным замеров рассчитывались



среднеарифметические значения величин сопротивления теплопередаче по формуле  $R_{cp} = (T_{вн} - T_{нар}) / q_{cp}$ , где:  $T_{вн}$  - температура на внутренней поверхности трубы- термостата;  $T_{нар}$  - температура на внешней поверхности исследуемого материала;  $q_{cp}$  - среднеарифметическое значение плотности тепловых потоков, полученных по данным трех датчиков.

Замеры величин плотности тепловых потоков позволили определить значения величин сопротивления теплопередаче многослойной теплоизолирующей конструкции до и после нанесения внешней пленки холодной вулканизации на основе СКЭПТ-ЭНБ. Данные замеров и средние значения сопротивления теплопередаче многослойной теплоизоляции при температуре теплоносителя (воды) 60 - 80 °С приведены в публикациях [6, 7] и таблице.

Таблица

Средние значения сопротивления теплопередаче многослойной теплоизоляции

Модельная многослойная теплоизоляция	Сопротивление теплопередаче, $R_{cp}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
Пенополиэтилен + стеклопластик РСТ-250 не покрытый пленкой	0,160
Пенополиэтилен + стеклопластик РСТ-250 с тонкопленочным отвержденным резиновым покрытием на основе СКЭПТ-ЭНБ	0,161

Как видно из таблицы, проведенные дополнительные исследования [6, 7] показали на отсутствие эффекта энергосбережения от дополнительного нанесения наружного тонкого резинового покрытия на стеклопластик марки РСТ-250.

Следует отметить и не решенную до настоящего времени проблему адгезии пленки СКЭПТ к стеклопластику. Нанесенное резиновое покрытие механически легко стирается с поверхности.

Таким образом, не следует ожидать эффекта энергосбережения при использовании дополнительного внешнего тонкопленочного покрытия в тепловых сетях со стеклопластиковыми плотными марок РСТ-250...415.

### Список литературы

1. Ключников О.Р., Закирова И.А. О влиянии тонкого резинового покрытия наружной изоляции трубопроводов тепловых сетей на изменение плотности тепловых потоков // Энергетика Татарстана. -2011. -№ 3. -С. 65-66.
2. Закирова И.А., Чичирова Н.Д. Экспериментальное определение эффективности тепловой изоляции тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий // Надежность и безопасность энергетики. -2017. -Т. 10. -№ 2. -С. 148–154.

3. Закирова И.А., Чичирова Н.Д. Совершенствование тепловой изоляции тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий // Труды Академэнерго. -2016. -№ 3. -С. 43–57.

4. Закирова И.А., Чичирова Н.Д. Исследование тепловых процессов в изоляции трубопроводов тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий // Теплоэнергетика. -2019. -№ 10. -С. 57–65

5. Закирова И.А. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Повышение эффективности энерготехнологических комплексов и систем теплоснабжения тонкопленочным покрытием тепловой изоляции трубопроводов», Казань, КГЭУ, 2019.

6. Ключников О.Р. Исследования теплофизических и эксплуатационных свойств, условий переработки исходного сырья в эластомерные композиционные материалы холодной вулканизации для промышленности, художественного творчества и быта // Отчет по контракту с фондом содействия предприятий в научно-технической сфере по программе СТАРТ-1 № 11881р/21596 от 13.05.2013. -Регистр. № НИОКТР 01201365796 от 04.07.2013. -Регистр. № ИКРБС АААА-Б16-216052070038-0 от 20.05.2016. -80 стр.

7. Ключников О.Р. С-Нитрозо-N-оксидные системы вулканизации: монография / Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2018. –С. 163-165.

## **КОНТРОЛЬ ДИАМЕТРАЛЬНОГО РАЗМЕРА ГРАНИЧНЫХ ТОЧЕК ПЕРЕХОДНОЙ КРИВОЙ ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКОГО СКАНИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОСОЗУБЫХ КОЛЕС**

Кондрашов А.Г. Сафаров Д.Т., Хафизов И.И.

НЧИ К(П)ФУ, 423812 г. Набережные Челны пр. Мира 68/19

В статье приведены рассмотрен метод определения диаметра граничных точек переходной кривой цилиндрических зубчатых колес. Нахождение показателя реализовано на данных 3D модели, полученной в результате сканирования изготовленных цилиндрических зубчатых колес. Применение метода позволяет использовать для нахождения размера более распространенные и значительно более дешевые, по сравнению со специализированными зубоизмерительными центрами, универсальные оптические сканирующие системы.

The article considers the method of determining the diameter of the boundary points of the transition curve of cylindrical gears. Finding the indicator is performed on the profiles of the 3D model obtained as a result of scanning manufactured cylindrical gears The application of the method allows you to use to find the size of the more common and much cheaper, compared with specialized tooth-measuring centers, universal optical scanning systems.

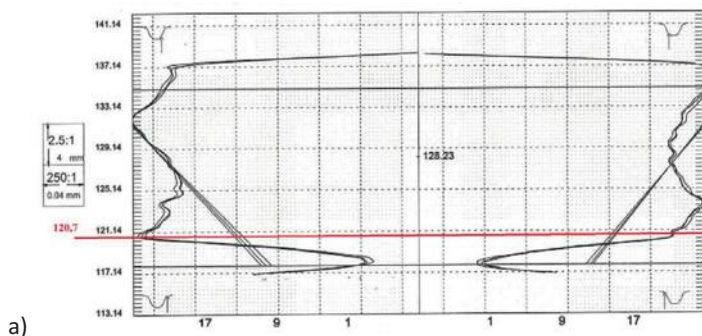
Обеспечение заданных параметров переходной кривой, в том числе размера граничных точек является важной задачей в условиях обеспечения

необходимого запаса прочности на изгиб. Увеличение диаметра граничных точек приводит к уменьшению длины активного профиля, в нагруженных передачах может приводить к увеличению удельной нагрузки на боковую поверхность, возникновению выкрашиваний контактирующих поверхностей.

Диаметр граничных точек обеспечивается за счет подбора параметров протуберанца червячной зуборезной фрезы и контролируется специальными зубоизмерительными измерительными центрами с ЧПУ.

На рисунке 1 приведен протокол измерений эвольвентного профиля боковых поверхностей зубьев зубчатого колеса. Программное обеспечение обрабатывающих центров не дает информации о действительном значении диаметра переходной кривой, причем данные профилограмм одной и той же шестерни, измеренные на измерительных центрах различных фирм производителей дают значительно отличающиеся значения (рисунок 1). О значении диаметра граничных точек судят по резкому срыву эвольвентного профиля в конечной точке эвольвентного профиля.

Альтернативным и более дешевым способом определения диаметра граничных точек является ее нахождение по данным сканирования зубчатого колеса оптической измерительной системой. Результатом сканирования является трехмерная модель цилиндрического колеса (рисунок 2 а). Для определения диаметра граничных точек зубчатое колесо рассекается по длине зубчатого колеса несколькими плоскостями, перпендикулярными его оси. Полученные сечения содержат набор точек с шагом 0,1...0,3 мм описывающих отверстие и зубья, которые в свою очередь представлены точками активного профиля и переходной кривой. Как видно по рисунку 1.3 (а) на сечении детали после зубофрезерования в нижней части зуба отчетливо выделяется активная часть зуба и переходная кривая и граница между ними может быть определена визуально.



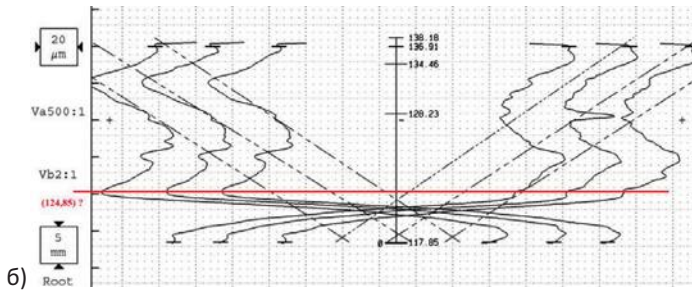


Рисунок 1 Диаграммы профиля шестерни после зубофрезерования (а – измерения на КИМ Gleason, б – измерения на КИМ Klingelberg)

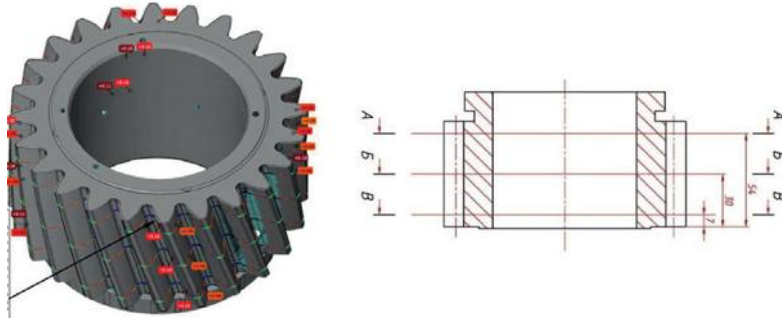


Рисунок 2. Результат сканирования шестерни после зубофрезерования а) 3D модель зубчатого колеса, б) сечения боковой поверхности сателлита.

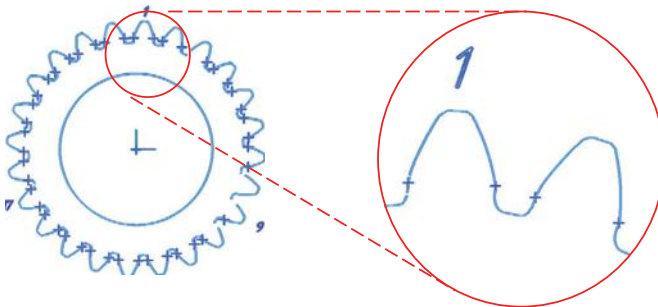


Рисунок 3. Граничные точки в сечении перпендикулярном оси на 3D-модели после зубофрезерования

Полученный после зубошлифовальной операции эвольвентный профиль плавно переходит в профиль переходной кривой, поэтому визуально

идентифицировать границу активной части зуба и переходной кривую не представляется возможным.

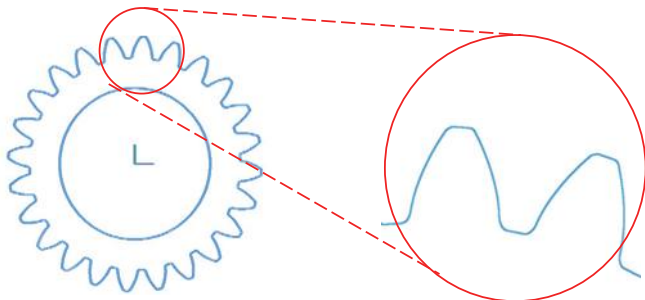


Рисунок 4. Граничные точки в сечении перпендикулярном оси на 3D-модели после зубошлифования.

В этом случае разработан алгоритм, позволяющий графическим методом надежно определить значение граничной точки.

1. Через 3 точки профиля строятся дуги окружности.
2. Определяется положение центра дуги.
3. При положении центра дуги со стороны тела зуба шестерни указанные точки относятся к активному профилю (сформированному шлифовальным кругом).
4. Выбираются следующие точки ниже по диаметру
5. Выполняется повтор п. 1-4
6. При положении центра дуги со стороны впадины зуба шестерни указанные точки относятся к переходной кривой (сформированной червячной фрезой). В качестве граничной точки выбирается одна из трех точек п. 6 с наибольшим диаметром.

На рисунке 5 приведены результаты графической обработки бокового профиля зубчатого колеса

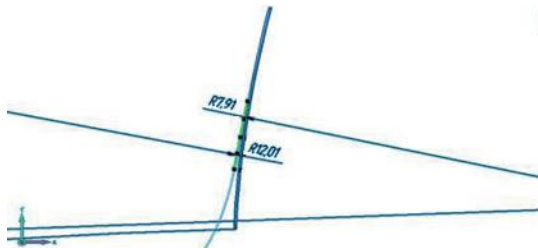


Рисунок 5 Графическая схема нахождения диаметра граничных точек в условиях невозможности ее визуального определения.

В таблице 1 приведены данные измерений граничных точек для трех зубьев венца. Сравнение данных измерений, полученных по результатам

оптического сканирования и специализированной зубоизмерительной машиной показал для зубофрезерной операции различие в пределах 0,1 мм, что допустимо для 6-7 степени точности зубчатых колес [1].

Таблица 1 Результаты определения размеров граничных точек методом оптического сканирования зубчатого колеса.

№ зуба	Левая сторона			Правая сторона		
	X	Y	D	X	Y	D
Зубофрезерование						
1	-1,308	60,135	120,299	9,380	59,715	120,895
9	31,192	-51,396	120,241	21,668	-56,317	120,683
17	-51,446	-31,207	120,342	-56,282	-21,642	120,600
Среднее			120,294			120,726
Мин			120,241			120,600
Макс			120,342			120,895
Зубошлифование:						
1	-1,435	58,990	118,015	9,325	58,293	118,069
9	52,032	-28,497	118,648	46,560	-37,625	119,724
17	-50,645	-30,822	118,573	-55,276	-21,116	118,344
Среднее			118,412			118,712
Мин			118,015			118,069
Макс			118,648			119,724

Таким образом, методика нахождения размера граничных точек по результатам сканирования шестерни позволяет уверенно определять диаметр и координаты положения граничной точки переходной кривой как по левой, так и по правой стороне профиля зубьев зубчатого колеса как для зубофрезерной, так и для зубошлифовальной операций.

### Литература

1. ГОСТ ISO 1328-1-2017 Передачи зубчатые цилиндрические. Система ISO. Классификация допусков на боковые поверхности зубьев. Часть 1. Определения и допускаемые значения отклонений на боковые поверхности зубьев зубчатого колеса / Москва Стандартинформ 2017 г. 42 с.

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ ОБЩЕЙ НОРМАЛИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОСОЗУБЫХ КОЛЕС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D ЩУПА ПЯТИКООРДИНАТНОГО СТАНКА С ЧПУ

Кондрашов А.Г. Сафаров Д.Т., Хафизов И.И.

НЧИ К(П)ФУ, 423812 г. Набережные Челны пр. Мира 68/19

В статье приведены математические модели, метода измерения ключевой показатель зубьев зубчатого венца длины общей нормали с использованием системы числового программного управления пятикоординатного станка с ЧПУ. Благодаря измерениям, без снятия обрабатываемой заготовки зубчатого колеса, повышается эффективность процесса наладки станка в процессе

мелкосерийной обработки зубчатых венцов, снижается вероятность возникновения наладочного брака.

The article presents mathematical models of the method of measuring the key indicator of the teeth of the toothed crown of the General normal using the numerical control system of the five-axis CNC machine. Due to measurements, without removing the workpiece gear, increases the efficiency of the process of setting up the machine in the process of small-scale processing of gears, reduces the likelihood of adjustment marriage.

В процессе зубофрезерования цилиндрических косозубых колес и валов универсальными дисковыми фрезами [1] для компенсации погрешностей станка, технологической оснастки и погрешностей процесса возникает необходимость во внесении коррекций в программу управления станочными модулями. Ключевым параметром, величину которого необходимо обеспечить после зубофрезерования является длина общей нормали (рисунок 4.1 а).

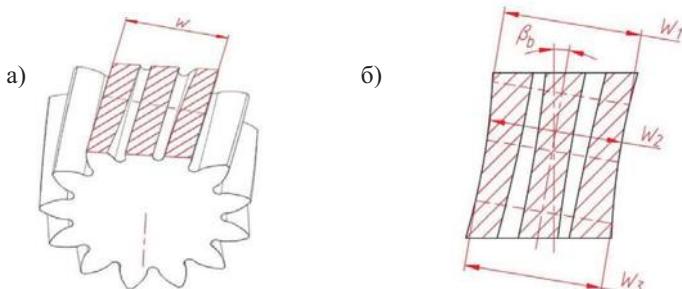


Рисунок 4.8 Формирование погрешности измерений длины общей нормали при измерении универсальным инструментом а) 3D модель зубчатого цилиндрического зубчатого колеса, б) сечение плоскостью, касательной к основному цилиндру, где  $W_2$  – искомый минимальный размер длины общей нормали,  $W_1$  и  $W_3$  – показатели длины общей нормали в крайних сечениях.

Процесс отладки станочной системы и программы выполняется в виде пробной обработки и измерения длины общей нормали имеющимся на рабочем месте универсальными средствами измерения. Полученный в результате измерений размер длины общей нормали используется для внесения коррекции в программу обработки заготовки следующего зубчатого колеса с целью либо увеличения, либо уменьшения толщины зубьев для достижения заданного припуска под шлифование боковых поверхностей на зубошлифовальной операции с ЧПУ.

В результате ошибочно найденного значения общей нормали возникают случаи недостаточного припуска под шлифование на боковых поверхностях последующих колес, в результате чего после шлифования невозможно обеспечить заданную толщину зуба по делительной окружности.

Причиной ошибочных измерений является обработка венцов зубчатого колеса при недостаточных перебегах инструмента, которая приводит к вогнутой форме профиля зуба. Вогнутая форма профиля зуба приводит к значительным

погрешностям измерений длины общей нормали универсальным инструментом. Схема образования погрешности показателя приведена на рисунке 1 б).

Увеличить перебег инструмента невозможно из-за габаритных ограничений обрабатываемых деталей и недостаточного диапазона перемещений суппортов станка. В состав станочной системы входит контактный датчик ф. Renishaw, который штатно используется для измерения геометрических параметров обрабатываемых элементов заготовок



Рисунок 2. Средства контактных измерений а) контактный датчик Renishaw, б) трехкоординатный индикатор MarTest 802 EW.

Использование этого датчика для измерения длины общей нормали затруднено отсутствием у наладчика исходных данных для определения координат подвода щупа к боковым поверхностям зубьев изготовленного колеса, а также сложностью программирования его перемещений штатными инструментами системы числового программного управления.

В такой ситуации необходимо рассмотреть возможные альтернативные варианты измерений длины общей нормали, применение которых лишено вышеприведенных ограничений.

Для измерения длины общей нормали необходимо разместить сферический наконечник индикатора касательно к боковым сторонам зубьев (рисунок 2 а). Центр наконечника при этом займет последовательные положения в точках 1 и 2, характеризующихся его касанием боковых сторон зубьев ограничивающих длину общей нормали  $W$  с припуском под последующую обработку  $\Delta S$ . При измерении в торцовом сечении рассчитывается торцовая длина общей нормали (с учетом припуска) по формуле:



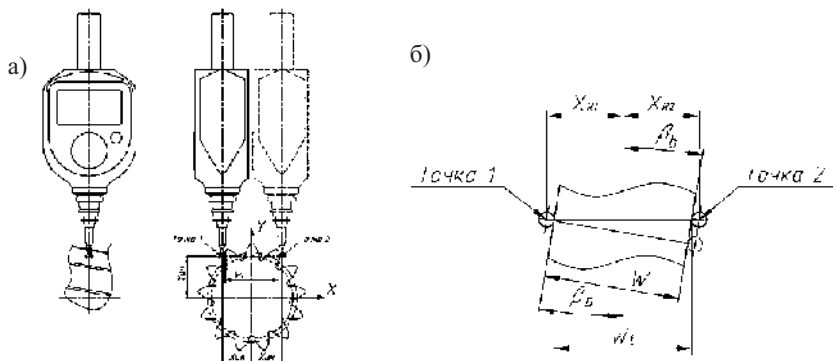


Рисунок 3. Схемы а) подвода контакта измерительного наконечника с поверхностями зубьев при измерении длины общей нормали, б) измерения показателя.

$$W_t = \frac{W + 2 \cdot \Delta S}{\cos \beta_b}$$

где  $W$  - длина общей нормали в нормальном сечении (без учета припуска),  
 $\Delta S$  - припуск по нормали к боковой поверхности зуба;  
 $\beta_b$  - угол наклона зубьев на основной окружности.

Теоретические координаты точек 1 и 2 рассчитываются по следующим зависимостям:

$$X_{цн} = \frac{W_t + d_n / \cos \beta_b}{2}$$

$$Y_{цн} = \frac{D_b}{2}$$

где  $d_n$  - диаметр сферического наконечника;

$D_b$  - диаметр основной окружности зубчатого колеса.

Учитывая тот факт, что отклонение размера длины общей нормали на обработанной детали может быть как положительным, так и отрицательным, координаты  $X$  точек подвода должны быть скорректированы на величину гарантированного перебега  $\Delta X = 0,1 \dots 0,3$  мм. С учетом этого координаты точек подвода вершины наконечника определяются следующим образом:

$$X_1 = -\frac{W_t + d_n / \cos \beta_b}{2} + \Delta X$$

$$Y_1 = \frac{D_b - d_n}{2}$$

$$X_2 = \frac{W_t + d_n / \cos \beta_b}{2} - \Delta X$$

$$Y_2 = \frac{D_b - d_n}{2}$$

Подвод наконечника в точки измерения обеспечивается по программе ЧПУ с условным остановом в них. Фиксация показаний индикатора в виде

отклонений  $\Delta R_1$  и  $\Delta R_2$  с последующим вводом в программный модуль зубообработки осуществляется наладчиком станка с ЧПУ.

Фактические координаты центра измерительного наконечника XR1 и XR2 (рисунок 3 б) будут зависеть от фактической величины длины общей нормали и могут быть определены по формулам:

$$\begin{aligned} X_{R1} &= X_1 + \Delta R_1 \\ X_{R2} &= X_2 + \Delta R_2 \end{aligned}$$

где  $\Delta R_1, \Delta R_2$  - показание индикатора в точках 1 и 2 соответственно.

Фактическое значение длины общей нормали в торцовом сечении  $W_t$  определяется по формуле:

$$W_{tr} = X_{R1} + X_{R2} - d_n / \cos \beta_b$$

Фактическое значение длины общей нормали в нормальном сечении  $W$  определяется по формуле:

$$W_R = (X_{R1} + X_{R2}) \cdot \cos \beta_b - d_n$$

Измеренные значения длины общей нормали используются для автоматизированной коррекции управляющей программы без использования корректоров системы ЧПУ.

Величина коррекции рассчитывается как разница расчетной длины общей нормали (с припуском) и ее фактического значения:

$$\Delta W_R = \frac{W_R - W}{2}$$

Найденное значение коррекции  $\Delta W_R$  вводится в программный продукт формирования управляющей программы пятикоординатного станка с ЧПУ.

Благодаря измерениям, без снятия обрабатываемой заготовки зубчатого колеса, повышается эффективность процесса наладки станка в процессе мелкосерийной обработки зубчатых венцов, снижается вероятность возникновения наладочного брака. Метод измерения отклонений обработанных элементов деталей с использованием системы с ЧПУ повышает эффективность диагностирования технического состояния узлов станка по методике, изложенной в [2].

### Литература

1. Повышение эффективности обработки зубчатых венцов косозубых зубчатых колес на этапе конструкторской подготовки производства / Материалы (МНТК «ИМТОМ–2018»). Ч. 1. – Казань, 2018. – с. 384-388
2. Метод диагностирования станочных систем по замерам показателей точности изготавливаемых деталей / сб. материалов (МНТК «ИМТОМ–2018»). Ч. 1. – Казань, 2018. – с. 308-311

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Кузьмина Ирина Александровна,  
Казанский федеральный университет,  
ул. Кремлевская, 18, Казань, Респ. Татарстан, 420008

**Аннотация.** В процессе обеспечения инновационного развития предприятий машиностроения в рамках концепции необходимо использование математических моделей, соответствующих технологиям машинного зрения, роботизированной техники, автоматизированных и интеллектуальных систем производства и управления на предприятиях. Математические модели роботизированной техники позволяют создать новое оборудование, усовершенствовать технологические процессы и системы организации производства.

In the process of ensuring the innovative development of machine-building enterprises within the framework of the concept, it is necessary to use mathematical models that correspond to machine vision technologies, robotic technology, automated and intelligent production and control systems at enterprises. Mathematical models of robotic technology allow us to create new equipment, improve technological processes and production organization systems.

**Ключевые слова:** математическая модель, моделирование, промышленное предприятие, машиностроение

Различные предприятия должны быть надёжны с точки зрения безопасности производства и эффективности своего функционирования. Необходимо строго соблюдение технологического процесса производства продукции, контроль и предотвращение внештатных ситуаций, стабильная работа оборудования. Эффективность функционирования предприятия предполагает стабильность работы предприятия и минимизацию рисков. Все это предполагает обязательность плана предупредительных ремонтов, которые позволяют проследить за ходом ремонтных работ, как плановых, так и внеочередных, а также обеспечить приоритетность выполнения тех, которые непосредственно связаны с безопасностью продукции. Помимо этого, на предприятии необходимы контроль входящих и выходящих потоков сырья, идентификация рисков, связанных с производством конкретного продукта, вероятность реализации данного риска и т.д.

Всего этого можно добиться опытным путём, но это потребует длительного времени и серьёзных затрат [1]. Время и затраты можно значительно сократить, если использовать для повышения эффективности функционирования производства приёмы математического моделирования.

В зависимости от типа решаемой задачи используются различные топологии (структуры) и типы нейронных сетей. Технологии машинного зрения на основе нейронных сетей широко применяются для диагностики и контроля качества в промышленности, в частности в машиностроении, и имеют массу преимуществ перед такими классическими моделями, как градиентные,

статистические, локальной адаптации, шаблонные и т.д. Ключевыми преимуществами нейронных сетей перед другими математическими моделями являются самообучение, отказоустойчивость и быстрота работы.

Используемые совместно с роботами системы машинного зрения позволяют существенно расширить спектр решаемых задач на производстве. Среди задач системы «зрение + робот» можно выделить перемещение продукции, загрузку / разгрузку, классификацию объектов, отбраковку изделий, инспекцию объектов со всех ракурсов. Преимуществами использования машинного зрения для роботов являются: управление роботом в процессе производства, точность работы, всесторонний контроль продукции, устранение необходимости покупать высокоточное оборудование, предотвращение случайных столкновений роботов, возможность обрабатывать различные объекты без сложной перенастройки и др.

Системы машинного (технического) зрения позволяют автоматизировать управление производственными процессами путем анализа визуальной информации и контроль выпускаемой продукции. Для создания изображений используются промышленные видеокамеры. Программное обеспечение систем машинного зрения проводит анализ увиденного и передает эту информацию оператору, автоматизированной системе управления, роботу или исполнительным механизмам для управления производственным процессом. Особенный эффект систем машинного зрения проявляется тогда, когда сложность, объем или скорость анализируемой информации существенно превышают способности оператора.

В процессе разработки и реализации таких систем широко используются методы стохастической геометрии, нейросетевые технологии, интерполяционные модели на регулярных решетках и др. [5].

Для решения различных задач в машиностроении чаще применяются роботы, мехатронные и робототехнические системы. Это связано с их растущими функциональными возможностями, обусловленными использованием более совершенных систем управления, развитие которых базируется на известных достижениях средств вычислительной техники.

На машиностроительных предприятиях в настоящее время широкое распространение получили автоматизированные системы производства и сборки деталей и машин, автоматизированные системы управления производственными процессами, которые по мере развития приобретают вид интеллектуальных производственных систем [2].

Математическая модель является основой функционирования данных элементов, а моделирование осуществляется с использованием компьютерной техники, т.к. требует значительных объемов вычислений [5].

Для моделирования интеллектуальных производственных систем используется широкий спектр математических моделей [3].

Для решения задач контроля качества, прослеживания движения продукции, контроля наличия объектов, измерения их геометрических размеров, сравнения с образцом, подсчета, идентификации и классификации объектов, отбраковки изделий, инспекции объектов с разных ракурсов,

высокоточных измерений элементов (например, заготовок или отдельных деталей) и т.д. в автоматизированных системах на производствах могут применяться модели стохастической геометрии, интерполяционные модели на регулярных решетках, методы кластерного анализа, модели искусственных нейронных сетей.

Результатами таких нововведений могут стать улучшение условий труда, рост качества продукции, сокращение потребности в рабочей силе и систематическое повышение прибыли предприятий машиностроения.

Наиболее перспективными для внедрения на предприятиях машиностроения являются модели искусственных нейронных сетей, что связано с широким спектром возможных решаемых задач, который включает моделирование машинного зрения, мехатронных и робототехнических систем, задач автоматизации производства, интеллектуальных производственных систем.

Необходимо отметить, что широкое и повсеместное распространение высоких технологий открыло доступ к огромным объемам информации. Поток данных постоянно растет. Но чем больше информации собирается, тем сложнее увидеть в ней тенденции и закономерности, скрытые от поверхностного взгляда. Важно в этих условиях иметь возможность быстро и своевременно находить полезную информацию и эффективно использовать ее. Повышения конкурентоспособности практически невозможно достигнуть случайным образом. Поэтому необходима совокупность методов и приемов, образующих инновационную систему управления конкурентоспособностью. Применение методов экономико-математического моделирования расширились благодаря современному программному обеспечению ПЭВМ [4].

Привлечение инновационных математических методов и моделей особенно актуально для совершенствования календарного планирования производственных процессов, например, при проектном методе организации производства. Эта задача связана с распределением ограниченных ресурсов по операциям проекта. Часто задачей оптимального распределения ресурсов в проекте (комплексе операций) называют задачу календарного планирования. Отметим, что такая задача относится к сложным многоэкстремальным или комбинаторным задачам оптимизации.

Особенности математических моделей промышленных производств зависят от особенностей структуры, состава и функционирования систем предприятия. Разработанные к настоящему времени модели и методы описания и анализа основных процессов на машиностроительных предприятиях охватывают различные инженерные, экономические и программные аспекты.

### **Литература**

1. Никоноров, Л. В. К вопросу повышения эффективности производственной деятельности промышленного предприятия / Л. В. Никоноров // Вестник Ленинградского государственного университета имени А. С. Пушкина. Серия Экономика. – 2012. Вып. 3. – С. 145-158.

2. Никоноров, Л. В. Моделирование управления деятельностью промышленного предприятия: монография / Л. В. Никоноров. – Норильск : Норильский индустр. ин-т, 2012. – 182 с.

3. Садовская Т.Г., Дроговоз П.А., Дадонов В.А., Мельников В.И. Применение математических методов и моделей в управлении организационно-экономическими факторами конкурентоспособности промышленного предприятия // Аудит и финансовый анализ. — 2009. — № 3. — С. 364 — 379.

4. Чернышев С.Л. Моделирование экономических систем и прогнозирование их развития: учебник. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. — 232 с.

5. Kuzmina I. The group of invertible elements of the algebra of quaternions / I. Kuzmina, M. Chodorová // Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Facultas rerum naturalium, Mathematica. - 2016. - V. 55. - №1. - P. 53-58.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ В НАКЛОННО-ГОФРИРОВАННЫХ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Мадышев Ильнур Наилович, Хафизова Алия Ильгизаровна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, Казань, ул. Карла Маркса, 68

**Аннотация:** в работе представлена конструкция наклонно-гофрированного контактного элемента. Для исследования тепломассообмена и гидрогазодинамики были проведены физические эксперименты, результаты которых были использованы для определения эффективности охлаждения оборотной воды в предлагаемой конструкции.

**Abstract:** the paper presents the design of the inclined-corrugated contact element. For the study of heat and mass exchange and hydrogas dynamics, physical experiments were conducted, the results of which were used to determine the cooling efficiency of recycled water in the proposed design.

**Ключевые слова:** тепломассообмен, градирня, эффективность охлаждения, блок насадки.

Для охлаждения оборотной воды промышленных предприятий используют градирни, наиболее компактными и эффективными среди них считаются испарительные вентиляторные градирни. Охлаждающим элементом такого типа градирен является ороситель, представляющий собой слой насадки, по которым движется жидкость, создавая поверхность контакта газовой и жидкой фазы. Различают огромное множество насадочных контактных устройств, наиболее известными из них являются кольца Рашига, кольца Паля, насадка «Инжехим» и другие. У каждой из них можно выделить ряд достоинств, например, у колец Рашига сравнительно не большое гидравлическое сопротивление, однако эта насадка обладает плохой смачиваемостью поверхности. Еще один недостаток у большинства насадок

выражается в сложности их очистки. Иногда насадки засоряются до такой степени, что единственным решением является их замена [1-3].

Для решения вышеперечисленных недостатков были разработаны и созданы насадки с наклонно-гофрированными контактными элементами, главным достоинством которых является простота в изготовлении и сборки конструкции. Также, можно выделить немаловажное преимущество среди существующих аналогов – самораспределение жидкости в объеме конструкции.

Предлагаемая конструкция представляет собой прямоугольную металлическую коробку, в которую устанавливаются под наклоном гофрированные пластины. Пластины располагаются относительно друг друга под углом 90°, образуя ступени. Жидкость в блок насадки поступает из боковой поверхности сверху между первой и второй ступенью.

Целью данной работы является оценка эффективности охлаждения оборотной воды в наклонно-гофрированных контактных элементах.

Для проверки эффективности работы предлагаемой конструкции была разработана экспериментальная установка, на которой проводился ряд исследований, наблюдалась гидрогазодинамика воздуха и воды в рабочей области конструкции. Тепломассообменный аппарат представляет собой 2 контактные ступени, общей высотой 340 мм. Контактной ступенью является два наклонных гофрированных элемента с отверстиями в верхних частях гофр диаметром 5 мм. Гофры имеют профиль полукруга диаметром 15 мм. Размеры исследуемого аппарата в поперечном сечении составляют 100x100 мм.

Экспериментальные исследования проводились на системе вода-воздух. Среднерасходная скорость потока охлаждающего воздуха (на полное сечение устройства) варьировалась в диапазоне 1,4–2,55 м/с; плотность орошения 12–37 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч; температура воздуха 23,3–28,3°С; температура горячей воды 37,1–43,8°С. Относительная влажность воздуха во время проведения эксперимента изменялась в пределах 49,7–57,2%.

КПД тепломассообменного аппарата при испарении воды определяется по известной формуле [4]:

$$E = \frac{x_k - x_0}{x_p - x_0} \quad (1)$$

где  $x_p$  – равновесное влагосодержание насыщенного воздуха, кг/кг;  $x_0$ ,  $x_k$  – влагосодержания насыщенного воздуха на входе в градирню и на выходе из нее, кг/кг.

При использовании данной формулы была выявлена зависимость между КПД тепломассообменного аппарата от соотношения массовых расходов жидкой и газовой фаз при различных плотностях орошения (рис. 1).

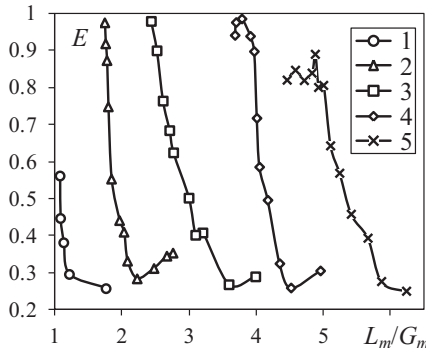


Рис. 1. Зависимость изменения КПД теплообменника от соотношения массовых расходов жидкой и газовой фаз при различных плотностях орошения  $q$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ : 1 – 12; 2 – 18; 3 – 24; 4 – 31; 5 – 37

Как видно из графика, значения КПД теплообменника изменяются достаточно быстро с изменением массовых расходов воздуха и воды, при этом, при различных плотностях орошения в определенный момент времени эффективность данного устройства достаточно высокая. Это связано с тем, что с увеличением расхода газа, часть воды вместе с потоком воздуха уносится вверх, ударяется об стенку и разбивается. Капли жидкости попадают на наклонные пластины, создавая постоянно обновляющуюся поверхность жидкости. Тем самым увеличивается поверхность контакта двух фаз и повышается эффективность тепло- и массообмена при охлаждении воды.

Вывод: проведенные экспериментальные исследования подтверждают эффективность разработанных наклонно-гофрированных контактных устройств. Дальнейшее исследование и модернизация данного устройства позволят повысить его пропускную способность.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-417.2019.8.*

### Список литературы

1. Фарахов Т.М., Башаров М.М., Шигапов И.М. Гидравлические характеристики новых высокоэффективных нерегулярных теплообменников насадок // Электронный научный журнал нефтегазовое дело, 2011. – № 2. – С. 192-207.
2. Лаптев А.Г. Контактные насадки промышленных теплообменников. – Казань: Отечество, 2013. – 454 с.
3. Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А. Устройство и расчет промышленных градирен: Монография. Казань, 2004. 180 с.
4. А. Фраас, М. Оциск. Расчет и конструирование теплообменников – М.: Книга по Требованию, 2012. – 358 с.



## СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Минуллин Ренат Гизатуллович, Минкин Ахметгарей Султанович,  
Касимов Василь Амирович, Филимонова Тамара Константиновна,  
Волченко Константин Михайлович, Кононцев Павел Викторович  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

**Аннотация.** Разработан и изготовлен испытательный стенд для локационного комплекса воздушных линий электропередачи.

**Abstract.** Designed and manufactured a test bench for a location complex of overhead power lines.

**Ключевые слова:** локационный комплекс (ЛК), воздушные линии электропередачи, испытательный стенд.

В рамках выполнения прикладных научных исследований по теме «Разработка и экспериментальная апробация технических решений по созданию высокочувствительных устройств защиты в виде универсального многофункционального локационного комплекса мониторинга воздушных линий электропередачи напряжением 35 – 750 кВ на переменном токе с определением места повреждения проводов и обнаружением гололеда на них в многоканальном варианте» разработан и создан испытательный стенд локационного комплекса мониторинга воздушных линий электропередачи. Экспериментальные образцы испытательного стенда изготовлены в количестве 2-х штук.

Испытательный стенд выполнен в виде настольного прибора, составные части стенда крепятся на корпусе, на лицевую панель выведены органы управления и индикации. Конструкция стенда соответствует основным эргономическим и эстетическим требованиям. Масса стенда не превышает 30 кг. Внешний вид испытательного стенда представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид испытательного стенда для испытания ЛК

Стенд имитирует реакцию ЛЭП длиной до 100 км на зондирующий сигнал при отсутствии повреждений и гололеда на проводах ЛЭП, а также при их наличии.

Стенд формирует выходной сигнал амплитудой в пределах от минус 100 до 100 В, а также сигнал на ЛК, имитирующий срабатывание аппаратуры релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Стенд регистрирует сигнал запрета на автоматическое повторное включение линии, обеспечивает измерение параметров импульсов зондирования, формируемых ЛК.

Работы по созданию стенда включали в себя разработку и обоснование схемных и конструкторских решений, разработку алгоритма функционирования и программного обеспечения, разработку и изготовление стенда.

Разработке алгоритма функционирования испытательного стенда предшествовал анализ технических характеристик и функциональных возможностей локационного комплекса, т.к. испытательный стенд предназначен для проведения исследовательских испытаний ЛК.

Разработка алгоритма функционирования испытательного стенда производилась специалистами ФГБУ ВО «КГЭУ»[1].

Алгоритм программы построен таким образом, что позволяет управлять стендом и выполнять несколько predetermined операций, которые были разработаны на основе алгоритмов функционирования ЛК. Все этапы операций выполняются только по команде пользователя.

Разработка ПО на испытательный стенд в объеме пользовательской (прикладной) программы «Испытательный стенд» была произведена специалистами ФГБУ ВО «КГЭУ». Разработанная программа устанавливается на ПК, удовлетворяющий системным требованиям. Основным необходимым требованием для функционирования является ПК с ОС Windows 7 SP1 и предустановленным набором библиотек Microsoft .NET Framework 4.6.1. Функционирование ПО тестировалось в следующих операционных системах (ОС): Microsoft Windows 7 SP1, Microsoft Windows 10.

Управление испытательным стендом осуществляется с помощью пользовательского программного обеспечения, загруженного в память промышленного компьютера MOXA V2403-C7-W-T, под управлением операционной системы семейства Windows.

Принцип работы испытательного стенда заключается в генерировании на выходе рефлектограмм, эталонных и рабочих [2]. Для их формирования предварительно на ПК загружаются в виде файлов реальные рефлектограммы, полученные на воздушных линиях действующих ЛЭП во время образования гололедных отложений на проводах, а также эталонные и рабочие рефлектограммы, имитирующие повреждения ЛЭП в виде обрывов и коротких замыканий, сгенерированные в программе PSCAD, на основе математической имитационной модели распространения локационного сигнала по проводам ЛЭП.

В состав приемно-передатчика входят нижеприведенные составные части:

– источник бесперебойного питания, U1, «CuberPower UTB50E», примененный с целью повышения надежности работы стенда при нестабильном напряжении сети питания;

– осциллограф цифровой, PO1, Picoscope 32030, позволяющий с высокой степенью точности воспроизвести загруженные на ПК рефлектограммы и передать их на вход усилителя мощности;

– модуль питания, состоящий из двух преобразователей напряжения. Один преобразователь, U3, RPS-200-48 формирует на выходе напряжение 48 В для питания усилителя мощности путем преобразования входного напряжения ~220 В от источника бесперебойного питания. Второй преобразователь напряжения, U2, «ПН-5W: 220; 5» из входного напряжения 48 В формирует = 220 В и +5 В. Напряжение 220 В подается через кнопку ДС на контакты разъема ДВ, напряжение +5 В поступает на осциллограф и светодиод СИГН.

– усилитель мощности А2, предназначенный для усиления рефлектограмм, передаваемых на ЛК.

– нагрузка 75 Ом 30Вт, обеспечивающая согласованный режим работы усилителя мощности.

Все радиоэлементы, входящие в состав испытательного стенда, имеют промышленное исполнение и диапазон рабочих температур от минус 40°С до + 80 С и, тем самым, не требуют активного охлаждения.

Испытательный стенд планируется использовать для проверки технических характеристик в процессе испытания ЛК при производстве и в условиях эксплуатации на обслуживаемых и необслуживаемых подстанциях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по Соглашению о предоставлении субсидии от 05.06.2019г. № ЭБ 075-15-2019-011, внутренний номер №14.574.21.0141. Уникальный идентификатор работ RFMEF157417X0141.*

### **Список литературы**

1. Пат. 190017 РФ, G01S13/02. Испытательный стенд для проведения испытаний локационного комплекса/Мустафин Р.Г., Минуллин Р.Г., Касимов В.А. Правообладатель ФГБОУ ВО «КГЭУ». - №2019104045; заявл. 13.02.2019; опубл. 17.06.2019; Бюл. №17.-1с.

2. Minullin, R.G. Reflectometry Method of Ice Detection on Wires of Overhead Transmission Lines / R.G. Minullin, V.A. Kasimov, T.K. Filimonova, R.M. Gazizullin, A.S. Minkin // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). – 2017. – Vol. 8, Is. 10. – P. 688–698.

## ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ СОСУДОВ НА ПРОЧНОСТЬ В МЕСТАХ СОЕДИНЕНИЯ ШТУЦЕРА С ТОНКОСТЕННОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Москалев Леонид Николаевич, Нгуен Ван Ань, Поникаров Сергей Иванович  
Кафедра «Машины и аппараты химических производств», «Казанский  
национальный исследовательский технологический университет»  
420015, г.Казань, ул. Карла Маркса, 68

## THE INFLUENCE OF NON-STATIONARY MODES OF VESSEL LOADING ON THE STRENGTH AT THE JUNCTION OF THE NOZZLE WITH A THIN-WALLED SHELL

Moskalev Leonid Nikolaevich, Nguyen Van An, Ponikarov Sergey Ivanovich  
Department "Machines and Apparatus of Chemical Production",  
"Kazan National Research Technological University"  
420015, Kazan, st. Karl Marx, 68

**Аннотация.** Существуют ГОСТы, ОСТы, различные методики позволяющие проводить расчет напряжений узлов соединения штуцера с обечайкой при постоянном нагружении по двум условиям, а именно влияния избыточного давления либо повышенной температуры. Однако особый интерес представляет нестационарное нагружение этих узлов совместным действием давления и повышенной температурой, распределенной неравномерно по конструкции. Такой сценарий возможен при резком пуске в аппарат горячей среды или попадание штуцерного узла в зону пожара, либо в струю горячей среды при аварии. В программном комплексе SolidWorks-COSMOS построена геометрия такого узла в сеточном образе для проведения численного эксперимента и предложена модель конечных элементов для определения напряжений. Это позволит спрогнозировать деформирование сжатие или растяжение места соединения штуцера с корпусом аппарата.

**Annotation.** There are state all-union standard, industry standard, various methods that allow calculating the stresses of the connection nodes of the nozzle with the shell under constant loading according to two conditions, namely the effect of excessive pressure or elevated temperature. However, of particular interest is the unsteady loading of these nodes by the combined action of pressure and an elevated temperature distributed unevenly over the structure. Such a scenario is possible with a sharp start in the apparatus of a hot environment or hit choke node in the fire zone, or in a stream of hot medium in an accident. The SolidWorks-COSMOS software package constructed the geometry of such a node in a grid image for conducting a numerical experiment and proposed a finite element model for determining stresses. This will allow predicting deformation of compression or tension of the junction of the fitting with the body of the apparatus.

**Ключевые слова:** соединение штуцера с обечайкой, нестационарное нагружение, деформации, температура, давление.

Оболочка в виде пересечения двух цилиндров находит применение практически во всех отраслях промышленности, в том числе химическая, нефтяная, газовая, энергетическая, хлорная и т.д. Таким образом, вопросы надежности и экономической рациональности по-разному влияют на толщину стенок оборудования, а соответственно и металлоемкость. Поэтому точное определение напряжений при нестационарных режимах нагружения в месте пересечения двух цилиндров, являющейся пространственной кривой – важная задача. Объектом исследования, в этой статье, является узел соединения штуцера с цилиндрической обечайкой (Рис.1) находящихся под давлением 2 МПа и температурой  $20 \div 400^\circ\text{C}$ .

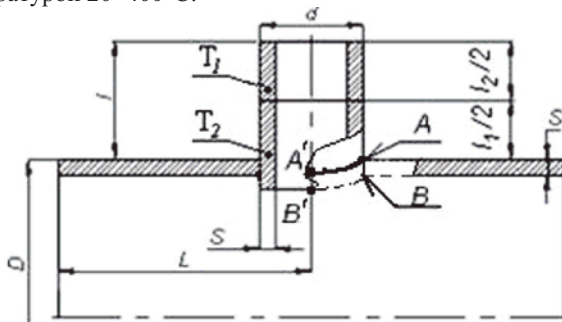


Рис.1 Геометрия узла соединения штуцера с обечайкой

Существует множество исследований и предложен метод конечных элементов определения напряжений в месте пересечения двух цилиндров, но только в условиях избыточного давления или температуры в аппарате при стационарном нагружении [1÷8]. Однако при резкой подаче в сосуд горячей среды, попадание штуцерного узла в зону пожара или либо в струю горячей среды, при аварии, происходит мгновенное нагружение рассматриваемое как нестационарный режим. А это может привести к дефектам различного характера [9÷12]. Таким образом, нестационарное нагружение этого узла под совместным действием давления и повышенной температуры, распределенной неравномерно по всей конструкции представляет собой особый интерес.

В программном комплексе SolidWorks-COSMOS реализован метод конечных элементов для определения напряженно деформированного состояния штуцерного узла, при изменениях диаметра обечайки, под действием нестационарного режима избыточного давления совместно с температурой. В этом комплексе штуцерное соединение преобразуем на аналогичный узел в сеточном образе, т.е. небольшие простые элементы объединенные в общие узловые точки. Для уменьшения времени счета, создаем сетку автоматически с размером каждой ячейки 2,5мм (Рис.2). Таким образом, сумма ячеек для первого приближения составляет 16314 штук. Далее размер ячейки уменьшим, что позволит найти максимально точное решение.



Рис.2 Сетка соединения штуцера с обечайкой

В качестве граничных условий задавались следующие параметры: начальная и конечная температуры рабочей среды, рабочее давление внутри аппарата, время анализа напряжений в узле (не более 5 минут), свойства металла.

Таким образом, основной задачей этого исследования, является анализ напряжений в месте соединения штуцера с обечайкой при изменении температуры газа и температуры  $T_1$  патрубка  $l_2/2$  (Рис.1).

В результате проведенных расчетов модели (Рис.2) было замечено, что в течении пяти минут температура на внутренней стороне стенки узла больше температуры внешней стороны стенки, а по истечении пяти минут температура двух сторон стенки становилась практически одинаковой [9].

Также было замечено:

1. В точке А (Рис.1) все напряжения аппарата с  $D=1000\text{мм}$  и  $T_1= 400^{\circ}\text{C}$  независимо от различных условий (температура и/или давление) имеют постоянные положительные значения, т.е. характер приложенной нагрузки – деформация растяжение;

2. В точке В (Рис.1) все напряжения аппарата с  $D=1000\text{мм}$  и  $T_1= 400^{\circ}\text{C}$  зависят от условий (температура и/или давление). При воздействии только температуры напряжения имеют отрицательные значения, что говорит о характере деформации – сжатие. А при воздействии только давления напряжения имеют положительные значения, которые значительно превышают напряжения полученные от температурных нагрузок, т.е. характер приложенной нагрузки – деформация растяжение. Однако при влиянии температуры + давление происходит суммирование всех возможных нагрузок. В результате будем иметь напряжения которые характеризуются деформацией – растяжение.

Таким образом, если сравнить напряжения возникающие от воздействия температуры + давление на внутреннюю и наружную поверхности, то можно сказать, что наружная поверхность испытывает напряжений больше, чем внутренняя поверхность ориентировочно на 29-30%.

### Литература

1. В.Н. Скопинский, Н.А. Берков, Н.В. Вожова, Машиностроение и инженерное образование, 51, 3 с. 50-57 (2011).

2. В.Н. Скопинский, Н.А. Берков, А.Б. Сметанкин, Машиностроение и инженерное образование, 47, 2 с. 34-45 (2007).
3. R. C. Gwaltney, J. M. Corum, S. E. Bolt, J. W. Bryson. Trans. ASME. J. Pres. Ves. Tech. 1976. , 98, 4, с. 283-290 (1976).
4. Barna A. Szabo, Daniel E. Muntges. J Appl Mech, 72, 6, с.907-915 (2005).
5. L. Xue, G. E. O. Widera, Z. Sang. J PRESS VESS-T ASME, 132, 3, с.031203-031210 (2010).
6. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
7. РД 26-18-8-89. Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. Основные типы, конструктивные типы и размеры.
8. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования
9. Москалев Л.Н. Компьютерное моделирование температурных напряжений в технологических сосудах в местах врезки штуцеров в SolidWorks / Л.Н. Москалев, Нгуен Ван Ань, С.И. Поникаров С.И., И.Н. Поникарова // Вестник технол. ун-та. – 2019 – Т. 22 – № 7 – С. 144–150.
10. Валеев С.И. Металлографический анализ металла оборудования длительное время находящегося в эксплуатации / С.И. Валеев, В.А. Булкин, Н.В. Пластинкин // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2018» (МНТК(«ИМТОМ-2018»): Материалы IX Международной научно-практической конференции.-Казань, 2018.-С. 19-21.
11. Гарифзянова, Л. Ф. Устройство и эксплуатация технологических трубопроводов установки переработки углеводородного сырья / Л. Ф. Гарифзянова, С. И. Валеев // Вестник технол. ун-та. – 2017 – Т. 20 – № 7 – С. 32–34.
12. Деградация свойств металла оборудования установки переработки углеводородного сырья длительное время находящегося в эксплуатации / А. Ларин [и др.] // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2014 – Т. 17 – № 20 – С. 257–258.

## **МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ЭПС**

Мукумов Алмаз Халитович, Сидорова Анжела Алексеевна,  
Павлов Павел Павлович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»

РТ, г. Казань, ул. Красносельская 51, корпус В.

В данной статье кратко описаны методы выявления основных неисправностей в работе тормозных механизмов электроподвижного состава городского электрического транспорта.

This article briefly describes the methods for identifying major malfunctions in the operation of brake mechanisms of electric rolling stock.

**Ключевые слова:** тяговый аккумулятор, диагностика, отказ, неисправность.

Неисправности тормозного оборудования электроподвижного состава городского электрического транспорта (ЭПС ГЭТ) могут привести к серьезным последствиям. Начиная от задержки поездов на перегонах и станциях, заканчивая угрозой жизни пассажиров.

Одними из основных методов выявления неисправностей грузовых вагонов при техническом обслуживании являются два способа:

1. Прохождение по торможению.
2. Прохождение по отпуску.

Прохождение по торможению.

При утечке сжатого воздуха через атмосферное отверстие в двухкамерном резервуаре воздухораспределителя возможен преждевременный отпуск тормоза. Необходимо отдельно проверить вагон на торможение и заменить главную часть воздухораспределителя. Воздухораспределитель (ВР) служит для управления наполнением тормозных цилиндров и зарядкой запасного резервуара.

При утечке сжатого воздуха через уплотнение крышки главной части необходимо затянуть болты крепления крышки, иначе, это может привести к самопроизвольному отпуску тормоза вагона.

Прохождение по отпуску.

При утечке сжатого воздуха через атмосферное отверстие в нижней части корпуса магистральной части воздухораспределителя и через атмосферное отверстие в двухкамерном резервуаре воздухораспределителя указывает на неисправность магистральной части воздухораспределителя – возможен износ уплотнения клапана дополнительной разрядки и атмосферного клапана или просадка их пружин. Магистральная часть воздухораспределителя служит для ускорения и поддержания незатухающей тормозной волны путем дополнительной разрядки тормозного механизма в начальной фазе торможения;

При этом, как и при утечке сжатого воздуха через отверстие на боковой стенке корпуса, необходимо заменить магистральную часть воздухораспределителя.

### Литература.

1. Лисичкин Э.А., Рудов П.К. Тормозные системы электроподвижного состава. Гомель, 2009. – 158 с.
2. Максимов, А. Н. Городской электротранспорт: Троллейбус / А. Н. Максимов. – М. : Академия, 2004. – 256 с.
3. Павлов П.П., Гараева А.Р., Истоппенников М.А. Перспективы развития тормозной техники подвижного состава. VII Международная НПК «Транспорт, наука, образование в XXI веке: опыт, перспективы, инновации». СамГУПС, Самара – Оренбург, 20-22 сентября 2017 г. С. 149-150.



4. Павлов П.П., Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э. Оценка влияния надежности элементов наземного городского электрического транспорта на его пропускную способность. Надежность и качество сложных систем. Организация и безопасность движения. Москва. 2017. №8. С.95-103.

5. Павлов П.П., Рамазанов Р.Р. Основные требования к тормозным системам подвижного состава. Региональная НИК «Молодежь – как импульс в техническом прогрессе». СамГУПС, Самара – Оренбург, 2013 г. С. 46-47

## МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Павлов Павел Павлович, Фандеев Владимир Петрович, Бутаков Валерий Михайлович, Хуснутдинов Азат Назпович, Никитин Вадим Николаевич  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
420061, г.Казань, ул.Красносельская, д.51, e-mail: khusnutdinov.an.kegu@mail.ru

**Аннотация:** Предлагается методика оптимизации состава диагностических параметров, основанная на сочетании эвристических алгоритмов с методом линейного целочисленного программирования. Методика нацелена на минимизацию затрат при создании диагностического обеспечения контроля работоспособности и поиска места отказа применительно к обслуживаемым и восстанавливаемым электронным приборам и аппаратуре энергетических систем.

**Abstract:** A technique is proposed for optimizing the composition of diagnostic parameters, based on a combination of heuristic algorithms with the linear integer programming method. The methodology is aimed at minimizing costs when creating diagnostic support for operability monitoring and finding a place of failure in relation to serviced and restored electronic devices and equipment of energy systems.

**Ключевые слова:** приборы и аппаратура энергетических систем, диагностическое обеспечение, комбинаторная оптимизация, метод Балаша.

Энергетические системы образуются совокупностью технических комплексов и систем. Безопасность и снижение затрат при эксплуатации технических комплексов и систем обеспечивается проведением различных мероприятий, в том числе определение технического состояния объекта, путем диагностирования и контроля его основных параметров. Эта задача решается определением состава контрольных точек, выбором оптимального состава диагностических параметров, средств диагностирования, разработкой алгоритмов и технологических процессов диагностирования. Для оптимизации состава параметров применяются методы комбинаторной оптимизации (сокращённого перебора) и эвристические (без перебора) алгоритмы [1-4].

Оптимизация состава параметров методами сокращённого перебора при большой мощности множеств видов технического состояния (далее - виды состояния) и параметров объекта может потребовать неприемлемых расходов вычислительных ресурсов (времени, памяти). Применение эвристических

алгоритмов оптимизации экономит вычислительные ресурсы, но не гарантирует получения экстремального значения целевой функции.

В статье предлагается методика сочетания метода линейного целочисленного программирования с бинарными переменными и эвристических алгоритмов оптимизации состава контролируемых параметров, нацеленная на минимизацию затрат при создании диагностического обеспечения контроля работоспособности и поиска места отказа применительно к обслуживаемым и восстанавливаемым электронным приборам, и аппаратуре энергетических систем.

Электронные приборы и аппаратура энергетических систем относятся к аналоговым и цифровым объектам диагностирования, для контроля работоспособности и поиска места отказа которых применяются преимущественно допусковые методы контроля параметров, в том числе методы исчерпывающего тестирования (счёт переходов и единиц, сигнатурный анализ) [1]. Объект диагностирования задаётся множеством видов состояния  $E$  и множеством параметров  $U$  с известными предельными значениями и затратами на диагностическое обеспечение. Состав параметров для контроля работоспособности и поиска места отказа обычно избыточный.

Задачу оптимизации избыточного состава параметров предлагается решать на основе единой диагностической модели непрерывных и цифровых электронных объектов, задающей бинарное отношение между видами состояния и альтернативными результатами контроля параметров, например, в форме двудольного орграфа:

$$G=(E,U_2,\varphi), \quad (1)$$

где  $G$  - обозначение орграфа;  $E$  - множество вершин, сопоставленных видам состояния;  $U_2$  - множество вершин, сопоставленных допустимым и недопустимым значениям параметров;  $\varphi$  - множество дуг, соединяющих вершины из множеств  $E$  и  $U_2$ .

Дугами орграфа задаётся бинарное отношение

$$\varphi: E \rightarrow U_2, \quad (2)$$

по которому каждому виду состояния сопоставляются альтернативные значения параметров. Если вид состояния  $E_i$  проявляется допустимым значением  $u_{j1}$  или недопустимым значением  $u_{j0}$  параметра, то соответствующие вершины орграфа (1) соединяются дугой.

Орграф (1) удовлетворяет следующим ограничениям:

$$\varphi^{-1}(u_{j0}) \cup \varphi^{-1}(u_{j1}) = E, \quad j=1, 2, m, \quad (3)$$

$$\varphi^{-1}(u_{j0}) \cap \varphi^{-1}(u_{j1}) = \emptyset, \quad j=1, 2, m, \quad (4)$$

$$\varphi(E_i) \neq \varphi(E_k), \quad i \neq k, \quad i, k=1, 2, n, \quad (5)$$

где  $\varphi^{-1}(u_0)$ ,  $\varphi^{-1}(u_1)$  - полные прообразы, а  $\varphi(E_i)$ ,  $\varphi(E_k)$  - образы соответствующих вершин;  $\emptyset$  - символ пустого множества;  $m$  - число параметров;  $n$  - число отказов.

Условия (3)-(5) означают, что для любого вида состояния известно значение каждого параметра, никакой вид состояния не проявляется

одновременно недопустимым и допустимым значением параметра, параметров достаточно для различения видов состояния попарно.

Формирование орграфа (1) осуществляется экспертными методами и на основе схемотехнического моделирования объекта. Размерность модели определяется мощностью множества видов состояния и параметров.

Условие (5) применительно к обнаружению отказа записывается следующим образом:

$$\varphi(E_0) \neq \varphi(E_i), i=1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

где  $\varphi(E_0)$ ,  $\varphi(E_i)$  - образ вершины, сопоставленной в орграфе (1) работоспособному состоянию и отказу соответственно.

Множества  $\varphi(E_i)$ , составляющие образы отказов различающихся с работоспособным состоянием, не пустые:

$$|\varphi(E_i)| > 0. \quad (7)$$

Выбор состава параметров для обнаружения отказов с минимальными затратами на диагностическое обеспечение контроля работоспособности объекта моделируемого орграфом (1) приводится к задаче линейного целочисленного программирования с бинарными переменными:

$$\min \sum_{j=1}^m c_j x_j, \quad (8)$$

$$\sum_{j \in S_i} x_j > 0, \quad (9)$$

где  $x_j$  - переменная, принимающая значение 1, если параметр  $u_j$  выбирается для обнаружения отказа и значение 0 в противном случае;  $c_j$  - затраты на диагностическое обеспечение контроля параметра  $u_j$ ;  $S_i$  - множество номеров параметров, недопустимыми значениями которых проявляется отказ  $E_i$ .

Ограничения (9) формируются на основе условий (7). Число ограничений равно числу отказов.

Задача линейного целочисленного программирования с бинарными переменными решается по аддитивному алгоритму с фильтром Балаша (*Balas*) [5, 6]. В качестве фильтра принимаются затраты на диагностическое обеспечение контроля параметров, выбираемых по эвристическому алгоритму исключения.

Множество параметров, достаточное для обнаружения отказа, формируется по эвристическому алгоритму исключением из орграфа (1) вершин сопоставленных параметрам с наибольшими затратами на диагностическое обеспечение, исключение которых не нарушает условия (7).

Параметры ранжируются в порядке убывания затрат на диагностическое обеспечение. Выбирается параметр с наибольшими затратами на диагностическое обеспечение. Проверяется выполнение условия (7) для всех отказов без учёта значений выбранного параметра. Если условия (7) выполняются, то вершина, сопоставленная этому параметру, исключается из орграфа (1). В случае невыполнения условий (7) или после исключения вершины из орграфа действия повторяются для очередного параметра.

Верхняя граница количества вычислительных операций исключения вершин из орграфа и проверки условий (7) оценивается по формуле

$$(n+1)m. \quad (10)$$

С увеличением числа отказов и параметров верхняя граница количества вычислений возрастает медленно и почти линейно [7,8].

Предлагаемая методика применима для оптимизации состава контролируемых параметров сочетанием эвристических алгоритмов исключения не только с методом Балаша, но и с другими методами математического программирования, например, с методом ветвей и границ.

Очевидная идея сочетания эвристического алгоритма с методом комбинаторной оптимизации, получившая количественное обоснование в статье, представляется одной из возможностей компромисса между требованиями уменьшения сложности и достижения оптимальности принятия решений. Небольшое увеличение вычислительных ресурсов в части реализации эвристического алгоритма принятия решения компенсируется значительным уменьшением вычислительных ресурсов в части достижения оптимального решения методом математического программирования. В итоге расходы вычислительных ресурсов на достижение оптимального решения существенно снижаются. Вместе с тем сочетание эвристического алгоритма с методом комбинаторной оптимизации только отчасти решает проблему экономии вычислительных ресурсов при оптимизации состава параметров. Оптимизация состава параметров объекта с большой, хотя и ограниченной по эвристическому алгоритму, мощностью множеств отказов и параметров достигается ценой больших затрат вычислительных ресурсов.

### Список литературы

1. Фандеев В.П. Технологии и средства анализа отказов восстанавливаемых электронных изделий приборостроения: монография. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. - 240 с.
2. Combinatorial optimization: algorithms and complexity / С.Н. Papadimitriou, К. Steiglitz. - Prentice-Hall INC Englewood Cliffs, New Jersey, 1985.
3. Фандеев В. П. Диагностирование, ремонт и техническое обслуживание систем управления бытовых машин и приборов: учебник/ Ж. А Романович, В. А. Скрябин, В. П. Фандеев, Б. В. Цыпин. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2016. - 316 с.
4. Фандеев В.П., Тутушкин В.И. Методический подход к выбору диагностических параметров для прогнозирования технического состояния электронных приборов и аппаратуры // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. - № 3. - 2011. - С. 124 - 131.
5. Balas E. An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables // Oper. Res/. - 1965. - V. 13, № 4. - P. 517-546.
6. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. - М.: Наука, 1987. - 248 с.

7. Фандеев В.П. Теоретические основы оптимизации обнаружения отказов и поиска места отказа приборов: учебное пособие. - Пенза: Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2006. - 60 с.

8. Khusnutdinov A.N. Training transport specialists based on a contemporary view of self-organization of sophisticated developing systems / A.N. Khusnutdinov, E.M. Khusnutdinova, G.R. Khamidullina, P.P. Pavlov, A.E. Aukhadeyev, and R.S. Litvinenko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 412 (2018) 012047, doi:10.1088/1757-899X/412/1/012047

## **МЕТОДИКА ИСЧЕРПЫВАЮЩЕГО ТЕСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ШИРОКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Павлов Павел Павлович, Фандеев Владимир Петрович,  
Хизбуллин Роберт Накибович, Хуснутдинов Азат Назпович  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
420061, г.Казань, ул.Красносельская, д.51. e-mail: khusnutdinov.an.kgue@mail.ru

**Аннотация:** Предлагается методика исчерпывающего тестирования цифровых устройств, основанная на вычислении и контроле двух или более характеристик бинарного сигнала в контрольной точке. Методика нацелена на повышение достоверности контроля работоспособности и локализации отказа цифровых устройств автоматизированных систем широкого назначения.

**Abstract:** A method of exhaustive testing of digital devices based on the calculation and control of two or more characteristics of a binary signal at a control point is proposed. The methodology is aimed at increasing the reliability of monitoring the operability and localization of the failure of digital devices of automated systems of wide designation.

**Ключевые слова:** Автоматизированные системы широкого назначения, цифровые устройства, контроль работоспособности, исчерпывающее тестирование, сигнатурный анализ.

Современные автоматизированные системы образуются совокупностью технических комплексов различного назначения и принципов действия (комплексы цифровых средств управления, контроля, диагностирования и др.) Результаты достоверного контроля и диагностирования обеспечивают принятие безошибочных решений по безопасной эксплуатации и экономии ресурсов при эксплуатации технических комплексов. Контроль и диагностирование осуществляется аппаратными и программными средствами, выбираемыми в зависимости от принципов действия, конструкции и классов отказов устройств в составе технического комплекса. Методы аппаратного контроля и диагностирования цифровых устройств, подверженных логическому отказу (далее отказ), основываются обычно на исчерпывающем тестировании.

Исчерпывающий тестовый контроль цифрового устройства методом сравнения бинарного сигнала в контрольной точке с допустимым бинарным сигналом гарантирует обнаружение отказа, но требует значительных затрат на

диагностическое обеспечение. Ограничение затрат на диагностическое обеспечение достигается, например, выбором в качестве контролируемых параметров числа переходов, числа единиц, сигнатуры сигнала в контрольной точке цифрового устройства [1]. Вместе с тем, контроль числа переходов, числа единиц, сигнатуры уступает методу сравнения сигналов вероятностью обнаружения отказа. Часть отказов, которая не обнаруживается контролем сигнатуры, может обнаруживаться при сочетании контроля сигнатуры и числа переходов или (и) единиц бинарных сигналов цифрового устройства [2].

Сигнал в контрольной точке цифрового устройства, подвергаемого исчерпывающему тестированию, принято моделировать многоразрядной двоичной последовательностью из единиц и нулей, которая, в свою очередь, отображается двоичным многочленом или булевой функцией [1, 3, 4]. Эти модели позволяют вычислять число переходов, единиц и сигнатуру сигнала.

Число различных двоичных последовательностей сигнала вычисляется по формуле

$$M=2^N=2^{2^n}, \quad (1)$$

где  $N$  - число разрядов двоичной последовательности;  $n$  - число бинарных входных сигналов (входов) цифрового устройства.

Работоспособному цифровому устройству соответствует единственная допустимая двоичная последовательность. Остальные двоичные последовательности соответствуют отказам цифрового устройства.

Вероятность не обнаружить отказ цифрового устройства методом контроля числа переходов или единиц при равновероятных двоичных последовательностях вычисляется по формуле

$$q = \frac{1}{M(M-1)} \sum_{k=0}^N C_N^k (C_N^k - 1) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi N}}, \quad (2)$$

где  $k$  - число переходов или единиц в двоичной последовательности;  $C_N^k$  - число комбинаций из  $N$  по  $k$ ;  $\pi \approx 3,14$ .

Двоичные последовательности работоспособного и отказавшего цифрового устройства отличаются чаще всего только в одном разряде (одиночный отказ). Вероятность не обнаружить одиночный отказ контролем числа переходов вычисляется по формуле

$$q_1 = \frac{N-1}{2N} \approx \frac{1}{2}. \quad (3)$$

Одиночный отказ обнаруживается контролем числа единиц. Действительно, при изменении 1 на 0 или 0 на 1 в одном разряде всегда изменяется число единиц в двоичной последовательности. Таким образом, контроль числа единиц имеет преимущество перед контролем числа переходов в части обнаружения одиночных отказов.

Двоичная последовательность отказавшего цифрового устройства может не отличаться от двоичной последовательности работоспособного цифрового устройства числом переходов, но отличаться числом единиц. Соответствующие отказы цифрового устройства не обнаруживаются контролем числа переходов, но обнаруживаются контролем числа единиц [2,5].

Вероятность не обнаружить отказ, проявляющийся  $N$ -разрядной двоичной последовательностью, содержащей  $k$  переходов и  $l$  единиц, вычисляется по теоретически обоснованной формуле

$$Q_{k,l}^N = \frac{C_N^k (C_N^k - 1)}{M(M-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{M_{k,l}^N - 1}{C_N^k - 1}, \quad (4)$$

где  $M_{k,l}^N$  - число  $N$ -разрядных двоичных последовательностей, содержащих  $l$  единиц, среди двоичных последовательностей, содержащих  $k$  переходов (таблица 1). Правильность формулы (4) подтверждается результатами вычислительного эксперимента с двоичными последовательностями.

Вероятность не обнаружить отказ при контроле числа переходов и числа единиц вычисляется по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^{N-1} Q_{k,l}^N. \quad (5)$$

С увеличением числа разрядов двоичной последовательности с четырёх до восьми вероятность не обнаружить отказ контролем числа переходов и единиц приближается к вероятности не обнаружить отказ контролем только числа переходов. Контроль числа переходов и единиц не обеспечивает существенного уменьшения вероятности не обнаружить отказ.

Вероятность не обнаружить отказ цифрового устройства методом контроля сигнатуры, вычисляемая по формуле

$$q_s = \frac{2^{N-m} - 1}{2^N - 1} \approx \frac{1}{2^m}, \quad (6)$$

где  $m$  - число разрядов регистра сигнатурного анализатора, многократно меньше вероятности не обнаружить отказ контролем числа переходов и единиц.

Существенное снижение вероятности не обнаружить отказ цифрового устройства достигается сочетанием контроля сигнатуры и числа единиц, т.к. двоичные последовательности сигналов работоспособного и отказавшего цифрового устройства могут не отличаться сигнатурой, но отличаться числом единиц [6,7].

Вероятность не обнаружить отказ, при сочетании методов контроля сигнатуры и числа единиц сигнала, вычисляется по теоретически обоснованным формулам для сигнатуры, содержащей единицу хотя бы в одном из разрядов (ненулевая сигнатура,  $s \neq 0$ ), и сигнатуры, содержащей нули во всех разрядах (нулевая сигнатура,  $s = 0$ ).

$$q_{l,s \neq 0} = \frac{1}{M-1} \left( \frac{N-1}{N/2} \sum_{c=1}^{l/2} C_{N/2}^{2c-1} C_{N/2}^{l-(2c-1)} - 1 \right), \quad (7)$$

$$q_{l,s=0} = \frac{1}{M-1} \left( C_N^l - \frac{N-1}{N/2} \sum_{c=1}^{l/2} C_{N/2}^{2c-1} C_{N/2}^{l-(2c-1)} - 1 \right), \quad (8)$$

где  $M$ ,  $N$  вычисляются по формуле (1);  $l$  - число единиц двоичной последовательности сигнала,  $l/2$  округляется до ближайшего целого числа при

нечётном числе;  $C$  - обозначение числа сочетаний;  $c$  - целочисленная переменная.

Приближённое значение вероятности не обнаружить отказ цифрового устройства вычисляется для ненулевой и нулевой сигнатуры по формуле

$$q_{l,s} \approx \frac{1}{M-1} \left[ \frac{(N-1)!}{l!(N-l)!} - 1 \right]. \quad (9)$$

Формулы (7)-(9) получены для числа разрядов регистра сигнатурного анализатора равному числу бинарных входных сигналов (входов) цифрового устройства. Вероятности (7)-(9) принимают максимальные значения при  $l=N/2$ . Правильность формул подтверждается результатами вычислительного эксперимента с двоичными последовательностями. Максимальная вероятность не обнаружить отказ сочетанием методов контроля сигнатуры и числа единиц существенно меньше вероятности не обнаружить отказ контролем только сигнатуры.

Решение об отказе цифрового устройства принимается при не совпадении сигнатуры сигнала с допустимой сигнатурой или числа единиц с допустимым числом единиц. Допустимая сигнатура и допустимое число единиц вычисляются или определяются экспериментально.

Возможность сочетания контроля сигнатуры и числа единиц сигнала для обнаружения отказа цифрового устройства, получившая обоснование в статье, представляется одной из возможностей компромисса между противоречивыми требованиями ограничивать затраты на диагностическое обеспечение и обнаруживать отказы с высокой вероятностью. Относительно небольшим увеличением затрат на диагностическое обеспечение в части контроля числа единиц сигнала достигается существенное снижение вероятности не обнаружить отказ цифрового устройства за счёт сочетания контроля сигнатуры и числа единиц. В итоге повышается безопасность эксплуатации и снижаются затраты на эксплуатацию технических комплексов.

### Список литературы

1. Willams G.B. Troubleshooting on microprocessor based system. - Pergamon Rress Ltd., 1984.
2. Диагностирование, ремонт и техническое обслуживание систем управления бытовых машин и приборов: учебник/ Ж.А Романович, В.А. Скрябин, В.П. Фандеев, Б.В. Цыпин. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. - 316 с.
3. Ярмолик В.Н. Анализ сигнатурной тестируемости цифровых схем // Автоматика и телемеханика. - 1989. - №10. - С.156-167.
4. Фандеев В.П. Технологии и средства анализа отказов восстанавливаемых электронных изделий приборостроения: монография. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. - 240 с.
5. Гордон Г, Надиг Х. Локализация неисправностей в микропроцессорных системах при помощи шестнадцатиричных ключевых кодов // Электроника. - 1977. - Том 50. - №5. - С.23-33.



6. Методическая достоверность сигнатурного анализа и повышение его эффективности / В.П. Фандеев, Вяч.П. Фандеев, П.П. Павлов // Новые информационные технологии в сложных системах: тез. докл. Междунар. конф. - СПб., 1995. - С.88.

7. Хуснутдинов А.Н., Рыбаков Р.Б., Аллямова Н.М. Применение итерационных методов при проектировании электрических машин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. - №1-2. – С.272 – 274.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Петров Сергей Михайлович, Давлетшина Галия Камилловна,  
Заиров Булат Фоатович

кафедра «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»

Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ  
423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, д.68/19.  
E-mail:kpfu.ktomp@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приводится имитационная модель обработки сложнопрофильной поверхности.

**Annotation.** The article presents a simulation model of processing complex surface.

**Ключевые слова:** координаты, инструмент, винтовое движение

**Keywords:** coordinate system, tool, helical motion.

Для описания процесса имитации обработки принимаются следующие декартовы системы координат: неподвижная система координат  $XYZ$ , связанная с заготовкой; подвижная система координат  $X_p Y_p Z_p$ , связанная с винтовой поверхностью; неподвижная система координат  $X_n Y_n Z_n$  – связанная с режущим инструментом (рис.1). Положение центра системы координат  $X_n Y_n Z_n$  относительно  $X_p Y_p Z_p$  определяется тремя параметрами: межосевым расстоянием  $A_w$ ; параметром  $B_w$ , с помощью которого рассчитывается смещение стола станка в направлении оси оправки инструмента для обеспечения необходимого значения переднего угла обрабатываемой поверхности; и параметром  $C_w$ , который в большинстве случаев принимается равным нулю (рис. 2).

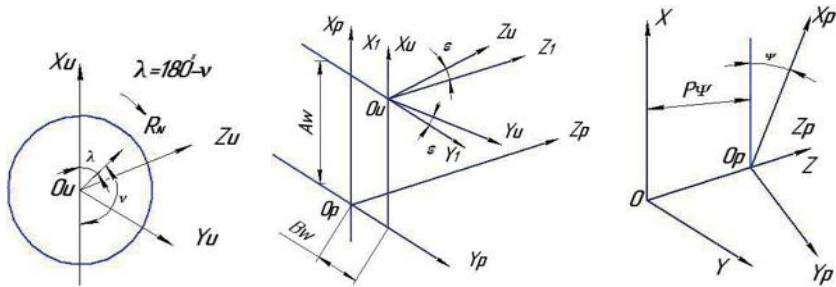


Рис. 1 Системы координат

Заготовка выполняет сложное винтовое движение с заданным параметром  $p$  (сумма вращения заготовки вокруг своей оси и движения продольной подачи).

Дисковый инструмент помещается в винтовую канавку, при этом ось вращения инструмента  $Z_n$  скрещивается с осью вращения детали под углом  $\varepsilon$ . Ось абсцисс  $X_n$  системы координат инструмента расположена параллельно оси  $X_p$  подвижной системы координат (рис. 1) и (рис. 2).

Найти связь между системами координат инструмента и винтовой поверхности можно с помощью матричных равенств соответственно для случаев обработки правой и левой винтовых канавок:

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & A_w \\ 0 & \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon & B_w \\ 0 & \sin \varepsilon & \cos \varepsilon & C_w \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & A_w \\ 0 & \cos \varepsilon & \sin \varepsilon & B_w \\ 0 & -\sin \varepsilon & \cos \varepsilon & C_w \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Раскрывая равенства (1), получаем систему уравнений, описывающих поверхность инструмента в подвижной системе координат заготовки:

$$\begin{cases} X_p = X_u + A_w; \\ Y_p = Y_u \cos \varepsilon - k Z_u \sin \varepsilon + B_w; \\ Z_p = k Y_u \sin \varepsilon + Z_u \cos \varepsilon + C_w, \end{cases} \quad (2)$$

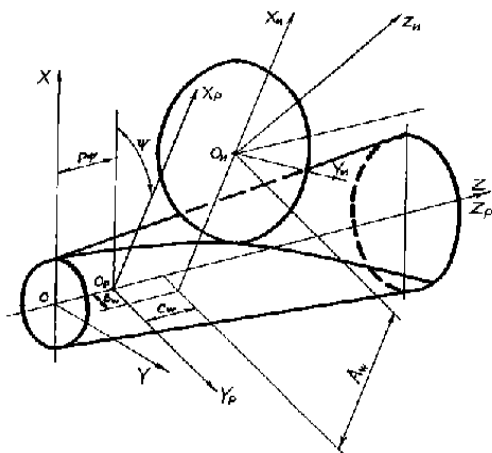


Рис. 2 Параметры установки инструмента и заготовки

где  $k$  – коэффициент, определяющий направление винтовой канавки (для правой  $k = 1$ , для левой  $k = -1$ ).

Для формирования винтовой поверхности изделия инструменту вместе с подвижной системой координат  $X_p Y_p Z_p$  сообщается винтовое движение относительно неподвижной системы координат заготовки  $XYZ$ . Связь между подвижной и неподвижной системами координат заготовки выражается следующими матричными равенствами:

$$\begin{cases} X \\ Y \\ Z \end{cases} = \begin{cases} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{cases} \cdot \begin{cases} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{cases} + \begin{cases} 0 \\ 0 \\ P\psi \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} X \\ Y \\ Z \end{cases} = \begin{cases} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{cases} \cdot \begin{cases} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{cases} + \begin{cases} 0 \\ 0 \\ P\psi \end{cases}.$$

Из равенств (3) выводится система уравнений, описывающих положение точек поверхности в системе координат детали:

$$\begin{cases} X = X_p \cos \psi - k Y_p \sin \psi; \\ Y = k X_p \sin \psi + Y_p \cos \psi; \\ Z = Z_p + P\psi, \end{cases} \quad (4)$$

где  $P$  – винтовой параметр;  $\psi$  – угол поворота при винтовом движении.

После подстановки в систему уравнений (4) значений  $X_p, Y_p, Z_p$  и  $X_{ii}, Y_{ii}, Z_{ii}$  выводятся формулы для перевода значений точек поверхности инструмента из системы координат инструмента в систему координат детали:

$$\begin{cases} X = (A_w - R_N \cos \nu) \cos \psi - k(R_N \sin \nu \cos \varepsilon - kZ_N \sin \varepsilon + B_w) \sin \psi; \\ Y = k(A_w - R_N \cos \nu) \sin \psi + (R_N \sin \nu \cos \varepsilon - kZ_N \sin \varepsilon + B_w) \cos \psi; \\ Z = kR_N \sin \nu \sin \varepsilon + Z_N \cos \varepsilon + C_w + P\psi. \end{cases} \quad (5)$$

Если предварительно задать положение плоскости сечения, в котором мы хотим определить профиль винтовой поверхности, через координату  $Z_S$  (получим торцовое сечение), то формулу для расчета угла  $\nu$  можно вывести из третьего уравнения системы уравнений (5)

$$\nu_N = \arcsin \left( \frac{Z_S - Z_N \cos \varepsilon - P\psi - C_w}{kR_N \sin \varepsilon} \right) \quad (6)$$

Находим координаты  $X$  и  $Y$  точек пересечения поверхности инструмента с плоскостью сечения, в котором необходимо определить профиль винтовой поверхности:

$$\begin{aligned} X &= A_a \cos \psi - kB_b \sin \psi; \\ Y &= kA_a \sin \psi + B_b \cos \psi; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} A_a &= A_w - R_N \cos \nu_N, \\ B_b &= R_N \sin \nu_N \cos \varepsilon - kZ_N \sin \varepsilon + B_w \end{aligned}$$

Для расчета профиля детали в процессе математической имитации пространственного взаимодействия инструмента и заготовки при обработке винтовой поверхности:

- в системе координат детали  $XYZ$  задается плоскость торцового сечения, в котором необходимо определить профиль винтовой поверхности;
- задавая винтовое движение через изменение угла поворота  $\psi$  подвижной системы координат  $X_p Y_p Z_p$  относительно оси вращения, получаем несколько положений инструмента по отношению к заготовке в определенные моменты времени;
- в каждом положении получаем образующую кривую пересечения поверхности инструмента с плоскостью сечения;
- так как пересечение инструмента в каждом положении рассматривается с одной и той же плоскостью, то образуется семейство кривых, лежащих в одной плоскости, то есть, получаем метод совмещенных сечений;
- к полученному семейству кривых необходимо найти огибающую, которая даст искомый профиль винтовой поверхности;
- если задать несколько сечений на относительно малом расстоянии друг от друга, то можно рассчитать пространственную модель винтовой поверхности.

### Литература

1. Гречишников В.А. Профилирование инструмента для обработки винтовой поверхности детали по методу совмещенных сечений: Учеб.пособие, М.,1979.
2. Компьютерный метод совмещенных сечений для определения профиля дискового инструмента, обрабатывающего винтовые поверхности деталей / В.А.Гречишников, Н.А.Чемборисов, И.Р.Ахметшин, А.Х.Низамов //

Технологические проблемы производства летательных аппаратов и двигателей: Тез.докл.науч.-техн.конф./ Казан.гос.техн.ун-т. Казань, 1993. 14с.

3. Компьютерная модель процесса обработки винтовой поверхности детали дисковым инструментом / Ф.С.Юнусов, Н.А.Чемборисов, С.М.Петров//Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н.Туполева/ Казань, 1996, №4, 13с.

УДК 536.2

## ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НА МНОГОКОМПОНЕНТНОМ ФРЕОНЕ В НЕРАСЧЕТНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Плешка Анна Витальевна

Набережночелнинский институт КФУ

423810, РТ, г. Набережные Челны, пр-кт Мира, д.13

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности построения статических характеристик пароконденсационной системы охлаждения на многокомпонентном фреоне при ее работе в области нерасчетных режимов R423A. Даются уравнения для статической математической модели пароконденсационной системы охлаждения (ПК СО), позволяющие рассчитывать статические характеристики ПК СО в зависимости регулирования массового расхода  $G_{\text{и}}$  хладагента, путем воздействия на дроссельный вентиль перед испарителем. Результат расчета показал увеличение разности между холодопроизводительностью  $Q'_{\text{и}}(G_{\text{и}})$  от поверхности нагрева в зоне испарения и холодопроизводительностью  $Q''_{\text{и}}(G_{\text{и}})$  от поверхности нагрева в зоне перегрева хладагента. Причем зависимость последней носит нелинейный характер.

**Abstract.** The article discusses the features of constructing the static characteristics of a vapor compression cooling system on a multicomponent freon during its operation in the field of off-design R423A modes. Equations are given for a static mathematical model of a vapor compression cooling system (VC CS), which allows calculating the static characteristics of VC CS depending on the regulation of the mass flow rate  $G_{\text{и}}$  of the refrigerant by acting on the throttle valve in front of the evaporator. The calculation result showed an increase in the difference between the refrigerating capacity  $Q'_{\text{и}}(G_{\text{и}})$  from the heating surface in the evaporation zone and the refrigerating capacity  $Q''_{\text{и}}(G_{\text{и}})$  from the heating surface in the overheating zone of the refrigerant. Moreover, the dependence of the latter is not linear in nature.

**Ключевые слова:** пароконденсационная система охлаждения, холодопроизводительность, испаритель, фреон, компрессор.

### ВВЕДЕНИЕ

Наибольшее распространение для искусственного охлаждения в области умеренного холода получили пароконденсационные холодильные машины [1]. Применение в холодильной технике однокомпонентных рабочих веществ

осложняется необходимостью одновременного сочетания высоких теплофизических и экологических показателей, в связи с этим стали применяться смеси однокомпонентных веществ, в частности, неazeотропные хладагенты. Эти вещества обладают такими преимуществами, что при циркуляции рабочего тела по контуру холодильной системы происходит изменение его состава, которое может привести к возрастанию холодопроизводительности и холодильного коэффициента по сравнению с характеристиками для чистых хладагентов [2]. Вместе с тем при проектировании парокompрессионных систем охлаждения, работающих на этих смесях, необходимо учитывать изменение их холодопроизводительности при регулировании.

Кроме того, при отсутствии управляющих воздействий система может перейти на новый режим работы с возможным ухудшением характеристик, что обуславливает необходимость автоматического регулирования [3]. Например, в следствии неравномерности нагрузки систем, работа системы может перейти на режимы, отличные от расчетных. Таким образом, для регулирования производительности установок существуют следующие методы: изменение расхода рабочего агента в установке; изменение производительности компрессора, чаще всего путем изменения частоты вращения; изменение длительности работы установки, а именно путем ее включения и выключения; изменение количества одновременно работающих агрегатов.

Изменение расхода рабочего агента в установке производится воздействием на дроссельный вентиль перед испарителем. При данном методе снижение расхода рабочего агента, а также производительности установки, сопровождается понижением температуры испарения. Это объясняется тем, что уменьшение подачи агента приводит к падению давления в испарителе.

## МЕТОД

Оценка холодопроизводительности  $Q_{II}$  в зависимости от массового расхода  $G_{II}$  хладагента была выполнена с использованием интерполяции данных из таблиц термодинамических свойств [4] для фреона R423A.

Статическая математическая модель для исследования составлялась по аналогии с работами [5, 6].

Для определения холодопроизводительности  $Q_{II}$  необходимо было учитывать, что она являлась суммой холодопроизводительности  $Q'_u(G_u)$  от поверхности нагрева в зоне испарения и холодопроизводительности  $Q''_u(G_u)$  от поверхности нагрева в зоне перегрева хладагента:

$$Q_u(G_u) = Q'_u(G_u) + Q''_u(G_u) \quad (1)$$

В свою очередь холодопроизводительность  $Q'_u(G_u)$  от поверхности нагрева в зоне испарения определялась следующим уравнением:

$$Q'_u(G_u) = G_u \cdot (i_1 - i_4), \quad (2)$$

а холодопроизводительность  $Q''_u(G_u)$  от поверхности нагрева в зоне перегрева хладагента, уравнением:

$$Q''_u(G_u) = \varepsilon'' \cdot (Cp_1 - Cp_2) \cdot G_u \cdot (T'' - T'_u), \quad (3)$$

где в уравнениях (2) и (3) соответственно  $\varepsilon'$  - безразмерная тепловая нагрузка зоны испарения;  $Cp_1$  и  $Cp_2$  – изобарные теплоемкости компонентов неазеотропного хладагента R423A;  $i_1$  и  $i_4$  – энтальпии хладагента в рабочих точках цикла на выходе и входе области перегрева теплообменника-испарителя;  $T''$  и  $T'_u$  – температуры охлаждаемой среды на входе в область перегрева и хладагента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Модель, составленная с использованием уравнений (1)-(3) позволяет определить количество тепла, отводимого в испарителе от теплоносителя, в зависимости от изменения массового расхода  $G_{II}$  хладагента при регулировании производительности системы, путем воздействия на дроссельный вентиль перед испарителем.

Результат расчета представлен на рисунке 1.

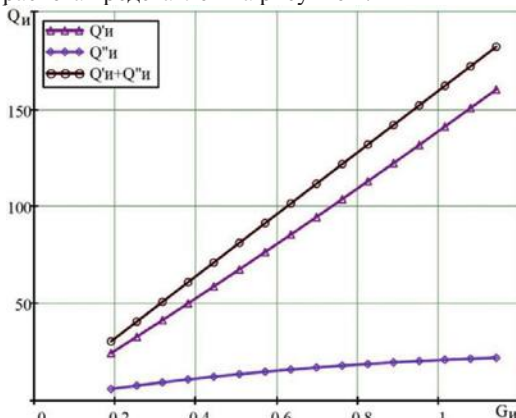


Рисунок 1 – Зависимость тепловой нагрузки испарителя от расхода хладагента

По данным графикам видно, что при изменении расхода хладагента  $G_{II}$  тепловая нагрузка испарителя  $Q_{II}$  будет возрастать. Увеличивается также разность между холодопроизводительностью  $Q'_{II}(G_{II})$  от поверхности нагрева в зоне испарения и холодопроизводительностью  $Q''_{II}(G_{II})$  от поверхности нагрева в зоне перегрева хладагента. Причем последняя носит не линейный характер.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, учет в модели изобарных теплоемкостей  $Cp_1$  и  $Cp_2$  всех компонентов неазеотропного хладагента (R423A для данного случая), позволяет выполнить расчет статических характеристик пароконденсационной холодильной машины на многокомпонентном рабочем агенте при регулировании производительности системы, путем воздействия на дроссельный вентиль перед испарителем.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бараненко, А.В. Холодильные машины: учебник для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур» / А.В. Бараненко, Н.Н. Бухарин, В.И. Пекарев, И.А. Саун, Л.С. Тимофеевский; Под общ.ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 1997. – 992 с.
2. Бабакин, Б.С. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе / Б.С. Бабакин, В.И. Стефанчук, Е.Е. М.: Колос, 2000. – 160 с.
3. Татаренко, Ю.В. Автоматизация основных элементов холодильных машин: Учеб.-метод. пособие/ Ю.В. Татаренко – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 43 с.
4. Программа для ЭВМ: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties v9. – режим доступа: <https://www.nist.gov/srd/refprop>.
5. Карелин Д.Л., Гуреев В. М., Мулюкин В.Л. Моделирование системы охлаждения с парожидкостной компрессионной установкой // Вестник КГТУ им. Туполева. Казань: редакция журнала КНИТУ КАИ, 2015. № 5. С. 5-10
6. Karelin D.L., Boldyrev A.V., Boldyrev S.V. Math Modeling and Transient Characteristics Research of Vapor Compression Cooling System // AIP Conf. Proc. 2141, 050005 (2019). - pp. 1–3.

**АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЛОПАТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБОМАШИН**

Поташев Андрей Валерьевич, Поташева Елена Владимировна,

Казанский кооперативный институт (филиал) Российского университета  
кооперации, г. Казань, ул. Н.Ершова, 58,

Хисамеев Ибрагим Габдулхакович, Казанский национальный  
исследовательский технологический университет, г. Казань, К.Маркса, 68

**Аннотация:** Для повышения эффективности турбомашин необходимо дальнейшее развитие методов и программ их аэродинамического расчета. Исследования в этом направлении активно велись в ЗАО НИИтурбокомпрессор им. В.В. Шнеппа на протяжении нескольких десятилетий. В настоящей статье дается краткий обзор методик и программ аэродинамического расчета и проектирования рабочих элементов турбомашин, разработанных в рамках квазитрехмерной модели.

**Annotation:** To increase the efficiency of turbomachines, further development of methods and programs for their aerodynamic calculation is necessary. Investigations in this direction were actively conducted in the ZAO NIIturbokompressor named after V.V.Shnepp for several decades. This article gives a brief overview of the methods and programs for aerodynamic calculation and design of working elements of turbomachinery, developed within the framework of a quasi-three-dimensional model.



**Ключевые слова:** проточная часть турбомашин, лопаточные элементы, методы расчета и проектирования

**Keywords:** flowing part of turbomachines, blade elements, methods of calculation and design

Основы теории турбомашин были заложены еще в середине 20 века. Трудности постановки и практической реализации задачи трехмерного течения привели к разработке приближенных методов расчета пространственного потока, основанных на сведениях к совокупности двумерных задач. Wu Chung-Hua [1] предложил рассматривать течение жидкости на двух семействах поверхностей тока. Большое распространение получила предложенная Г.Ю. Степановым [2] квазитрехмерная модель, состоящая в замене пространственной задачи двумя основными двумерными задачам (см. рис. 1):

- расчета осредненного осесимметричного течения в проточной части;
- расчета обтекания двумерных решеток профилей на осесимметричных поверхностях тока в слое переменной толщины.

В настоящем докладе дается обзор методик и программ, базирующихся на этой модели и разработанных авторами за последние 30 лет ([3-9]). Представлены методики расчета осредненного осесимметричного потока и расчета обтекания решетки профилей, расположенной на осесимметричной поверхности тока в слое переменной толщины. Рассмотрено течение идеальной несжимаемой жидкости, дозвуковой поток газа, проведен учет вязкости по модели пограничного слоя. В задаче обтекания построены методики расчета, как для однорядных, так и многорядных гидродинамических решеток (рис. 2).

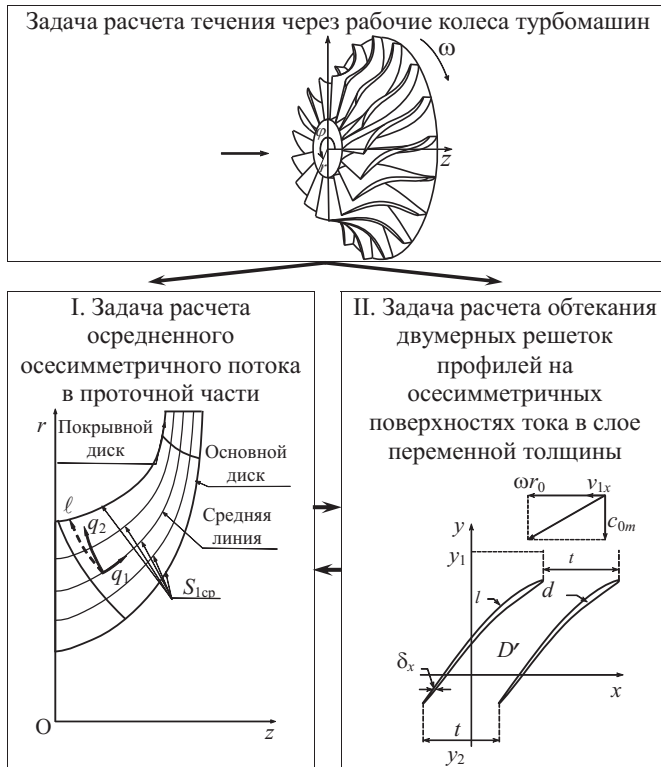


Рис. 1: Две двумерные задачи

Использование квазитрехмерной модели хотя и является приближенным, однако позволяет существенно упростить решение задачи расчета течения в турбомашине, в частности, в центробежных компрессорах. В силу этого появляется возможность проведения предварительных расчетов в короткий промежуток времени. Тем самым сокращается время выбора оптимальной формы проточной части и лопаток турбомшины. Окончательную доводку можно провести уже с использованием более точных численных методов и программ.

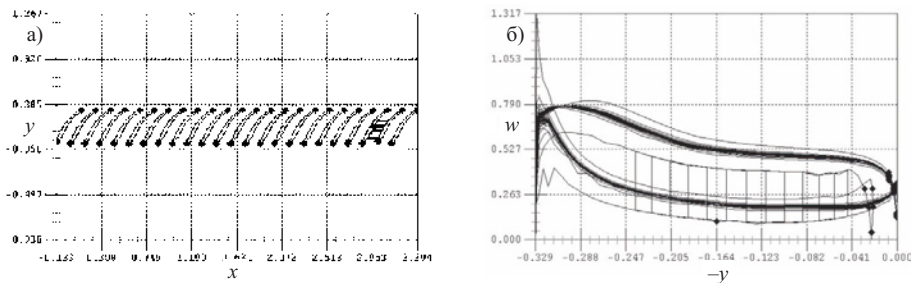


Рис. 2: Результаты расчетов для 22-х рядной решетки профилей

Наряду с разработкой методов решения прямых задач, большое внимание уделено также постановке и решению обратной задачи для решеток профилей, расположенных на осесимметричной поверхности тока в слое переменной толщины [10-13]. Суть ее состоит в отыскании формы профилей по заданному на них распределению скорости. Использование обратной задачи существенно сокращает время проектирования и дает возможность создавать лопатки принципиально новой формы, обеспечивающей требуемые аэродинамические характеристики (рис. 3).

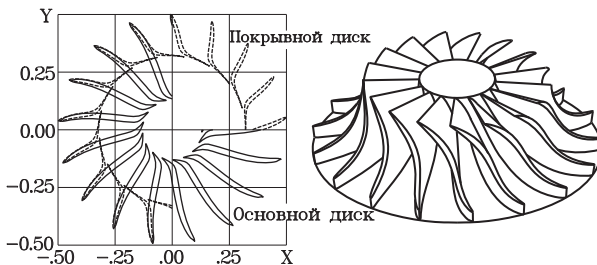


Рис.3: Спроектированное по обратной задаче рабочее колесо компрессора.

Таким образом, в рамках квазитрехмерной модели разработаны методики и программы расчета и проектирования рабочих элементов турбомашин. Все они нашли применение в практике ЗАО НИИ турбокомпрессор и зарекомендовали себя, как надежные средства расчета или проектирования, обладающие достаточной точностью при небольших затратах машинного времени.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-41-160026.*

### Литература

1. Wu Chung-Hua. A general theory of three-dimensional flow in subsonic and supersonic turbomachines of axial, radial and mixed-flow types// Transactions of the ASME. 1952. V. 74. No. 8. – P. 1363-1380.
2. Степанов Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин. – М.: Физматгиз. 1962. – 512 с.

3. Поташев А.В., Поташева Е.В. Разработка методики и программы расчета осредненного осесимметричного потока с учетом переменности стеснения потока // Компрессорная техника и пневматика. 2005. Вып. 2. – С. 8-12.
4. Поташев А.В., Поташева Е.В. Метод расчета пограничного слоя в осредненном потоке // Компрессорная техника и пневматика. 2010. № 4. – С. 8-13.
5. Муртазин Р.Ф., Фугин В.А., Поташева Е.В. Опыт применения программно-методического комплекса для анализа и проектирования проточных частей центробежных компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. 2010. №5. – С. 14-17.
6. Поташева А.В., Поташева Е.В., Кочергин А.В., Павлов Г.И. Расчет интегральных характеристик течения в турбомашинах на основе квазитрехмерной модели // Вестник КГТУ им А.Н. Туполева. – 2014. – №3. – С.62-64.
7. Поташев А.В., Поташева Е.В. Учет вязкости в обратной задаче для решетки профилей на осесимметричной поверхности тока // Компрессорная техника и пневматика. 2017. № 1. – С. 17-23.
8. Поташев А.В., Поташева Е.В. Учет сжимаемости осредненного осесимметричного потока в проточной части турбомашин // Компрессорная техника и пневматика. 2017. № 6. – С. 4-8.
9. Поташев А.В., Поташева Е.В. Методика расчета течения в проточных частях турбомашин с многорядными лопаточными элементами // Компрессорная техника и пневматика. 2019. № 3. С. 9-18.
10. Вячкилев О.А., Ильинский Н.Б., Поташев А.В., Поташева Е.В., Таюрская Г.Р. Обратная краевая задача для решетки профилей, расположенной на осесимметричной поверхности тока в слое переменной толщины // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1996. №11. – С. 134-142.
11. Афанасьев Б.В., Лунев А.Т., Мустафин Н.Г., Поташев А.В., Поташева Е.В. Проектирование рабочего колеса компрессора с использованием обратной задачи для вращающейся решетки профилей на осесимметричной поверхности тока // Компрессорная техника и пневматика. 1996. Вып.1-2 (10-11). – С. 33-37.
12. Поташев А.В., Поташева Е.В., Павлов Г.И., Кочергина К.А. Проектировочный расчет вентилятора газотурбинного двигателя ГТД-1000Т // Вестник КГТУ им А.Н. Туполева. – 2014. – №4. – С. 50-54.
13. Поташев А.В., Поташева Е.В., Хисамеев И.Г. Применение модели квазитрехмерного потока для модификации формы направляющего аппарата погружного насоса // Компрессорная техника и пневматика. 2019. № 2. С. 11-16.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Ростунцова Ирина Алексеевна ассистент кафедры ТАЭ ИнЭТС СГТУ;  
Новичков Сергей Владимирович к.т.н. доцент кафедры ТАЭ ИнЭТС СГТУ

ФГБОУ «Саратовский государственный технический университет  
имени Ю.А. Гагарина»

410054 г. Саратов, ул. Политехническая ,77

**Аннотация.** Определена эффективность технического перевооружения пылеугольной энергетической установки на схему ПГУ КЭС с внедрением технологии газификацией угля в кипящем слое под давлением. Произведен конструкторский расчет пылеугольного котла при внедрении технологии циркулирующего кипящего слоя. Проведена оценка эколого-экономической эффективности внедрения котла с технологией циркулирующего кипящего слоя. Предложен способ, определена эффективность технического перевооружения пылеугольной энергетической установки на схему ПГУ КЭС с внедрением технологии газификацией угля в кипящем слое под давлением. Произведен конструкторский расчет пылеугольного котла при внедрении технологии циркулирующего кипящего слоя. Проведена оценка эколого-экономической эффективности внедрения котла с технологией циркулирующего кипящего слоя. Предложен способ использования избыточной теплоты уходящих газов после котла-утилизатора бинарной ПГУ-ТЭЦ для подогрева сетевой воды и химочищенной воды подпитки теплосети.

**Annotation.** The efficiency of technical re-equipment of a pulverized-coal-fired power plant to the CCGT scheme with the introduction of technology for gasification of coal in a fluidized bed under pressure was determined. The design calculation of the pulverized coal boiler was carried out with the introduction of the circulating fluidized bed technology. The environmental and economic efficiency of the overdrain of the boiler with circulating fluidized bed technology has been assessed. A method is proposed for using the excess heat of the flue gases after a waste heat boiler of a binary CCGT-CHP plant for heating network water and chemically purified water to feed the heating network.

**Ключевые слова:** ПГУ-КЭС, технология кипящего слоя, эколого-экономическая эффективность, котел-утилизатор, избыточная теплота уходящих газов.

Распределённое производство энергии – концепция строительства источников энергии и распределительных сетей, которая подразумевает наличие множества потребителей, производящих тепловую и электрическую энергию для собственных нужд, а также направляющих излишки в общую сеть (электрическую или тепловую). Объекты распределенной энергетики могут быть расположены как в зонах централизованного энергоснабжения, так и на изолированных территориях, где нет электросетей. В первую очередь объекты будут находиться там, где предприятиям в силу своей производственной деятельности удобно использовать собственную генерацию.

Распределенные энергоисточники могут функционировать как на твердом топливе, так и на природном газе. Среди приоритетных технологий распределенной энергетики на твердом топливе, поддерживаемые Правительством Российской Федерации и включенные в программы инновационного развития генерирующих компаний, входят кипящий слой и газификация угля.

Использование низкосортного топлива с повышенной зольностью, с высоким содержанием серы и влажностью более 40 % предъявляет повышенные требования к надежности работы котельных установок ТЭС, а также к обеспечению жестких экологических требований по выбросам в атмосферу оксидов серы и азота. С этой целью являются актуальными разработка и внедрение экологически чистых технологий сжигания твердого топлива в топках котлов с газификацией угля в кипящем слое под давлением. Такая схема повышает термодинамический КПД цикла, позволяет снижать габаритные размеры топочных устройств и уменьшать вредные выбросы в атмосферу. Изготовление котлов с КСД позволит почти на 60 % сократить их габаритные размеры по сравнению с котлами обычного типа. В результате экономия на капитальных затратах составит 10 %, а время, необходимое для строительства электростанций, сократится на 25 %. Рассмотрена технико-экономическую целесообразность внедрения газификации угля в кипящем слое под давлением на пылеугольном блоке, с переходом его на парогазовую схему (рис.1).

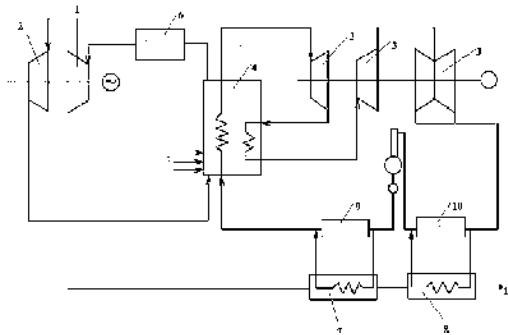


Рис.1. Принципиальная тепловая схема ПГУ-КЭС с газификацией угля в кипящем слое под давлением

1-газовая турбина; 2- компрессор; 3- паровая турбина; 4- котел с циркулирующим кипящем слоем; 5- ввод дробленой и сортированной присадки (доломит; известняк); 6- три ступени очистки ; 7- ГВП ВД; 8- ГВП НД; 9,10- ПВД; ПНД

Произведен расчет газовой и паровой части в схеме ПГУ на твердом топливе. Рассчитанные технико-экономические показатели энергоустановки. Из полученных результатов следует, что техническое перевооружении рассмотренного пылеугольного блока в парогазовую схему с внедрением

технологии газификации угля в кипящем слое под давлением позволит сэкономить не менее 70 г у.т./кВт·ч, что составляет снижение на 20 % расхода топлива при производстве электроэнергии по сравнению с паротурбинным блоком аналогичной мощности с пылеугольным котлом и системами серо- и азотоочистки. Экологические показатели такого энергоблока отвечают самым жестким требованиям. Схема предполагает возможность сжигания вторичных энергетических ресурсов.

Технология циркулирующего кипящего слоя является одним из решений проблемы по разработке и использованию экологически чистых технологий сжигания твердого топлива. Её внедрение позволит сжигать топливо практически любого качества, осуществить процесс сжигания при относительно низких температурах (800-1000 °С). Это обеспечивает пониженный выход загрязняющих веществ, в частности оксидов азота. Кроме этого в системе топливоприготовления предусматривается ввод известняка, связывающий оксиды серы. Схема, реализующая технологию циркулирующего кипящего слоя, представлена на рис. 2.

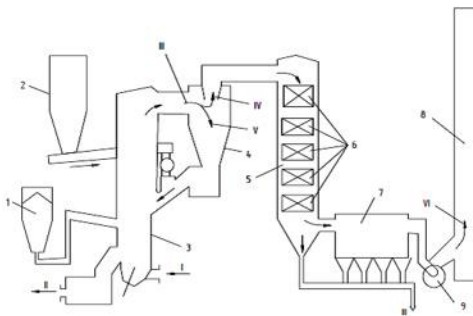


Рис. 2. Принципиальная схема котельной установки с котлом ЦКС. I – воздух; II – отвод донной золы слоя; III – пылегазовый поток; IV – газы; V – несгоревшие частицы топлива и зола; VI – очищенные уходящие газы; VII – летучая зола; 1 – бункер известняка; 2 – бункер угля; 3 – топка; 4 – циклонный сепаратор; 5 – конвективная шахта; 6 – конвективные поверхности нагрева; 7 – электрофильтр; 8 – дымовая труба; 9 – дымосос; 10 – воздухораспределительная решетка

Произведен конструкторский расчет котельного агрегата П-67 для серийной топки и для топки с ЦКС- технологией. Площадь топки сокращается на 1056 м<sup>2</sup>, что составляет 20 % от размеров серийной топки. Тепловой расчет ЦКС-топок показал, что тепловое напряжение объема зоны горения превышает теплонапряжение обычной топочной камеры с факельным сжиганием, что позволяет сократить размеры топочной камеры, а значит снизить металлоемкость котла и снизить капвложения.

Величина предотвращенного экологического ущерба от загрязнения атмосферы составила 6,26 млн. руб/год. Экономическая эффективность внедрения котла с циркулирующим кипящим слоем по чистому дисконтированному доходу составила 11,508 млн. руб.

В реальных условиях эксплуатации температура уходящих газов после котла-утилизатора в схемах ПГУ, может быть несколько выше минимально допустимого значения  $80^{\circ}\text{C}$ . И в зависимости от места расположения, климатических данных, режимов работы газового и паротурбинного оборудования ПГУ-ТЭЦ в течение года, она может достигать  $110 \div 120^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, появляется дополнительное количество теплоты уходящих газов, которое при реализации малозатратных мероприятий в тепловой схеме ПГУ-ТЭЦ, можно было бы использовать для повышения эффективности её эксплуатации. Одним из таких мероприятий является получение дополнительной электрической мощности на паровой турбине за счет частичного вытеснения отборов пара на сетевые подогреватели и через редукционно-охладительную установку, и последовательной утилизации теплоты уходящих газов после котла-утилизатора в газо-водяном подогревателе химочищенной воды подпитки теплосети и в газо-сетевом подогревателе сетевой воды (рис. 3).

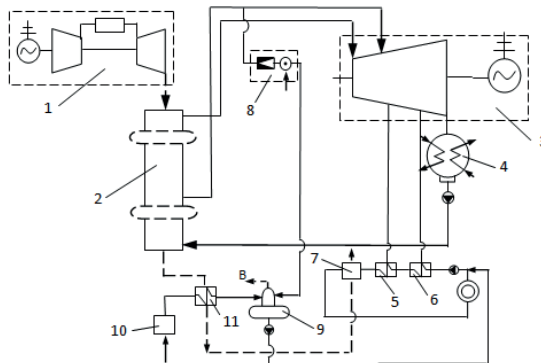


Рис. 3. Принципиальная схема ПГУ-ТЭЦ с нагревом химочищенной воды подпитки теплосети и сетевой воды уходящими газами котла-утилизатора. 1 – газотурбинная установка (ГТУ); 2 – котел-утилизатор (КУ); 3 – паротурбинная установка; 4 – конденсатор; 5 – сетевой подогреватель верхний; 6 – сетевой подогреватель нижний; 7 – газовый сетевой подогреватель (ГСП); 8 – редукционно-охладительная установка (РОУ); 9 – деаэратор подпитки теплосети; 10 – химсех; 11 – газовый подогреватель химочищенной воды (ГПХОВ)

Целесообразность рассматриваемого мероприятия определяется выработкой дополнительной электрической мощности, получаемой на теплофикационной паротурбинной установке в течение года.



Изменение температуры  $t_{\text{ух,газ}}$  после ГСП (в летний период) с 80 до 100 °С приводит к уменьшению вырабатываемой за год дополнительной электрической мощности ПТУ с 4,325 МВт до 3,39 МВт. Увеличение этой температуры означает уменьшение утилизации теплоты после ГПХОВ. При этом, суммарная площадь теплообмена ГПХОВ и ГСП уменьшается (за счет ГСП) и суммарные капиталовложения сокращаются с 13,02 млн. руб. до 6,6 млн. руб. В целом экономический эффект от реализации дополнительной электрической мощности за счет использования теплоты уходящих газов котла утилизатора в последовательно установленных ГПХОВ и ГСП находится в пределах 45,82 млн. руб – 33,49 млн. руб.

### Литература

1. Рекомендации круглого стола на тему: «Распределенная энергетика, как важное направление развития современной энергетики». URL: <http://www.komitet2-13.km.duma.gov.ru/Rekomendacii-poitogam-meropriyatij/item/221570/> (дата обращения 01.07.2017).

2. Корчевой Ю.П. Экологически чистые угольные технологии / Ю.П. Корчевой, А. Ю. Майстренко, А.И. Топал.- Киев: Наукова думка, 2004. 186 с.

3. Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: Информационный сборник / В.В. Абрамов и др.; под. общей ред. В.Я. Путилова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 388 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТАЦИИ АЭС К ПОКРЫТИЮ ПЕРЕМЕННОГО ГРАФИКА НАГРУЗОК

Ростунцова Ирина Алексеевна - ассистент кафедры ТАЭ ИнЭТС СГТУ;  
Кицелло Дмитрий Викторович - студент сАЭС-31 кафедры ТАЭ ИнЭТС СГТУ

ФГБОУ «Саратовский государственный технический университет  
имени Ю.А. Гагарина»

410054 г. Саратов, ул. Политехническая ,77

**Аннотация.** Проведена оценка действующих систем регулирования мощности АЭС. Представлена схема модернизации паротурбинной установки АЭС путём внедрения в тепловую схему системы аккумулирования тепловой энергии. Разработана методика расчета тепловой эффективности аккумулирующей части.

**Annotation.** The assessment of existing systems for regulating the power of nuclear power plants. A scheme of modernization of a steam turbine plant of an NPP by introducing a thermal energy storage system into the heat circuit is presented. A methodology for calculating the thermal efficiency of the storage part has been developed.

**Ключевые слова:** атомные электрические станции, паротурбинная установка, система аккумулирования тепловой энергии, маневренный режим.

В настоящее время неучастие АЭС в суточном регулировании приводит к большому профициту энергии при прохождении минимумов графика электрической нагрузки и дефициту электроэнергии в пиковые часы. На атомных станциях традиционно рассматривались два способа регулирования мощности: регулирование активной зоны и паротурбинной установки. Регулирование активной зоны реактора включает в себя борное (изменение концентрации поглотителя в контуре охлаждения реактора) и механическое (перемещении систем управления активной зоны). На практике два вышеупомянутых способа используются вместе, однако они вызывают ряд технических сложностей, что не исключает риски, связанные с устойчивостью активной зоны. Физические и химические процессы, которыми сопровождаются эти способы регулирования мощности являются нежелательными в процессе эксплуатации реактора. Традиционным способом регулирования мощности АЭС является регулирование мощности паротурбинной установки. Данный способ может стать причиной термоусталостного разрушения конструкционных элементов турбины, что окажет негативное воздействие на её ресурс.

Выходом из сложившейся ситуации является использование аккумуляторов энергии, которые накапливают энергию в период низкого потребления и отдают её в период высокого, чем существенно сглаживают пики потребления электроэнергии. На рис.1 показана схема накопления энергии в аккумуляторе во время снижения потребления и использование накопленной энергии во время пиков потребления. В идеальном случае мощность в течение суток остаётся постоянной.

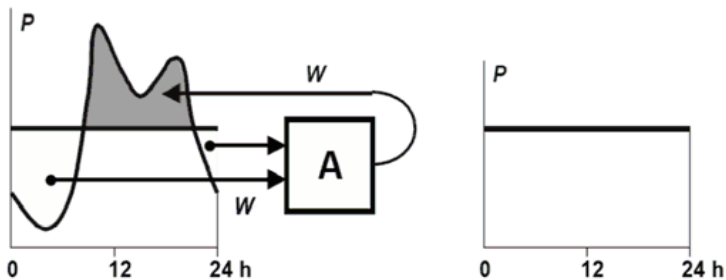


Рис. 1. Структурная схема работы аккумулятора энергии

Существует несколько способов аккумулирования энергии, среди которых наиболее эффективным и менее капиталоемким является тепловое аккумулирование. Классифицировать виды тепловых аккумуляторов можно по характеру протекающих в их рабочих циклах процессах. Используются жидкие аккумулирующие среды, высокотемпературные и низкотемпературные теплоносители, твердые аккумулирующие среды (например, керамический кирпич). Наиболее конкурентоспособным способом является вариант САТЭ на

основе ВТТ. На рис.2 приведена принципиальная тепловая схема АЭС с САТЭ. Избыточный пар из отбора турбины поступает в теплообменник 1, где отдаёт своё тепло высокотемпературному теплоносителю (ВТТ). ВТТ возвращается обратно в АТ, а конденсат греющего пара в деаэрактор. Описанный процесс зарядки АТ происходит преимущественно ночью. В режиме разрядки (в часы пикового потребления) в теплообменнике 3 происходит теплообмен между горячим ВТТ и конденсатом после группы ПНД. Далее нагретый конденсат возвращается уже в следующую группу ПНД, на которую приостановлена подача пара из отбора. В результате расход пара через проточную часть турбины увеличивается, и электрическая мощность, выдаваемая энергоблоком, растёт.

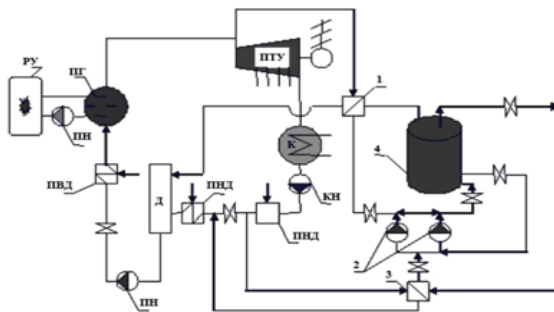


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема АЭС с САТЭ

В качестве бака аккумулятора предлагается использование высокотемпературного органического теплоносителя с температурой воспламенения выше его максимальной рабочей температуры. В этом случае возможно применение баков-аккумуляторов атмосферного типа на основе типовых емкостей мазутного хозяйства ТЭС. В качестве высокотемпературного теплоносителя обычно используются термостабильные органические вещества, обладающие высокой температурой кипения и низкой вязкостью.

Методика расчета аккумулирующей части сводится к определению мощности АЭС в режиме разрядки и зарядки аккумулятора.

Принимаем, что разгрузка блока составляет 20 %, то есть  $\varphi = 0,8$ . Нагрузка, которая пойдёт на аккумулятор, определится как

$$\varphi_1 = 1 - \varphi \quad (1)$$

Соответственно, расход пара, давление и температура будут определяться

$$D_{от}^{акк} = (1 - \varphi) \cdot D_0^H \quad (2)$$

$$P_{от}^{акк} = (1 - \varphi) \cdot P_0^H \quad (3)$$

$$t_{от}^{акк} = t_0^H \quad (4)$$

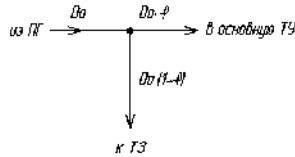


Рис. 3. Схема отбора пара на тепловой аккумулятор

Так как потери на трубопроводы составляют 5 %, то

$$\Delta P_{mp} = 5 \%$$

$$P_{от}^{акк'} = (1 - \Delta P_{mp}) \cdot P_{от}^{афпн} \quad (5)$$

Определим энтальпию пара по формуле

$$h_{от}^{акк} = f(P_{от}^{афпн}; t_{от}^{афпн}) \quad (6)$$

Принимаем потери давления пара при его конденсации в теплообменнике зарядки (ТЗ)

$$\Delta P^{ТЗ} = 10 \%$$

$$P_{др}^{мз} = (1 - \Delta P^{ТЗ}) \cdot P_{от}^{акк'} \quad (7)$$

Определим параметры дренажа  $t_{др}^{ТЗ}$ ,  $h_{в}^{ТЗ}$  по зависимости

$$h_i, t_i = f(P_{др}^{ТЗ}), \quad (8)$$

Из графика электрических нагрузок найдено  $T_{нон}$ . Откуда время зарядки аккумулятора в неделю составит

$$T_{зар}^{нед} = 2,375 \text{ сут/нед}$$

Определим мощность зарядки

$$N_{зар} = D_{от}^{акк} \cdot (h_{от}^{акк} - h_{др}^{мз}) \quad (9)$$

Расчетные значения приведены в таблице:

Таблица 1. Результаты расчета пикового контура

Наименование параметра	Значение
Нагрузка на аккумулятор, $\varphi_1$	0,2
Расход пара, $D_{от}^{акк}$	$359 \frac{кг}{с}$
Давление пара, $P_{от}^{акк}$	1,36 МПа
Температура пара, $t_{от}^{акк}$	283,8 °С
Потери на трубопровод, $\Delta P_{mp}$	0,05
Давление пара с учётом потерь, $P_{от}^{акк'}$	1,29 МПа
Энтальпия пара, $h_{от}^{акк}$	$3008 \frac{кДж}{кг}$
Потери давления пара в ТЗ, $\Delta P^{ТЗ}$	0,1
Давление пара в ТЗ, $P_{др}^{мз}$	1,161 МПа
Температура дренажа в ТЗ, $t_{др}^{ТЗ}$	186,5 °С
Энтальпия воды в ТЗ, $h_{в}^{ТЗ}$	791,8 кДж/кг
Время на пониженной нагрузке, $T_{нон}$	2,375 сут/нед

Наименование параметра	Значение
Время зарядки аккумулятора, $T_{зар}^{мед}$	57 ч
Мощность зарядки, $N_{зар}$	2216,2 МВт · ч

Наличие такой системы аккумулирования тепловой энергии позволяет без изменения мощности реактора снижать выдаваемую в сеть электрическую мощность вплоть до минимально допустимой мощности турбины и повышать (за счет накопленной при этом энергии) выдаваемую в сеть мощность до уровня, допускаемого пропускной способностью проточной части турбины.

### Литература

1. Бабаев Б.Д. Принципы теплового аккумулирования и используемые теплоаккумулирующие материалы. – Теплофизика высоких температур. Т.52.2014.№5.
2. Аминов, Р.З. АЭС с ВВЭР: Режимы, характеристики, эффективность /Р.З. Аминов, В.А. Хрусталеv, А.С. Духовенский, А.И. Осадчий. — Москва: Энергоатомиздат, 1990. — 264с.
3. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции/ В.Я. Рыжкин.- М.:Энергия, 1976. -448 с.

УДК 699.865:697.1:697.112

## О МОДЕЛИРОВАНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С ОТКЛЮЧЕНИЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Рыбаков Анатолий Валерьевич, anatoll\_rubakov@mail.ru

Геккель Иван Яковлевич, pogramarmavir@mail.ru

Иванов Александр Иванович, ivanovalex1-2019@mail.ru

Яценко Юрий Алексеевич, ioury95@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».141435, Россия, Московская область, г.о Химки, мкрн. Новогорск.

**Аннотация:** Приведено краткое описание реализации системы моделирования последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с отключением теплоснабжения жилых зданий, позволяющей визуализировать зоны поражения, на картографической основе. Рассмотрен подход к созданию интерактивной системы поддержки принятия решений при чрезвычайных ситуациях, связанных с отключением теплоснабжения жилых зданий, которая включает в себя серверную и клиентскую части.

**Abstract:** A brief description of the implementation of the system of modeling the consequences of emergency situations associated with the shutdown of heat supply of residential buildings, which allows to visualize the affected areas, on a cartographic basis. An approach to the creation of an interactive decision support system in emergency situations associated with the shutdown of heat supply of residential buildings, which includes server and client parts, is considered.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, интерактивная система, теплоснабжение, тепловая защита здания, показатель защищенности при аварийном отключении отопления.

**Введение.** В Российской Федерации среднегодовое использование теплоснабжения составляет 7 месяцев, а в северных районах страны – 9 месяцев[1]. Около 72% всей тепловой энергии подается потребителю при помощи централизованного теплоснабжения[2].

По данным Росстата за 2018 год 28,8% теплопроводов систем теплоснабжения Российской Федерации нуждается в замене. В том числе доля ветхих теплопроводов, то есть тех, которые представляют реальную угрозу разрушения в отопительный период, составляет 21,5%. Потребность в замене теплопроводов в Российской Федерации и в федеральных округах представлена на диаграмме (Рисунок 1)[3].

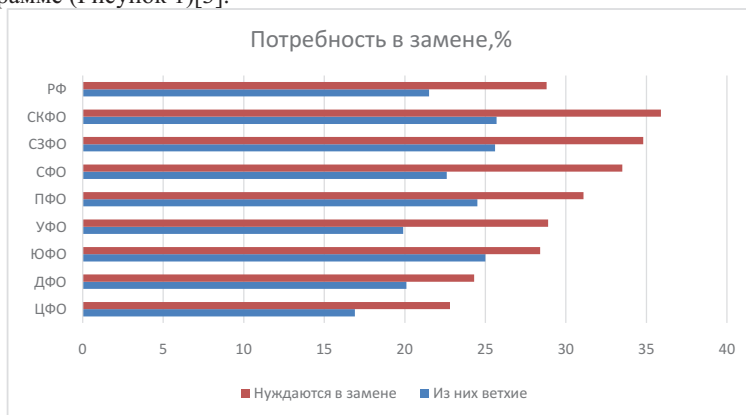


Рисунок 1. Потребность в замене теплопроводов в Российской Федерации и федеральных округах в 2016 году.

При возникновении аварий в магистралях большого диаметра и протяженности без тепла могут остаться несколько сотен жилых зданий и тысячи людей на продолжительный срок. Среднее время восстановления поврежденного участка теплосети в зависимости от диаметра и конструкции составляет от 5 часов до 50 часов, на полное восстановление может потребоваться несколько суток (таблица 1) [4].

Таблица 1. Среднее время восстановления  $z$ , ч, поврежденного участка тепловой сети.

Диаметр труб $d$ , м	Расстояние между секционирующими задвижками $L$ , км	Среднее время восстановления $z$ , ч
0,1 – 0,2	-	5
0,4 – 0,5	1,5	10 – 12
0,6	2 – 3	17 – 22
1	2 – 3	27 – 36
1,4	2 – 3	38 – 51

**Постановка задачи.** В ряде статей [5,6] был рассмотрен подход по оценке влияния конструктивных особенностей жилого здания на темпы его остывания при отключении теплоснабжения и методика оценки защищенности населения от чрезвычайных ситуаций, связанных с нарушением теплоснабжения. Применялся подход, основанный использовании программного комплекса SolidWorks Flow Simulation. Из полученных результатов следует вывод, что за счет выбора характеристик конструктивных элементов жилого здания можно влиять на величину показателя защищенности. Вместе с тем, в настоящее время существующий научно-методический аппарат не в полной мере позволяет оценить защищенность населения от чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийным отключением теплоснабжения жилых зданий.

В настоящее время максимальный срок устранения аварии составляет 16 часов (температура в жилом помещении  $12^{\circ}\text{C}$  и выше), а минимальный – 4 часа (температура в помещении не менее 8 градусов) [7].

В связи с этим необходимо прийти к такому показателю, с помощью которого можно прогнозировать последствия для населения от чрезвычайных ситуаций, связанных с отключением теплоснабжения жилых зданий, а также обосновывать и планировать первоочередные и заблаговременные мероприятия, направленные на снижение ущерба и защиту населения от подобных чрезвычайных ситуаций.

Для оценки степени защищенности населения при чрезвычайных ситуациях, связанных с отключением теплоснабжения в отопительный период, может применяться показатель защищенности  $k_z$ .

Физический смысл данного показателя заключается в нахождении времени остывания здания через изменение внутренней тепловой энергии и тепловых потерь рассматриваемого помещения.

$$k_z = \frac{\Delta U}{Q_{m/n} + Q_{unф}} / 3600, \text{ ч}$$

где

$\Delta U$  – изменение внутренней тепловой энергии рассматриваемого объекта, которое определяется по формуле:

Конечная температура элемента определяется в момент времени  $z$ , когда температура воздуха в помещении опустится до критической (минимальной допустимой температуры при отключении отопления – 12 °С)[7].

Показатель защищенности в дальнейшем можно использовать для обоснования инженерно-технических мероприятий, проводимых для предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийным отключением отопления, а также выбора мер по предотвращению угрозы населению в аварийной ситуации и уменьшения ущерба от этих чрезвычайных ситуаций.

Для расчета последствий чрезвычайной ситуации, связанной с отключением теплоснабжения жилых зданий возникла необходимость разработки системы моделирования последствий подобных чрезвычайных ситуаций, обеспечивающей своевременность проведения расчетов при их допустимой точности, что в дальнейшем может оптимизировать процесс ликвидации последствий ЧС и снижать их последствия при ограничении на ресурсные затраты.

**Решение.** Одной из информационных систем поддержки принятия решений в ЧС, является разработанная сотрудниками лаборатории информационного обеспечения Академии гражданской защиты МЧС России «Интерактивная информационная система моделирования последствий чрезвычайных ситуаций». Данная система является клиент-серверным приложением, где в серверной части производятся расчеты и связь с БД. Система для расчета реализована в виде клиент-серверного web-приложения, в котором клиент имеет возможность моделировать различные ЧС с визуализацией зон поражения, наложенных на карту.

Архитектура приложения была выбрана в соответствии с необходимостью разделения потребления ресурсов, а также для возможности одновременного доступа нескольких пользователей.

В качестве сервера используется платформа Open Server Panel версии 5.2.9 – набор утилит, программ и сервисов для создания локального сервера.

Клиентская часть проекта написана на языке JavaScript. Для формирования клиентской части программы используется фреймворк Bootstrap версии 3.3.7. Он позволяет использовать созданные заранее шаблоны для кнопок, полей и других элементов страницы с определенной стилизацией, что придает клиентской стороне проекта лаконичность и простоту при использовании.

Серверная часть проекта написана на языке PHP версии 7.2. Язык PHP также удобен тем, что является объектно-ориентированным, это, в свою очередь, необходимо для структуры разрабатываемого продукта. В качестве фреймворка используется Laravel 5.x. Он позволяет соединять все элементы проекта для упорядоченной работы модулей.

При выборе любой точки линии теплопередач происходит моделирование обрыва линии в этой точке. На рисунке 4 стрелкой показана точка обрыва. Объекты, которые остались без отопления, поменяли значок. Также в отдельном виджете показывается количество пострадавших людей и домов.



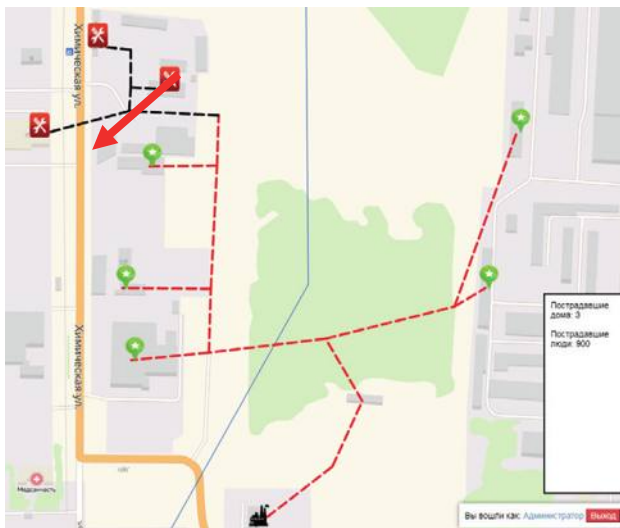


Рисунок 4. Моделирование линии теплопередач

При выборе иконки пострадавшего объекта на экран выводится график остывания здания (рисунок 5) и сроки ввода режима ЧС.

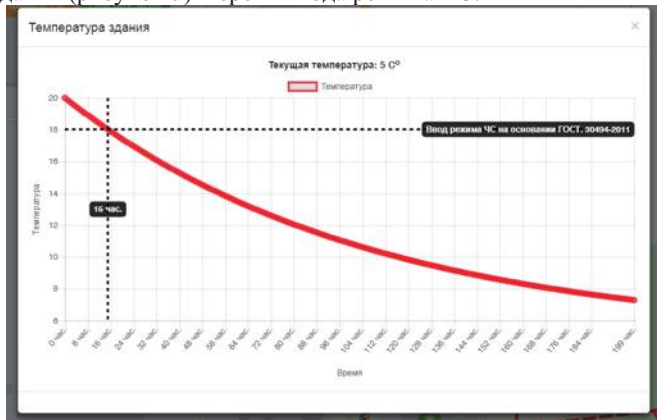


Рисунок 5. График остывания здания.

**Заключение.** Интерактивная информационная система моделирования последствий чрезвычайных ситуаций позволяет автоматизировать процесс подготовки предложений по ликвидации ЧС за счет моделирования поражающих факторов и расчета сил и средств для её ликвидации. Нет необходимости проводить расчеты по нескольким методикам отдельно

вручную, оператору необходимо ввести входные данные и получить полный расчет о требуемых ресурсах и времени ликвидации. Кроме того, программно реализован так называемый принцип домино, когда под действием первичных поражающих факторов (например, при землетрясении) возникают новые, зачастую еще более разрушительные ЧС (как это было со станцией Fukushima Daiichi).

В дальнейшем подход определения показателя защищенности и моделирование последствий чрезвычайной ситуации, связанной с отключением теплоснабжения позволит осуществлять выбор мероприятий по повышению защищенности жилого здания с учетом вклада независимых друг от друга управляемых параметров. Эта особенность может быть использована при обосновании комплекса мероприятий по повышению защищенности населения при чрезвычайных ситуациях, связанных с аварийным отключением теплоснабжения.

#### Список литературы:

1. Российский статистический ежегодник. 2018: Стат.сб./Росстат. -Р76 М., 2018 – 694 с.
2. Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство в России. 2015: Стат.сб./Росстат - М., 2015. – 201 с.
3. Доклад о реализации энергетической стратегии России на период до 2030 года по итогам 2018 года, 2018 – 65 с.
4. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: Учебник.-М.: ИНФРА-М, 2006, -480с.
5. Рыбаков А.В., Геккель И.Я., Окунцов И.И. О влиянии конструктивных характеристик жилых зданий на обеспечение защиты населения при чрезвычайных ситуациях, связанных с нарушением теплоснабжения // Сборник статей по материалам VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». – 2018. - С.542-546.
6. Геккель И.Я., Рыбаков А.В., Окунцов И.И., Глушаченков А.А. Общая постановка задачи оценки показателя защищенности населения при чрезвычайных ситуациях, связанных с аварийным отключением теплоснабжения жилых зданий // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 1 (40). С. 86-94.
7. Каменев П.Н., Сканави А.Н., Богословский В.Н. Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. I. Отопление Изд 3-е «рераб.» и доп. М., Стройиздат, 1975. 483 с.
8. Качанов С.А., Нехорошев С.Н., Попов А.П. Информатизационные технологии поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях [монография], МЧС России, ВНИИГОЧС. Москва: Деловой экспресс, 2011. – 400 с.: ил.
9. Рыбаков А.В., Иванов Е.В., Пинянский А.И. О некоторых особенностях разработки информационной системы выбора и обоснования

мероприятий по повышению устойчивости функционирования территорий городских округов в условиях ЧС// Национальная стратегия по снижению рисков ЧС в Республике Беларусь на 2019-2030 годы: сб. материалов международной научно-практической конференции. - Минск: УГЗ, 2018. – С.41-43.

10. Рыбаков А.В., Иванов Е.В., Седов Д.С., Иванова Л.Е. О построении технологии обеспечения устойчивости территории городов к поражающим факторам техногенного характера // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Актуальные вопросы безопасности при формировании культуры безопасности жизни: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Году культуры безопасности. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018. Часть 1 - С.50-57.

## СМЕШАННЫЙ МКЭ В СТАТИКЕ И ДИНАМИКЕ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ

Рыбаков Владимир Александрович, Лалин Владимир Владимирович,  
Иванов Сергей Сергеевич,  
ФГАОУ ВО «СПбПУ», 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул, д.29

**Аннотация.** В данной работе построена конечно-элементная модель тонкостенного стержня на основе смешанного вариационного подхода. При помощи функционала Рейсснера и линейной функции формы получены матрицы жесткости и матрицы масс тонкостенного стержня в рамках полусдвиговой теории Сливкера. Представлен алгоритм для автоматизированного составления и решения систем уравнений равновесия и движения тонкостенного стержня. Для статической и динамической задачи произведено сравнение с точным решением уравнений Эйлера.

**Ключевые слова.** Смешанный метод конечных элементов (МКЭ), тонкостенный стержень, функционал Рейсснера, полусдвиговая теория Сливкера

В действующих нормах [1] в ряде формул по расчету прочности и устойчивости стальных конструкций одним из слагаемых нормальных напряжений является бимоментная составляющая. Определение бимомента в пространственных и даже плоских рамных конструкциях является невозможным аналитическим способом – необходимо использование МКЭ [2].

Одной из теорий расчета тонкостенных стержней является «полусдвиговая» теория В.И.Сливкера [3], преимуществами которой, по сравнению с более распространенной теорией В.З.Власова, являются учет части деформации сдвига (третье и шестое слагаемое подынтегрального выражения функционалов (3) и (4)) и применимость для стержней как открытого, так и замкнутого профилей - за счет единого вида функционалов.

*Цель работы* – реализация смешанного МКЭ для полусдвиговой теории тонкостенных стержней В.И.Сливкера

Для получения крутильно-депланационной матрицы жесткости и матрицы масс смешанным методом конечных элементов необходимо воспользоваться функционалом Рейсснера, который для статической задачи записывается следующим образом, [4]:

$$\Pi_{R, \text{стат}} = \int_V \left( \frac{1}{2} \boldsymbol{\sigma}^T \mathbf{D}^{-1} \boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}^T \mathbf{A} \mathbf{u} + \mathbf{u}^T \mathbf{p}_V \right) dV + \Pi_{R1} + \Pi_{R2} \quad (1)$$

где:  $\boldsymbol{\sigma}$  – вектор напряжений;  $\mathbf{A}$  – матрица операций дифференцирования;  $\mathbf{u}$  – вектор перемещений;  $\mathbf{D}$  – матрица упругости;  $\mathbf{p}_V$  – вектор заданных объемных сил;  $\Pi_{R,s}$  и  $\Pi_{R,\sigma}$  – потенциалы заданных внешних поверхностных сил и перемещений, соответственно.;  $V$  – объем тела, м<sup>3</sup>.

Для динамической задачи о собственных колебаниях тела часть функционала Рейсснера, отвечающая за внутренние факторы, имеет вид:

$$\Pi_{R, \text{дин}} = \int_V \left( \frac{1}{2} \boldsymbol{\sigma}^T \mathbf{D}^{-1} \boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}^T \mathbf{A} \mathbf{u} + \frac{1}{2} \omega^2 \mathbf{u}^T \boldsymbol{\rho} \mathbf{u} \right) dV \quad (2)$$

где:  $\omega$  – собственная частота, рад/с;  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Применим формулы (1) и (2) для тонкостенного стержня симметричного поперечного сечения в рамках теории Сливкера В.И. [2], учитывая при этом, что вместо напряжений возникают бимомент  $B$ , моменты чистого и стесненного кручения  $M_x$  и  $M_\omega$ , соответственно, а вместо перемещений – угол закручивания  $\theta$  и мера депланации  $\beta$  (табл. 1):

Табл.1. Аналоги величин теории упругости и теории тонкостенных стержней

Величины теории упругости	$\boldsymbol{\sigma}$	$\mathbf{u}$	$\mathbf{D}$	$\mathbf{p}_V$	$V$
Величины теории В.И.Сливкера	$M_x, B, M_\omega$	$\theta, \beta$	$GI_x, EI_\omega, GI_g$	$m_x, b_\omega$	$L$

$$\Phi_{R, \text{ст}} = \int_L \left( \frac{M_x^2}{2GI_x} + \frac{B^2}{2EI_\omega} + \frac{M_\omega^2}{2GI_g} - M_x \theta' - B \beta' - M_\omega (\theta' - \beta) + m_x \theta + b_\omega \beta \right) dL \quad (3)$$

Где  $m_x$  – внешний распределенный крутящий момент, кН;  $b_\omega$  – внешний распределенный бимомент, кН·м.

Аналогично из (3) для случая собственных колебаний стержня:

$$\Phi_{R, \text{дин}} = \int_L \left( \frac{M_x^2}{2GI_x} + \frac{B^2}{2EI_\omega} + \frac{M_\omega^2}{2GI_g} - M_x \theta' - B \beta' - M_\omega (\theta' - \beta) + \frac{\rho \omega^2 I_r}{2} \theta^2 + \frac{\rho \omega^2 I_\omega}{2} \beta^2 \right) dL \quad (4)$$

При получении матрицы масс и матрицы жесткости тонкостенного стержня по полусдвиговой теории Сливкера для простоты и корректности сравнения с обычным МКЭ для всех неизвестных функций будем использовать линейные интерполирующие полиномы (см. п.2.3):

$$N_1(x) = 1 - \frac{x}{l}; N_2(x) = \frac{x}{l} \quad (5)$$

Используем аппроксимацию (5) для каждой из функций  $f(x)$ :  $M_x(x)$ ,  $B(x)$ ,  $M_\omega$ ,  $\theta(x)$ ,  $\beta(x)$ :

$$f(x) = N_1(x)f_1 + N_2(x)f_2 \quad (6)$$

где:  $f_1, f_2$  – значения функции  $f(x)$  соответственно в первом и втором узле конечного элемента (рис. 1).

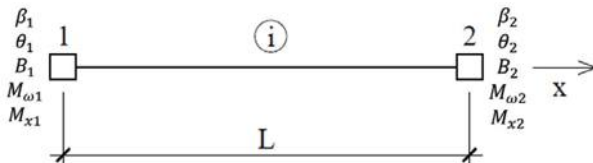


Рис.1. Схема конечного элемента при линейной аппроксимации функций.

Подставляя выражения неизвестных функций через аппроксимацию по (5) в формулы (3) и (4) после преобразований получаем:

$$\Phi_{R, \text{стат}} = \frac{1}{2} V^T F V - V^T S U + U^T P \quad (7)$$

$$\Phi_{R, \text{дин}} = \frac{1}{2} V^T F V - V^T S U + \frac{1}{2} \omega^2 U^T M U \quad (8)$$

где:  $M$  – блок матрицы, соответствующий матрице масс;  $F$  – блок матрицы соответствующий обычной матрице жесткости;  $S$  – блок матрицы соответствующий смешанной матрице жесткости;  $U$  – вектор узловых перемещений;  $V$  – вектор узловых усилий;  $P$  – вектор узловых нагрузок.

Условия стационарности для функционалов (7) и (8) могут быть записаны в виде:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial U} = 0; \frac{\partial \Phi}{\partial V} = 0 \quad (9)$$

Из условий (9) для (7) получаем разрешающую систему линейных уравнений статики, которая запишется следующим образом:

$$\begin{cases} S^T \cdot V = P \\ -F \cdot V + S \cdot U = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Аналогично для случая собственных колебаний:

$$\begin{cases} S^T \cdot V = \omega^2 M \cdot U \\ -F \cdot V + S \cdot U = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Записывая системы уравнений (10) и (11) в еще более общем виде, получим:

$$\begin{bmatrix} S^T & 0 \\ -F & S \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} S^T & 0 \\ -F & S \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V \\ U \end{bmatrix} = \omega^2 \begin{bmatrix} 0 & M \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V \\ U \end{bmatrix} \quad (13)$$

Выразив  $F$  из каждой системы уравнений (12) и (13), получим

$$\begin{aligned} (S^T \cdot F^{-1} \cdot S) \cdot U &= P \\ (S^T \cdot F^{-1} \cdot S) \cdot U &= \omega^2 M \cdot U \end{aligned} \quad (14)$$

Введем обозначение матрицы жесткости, привычное для восприятия:

$$K = (S^T \cdot F^{-1} \cdot S) \quad (15)$$

Тогда результирующие системы уравнений статики и динамики принимают вид:

$$K \cdot U = P \quad (16)$$

$$K \cdot U = \omega^2 M \cdot U \quad (17)$$

При линейной аппроксимации усилий и перемещений матрица жесткости и матрица масс имеют размерность  $10 \times 10$ .

Примечательно, что соответствующий вектор неизвестных будет содержать в себе и узловые усилия, и узловые перемещения одновременно.

$$U_{\text{лин}} = (\beta_1; \theta_1; B_1; M_{\omega 1}; M_{x1}; \beta_2; \theta_2; B_2; M_{\omega 2}; M_{x2})^T \quad (18)$$

Табл.2. Бимомент в середине пролета по смешанному МКЭ

Количество элементов, шт.	2	4	8	16	32	64	128
$B_{\omega} \left(\frac{L}{2}\right)$ , кН·м <sup>2</sup>	0,183	0,274	0,327	0,338	0,346	0,347	0,347

Табл. 3. Первая собственная частота из решения смешанным МКЭ

Количество элементов, шт.	2	4	8	16	32	64	128
$\omega_1^{\text{смеш}}$ , рад/с	291,01	135,84	94,81	89,57	88,60	88,47	88,47

Графики, показывающие скорость сходимости смешанного МКЭ к точному решению для статической и динамической задач, представлены на рис. 2. Соответствующие значения приведены в табл. 2 и 3.

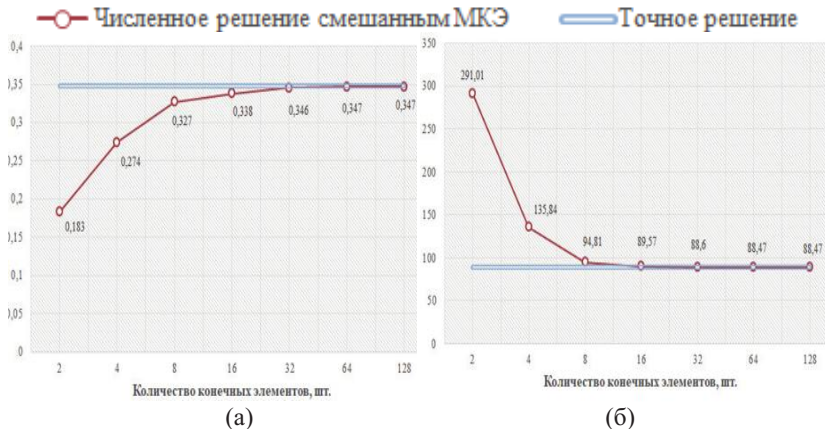


Рис. 2. Сходимость смешанного МКЭ для статической и динамической задач (а – бимомент в кН\*м<sup>2</sup>; б – первая собственная частота в рад/с) .

#### Выводы

1. Получены матрицы жесткости и матрицы масс для решения задач статики и динамики тонкостенных стержней по полусдвиговой теории

В.И.Сливкера смешанным МКЭ, позволяющие определять вектор неизвестных усилий и перемещений, а также спектр собственных частот и форм.

2. Показано, что конечный элемент, основанный на смешанной постановке МКЭ, имеет сходимость, достаточную для решения инженерных задач.

3. Предложено использовать линейную аппроксимацию функций форм (усилия и перемещения), т.к. она позволяет определить с достаточной точностью при разбиении отрезка на 8 КЭ величину бимоента без проведения дополнительных вычислительных операций «обратного хода»

### Список литературы

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции.
2. Rybakov V.A., Dyakov S.F., Sovetnikov D.O., Azarov A.A., Ivanov S.S. Finite elements apparatus in thin-walled rods dynamics problems. MATEC Web of Conferences. 2018. No. 245(45).
3. Сливкер В. И. Строительная механика. Вариационные основы. Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2005. 736 с.
4. Розин Л. А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам. М.: Стройиздат, 1977. 129 с.

## МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АКБ

Сидорова Анжела Алексеевна, Мукимов Алмаз Халитович,  
Павлов Павел Павлович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»

РТ, г. Казань, ул. Красносельская 51, корпус В.

**Аннотация.** В данной статье кратко описана методика диагностирования тяговых аккумуляторных батарей с помощью анализатора АЕА30V.

**Annotation.** This article briefly describes the diagnostic technique for traction batteries using the АЕА30V analyzer.

**Ключевые слова:** тяговый аккумулятор, диагностика, отказ, неисправность.

Аккумуляторные батареи (АКБ) по своей сути – накопители электрической энергии, в некотором роде «консервы» её. Казалось бы, заряжай, а потом используй. Однако, как и любой электрический аппарат, аккумулятор имеет конечный срок службы. Более того, как уже отмечалось, аккумулятор не только электрическое, но и химическое устройство. Поэтому причины ухудшения характеристик и отказов многогранны и имеют много зависимостей. Более того в процессе эксплуатации в подавляющем числе случаев отказы не имеют явных проявлений. Ухудшение качества имеет тенденцию накапливаться, а в ряде случаев обладает свойствами положительной обратной связи. Это исподволь приходящее ухудшение характеристик связано с большим количеством последовательно включенных аккумуляторов, составляющих множество – аккумуляторную батарею. При наличии даже одного, так

называемого, «глухого» аккумулятора в вагонной батарее, состоящей из нескольких десятков последовательно включенных аккумуляторов, она может некоторое время нормально функционировать в схеме вагона. Поэтому для обнаружения на раннем этапе появления ухудшения характеристик необходимо своевременно и правильно диагностировать аккумуляторы и батареи. Для диагностирования АКБ применяются различные устройства, например анализатор АЕА30V.

Чтобы выявить проблемные элементы АКБ, при помощи анализатора АЕА30V измеряли напряжение и внутреннее сопротивление каждого отдельного аккумулятора.

Проблемными аккумуляторами прием аккумуляторы, существенно отличающиеся по сопротивлению или напряжению от среднего значения.

Результаты измерений представлены на Рис.4. на нижней оси указаны номера элементов АКБ (всего 40 шт.), на вертикальной оси показаны напряжения в Вольтах (розовый цвет) и активное сопротивление в МОм (голубой цвет) для каждого элемента.

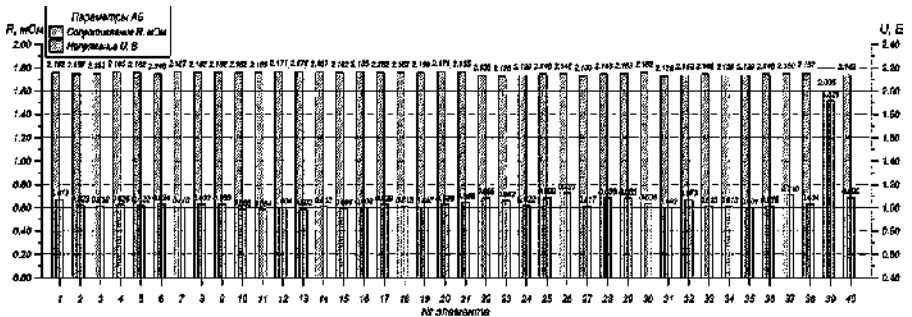


Рис. 4. Результаты измерений 40 элементов АКБ.

По гистограмме на Рис. 4 видно, что в батарее есть три проблемных аккумулятора №26, №37, №39. Внутреннее сопротивление у этих аккумуляторов существенно выше среднего значения относительно других элементов. Кроме того, у номера 39 еще и напряжение ниже нормы.

Время на процесс измерения одного элемента составляет около 20 секунд, все элементы батареи были обмеряны примерно за 15 минут.

Подобный вид диагностики широко распространён из-за удобства использования и наглядности результатов.

### Литература.

1. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов / Ленинград, 1988 / Болотовский В. И., Вайсгант З
2. Аккумуляторные батареи. Краткий справочник. / (издательство "За рулём") / Москва, 2008 / Курзуков Н. И., Ягнятинский В. М.



3. Зарядные устройства. Выпуск 1: Информационный обзор для автолюбителей /Москва, 2005 /А. Г. Ходасевич, Т. И. Ходасевич
4. Исследование методов диагностики аккумуляторных батарей /2012г /Д. П. Чупин

## **ФРЕЙМОВАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА**

Симонова Лариса Анатольевна

Капитонова Гузель Маратовна

Федеральный Набережночелнинский институт (филиала) КФУ

[guzel1208@mail.ru](mailto:guzel1208@mail.ru)

**Аннотация:** в работе предложена фреймовая модель представления знаний о технологическом маршруте изготовления изделия экспертной системы.

The paper proposes a frame model of knowledge representation about the technological route of the expert system product manufacturing.

**Ключевые слова:** технологическая подготовка производства, маршруты изготовления, экспертная система, фреймовая модель.

Процесс технологической подготовки производства подразумевает использование большого объема информации, работу с большими объемами данных, таких как обеспеченность производства материалами и комплектующими, доступность производственных ресурсов, применение различных инструментальных средств и информационных систем управления производством на базе ERP и MES.

Важной задачей в процессе технологической подготовки производства (ТПП) является задача выбора оборудования и формирования маршрутов изготовления изделия. Задача подбора оборудования в машиностроительном производстве для выполнения заказа только возможностями специалиста характеризуется применением субъективного решения, зависящего от опыта данного специалиста и требует много времени. Для таких задач целесообразно использовать многоагентные технологии, применяемые для динамического управления сетевыми ресурсами, которые имеют преимущества при использовании их в распределенной среде. Применение многоагентной технологии применительно к задаче автоматического выбора оборудования и формирования маршрута изготовления изделия обусловлено развитой моделью внешнего мира благодаря наличию у многоагентной системы базы знаний, механизмов решения и анализа действий. Поскольку в процесс производства вовлечено множество лиц разных подразделений, работающих в разных направлениях, важной задачей автоматизации данного процесса является разрешение противоречий при построении оптимального технологического маршрута изготовления изделия на этапе ТПП. При многоагентном подходе эта задача решается путем использования методов организации взаимодействия и координации действий интеллектуальных агентов. Для достижения

максимального эффекта необходимо, чтобы система управления производством при этом была полностью автоматизированной [1].

Методика представление знаний в информационной системе должна позволять достаточно быстро извлекать элементы знаний в нужной ситуации с помощью относительно несложного и естественного механизма. Также обеспечивать перевод входных данных в форму, пригодную для хранения в машиночитаемом виде и иметь базу знаний с развитыми средствами индексирования и контекстной адресации. Тогда информационная система сможет управлять последовательностью применения определенных знаний, даже не обладая точной информацией о том, как они хранятся.

Применение многоагентной технологии требует систематизированную методику описания на машинном уровне того, что знает технолог, специализирующей в области ТПП, и определенную организованность знаний.

Основной вопрос при представлении знаний заключается в определении состава знаний и в адекватном представлении моделируемой системы.

Информационная система состоит из базы данных, где хранятся данные о технологическом процессе изготовления изделия; базы знаний где аккумулируются правила работы экспертной системы; базы прецедентов, с помощью которой формируются новые знания для базы знаний.

База знаний включает в себя предметную область ТПП: множество сущностей, описывающих область экспертизы, т.е. множество объектов, влияющих на выбор оптимального маршрута изготовления изделия, значений их характеристик и связывающих их отношений. База знаний включает сущности - структуры данных и решаемые над ними задачи, представляемые в виде исполняемых утверждений в виде правил, процедур и формул[2].

С точки зрения архитектуры знания в базе знаний целесообразно делить на интерпретируемые и неинтерпретируемые. К первому типу относятся те знания, которые способен интерпретировать технолог. Все остальные знания относятся ко второму типу.

Одним из показателей интеллектуальности системы с точки зрения представления знаний считается способность системы использовать в нужный момент релевантные знания. Связность знаний является основным способом, обеспечивающим ускорение поиска релевантных знаний. Знания следует организовывать вокруг наиболее важных объектов (сущностей) предметной области. Все знания, характеризующие некоторую сущность, связываются и представляются в виде отдельного объекта. Наиболее подходящим методом представления знаний в информационной системе, учитывая выше изложенные требования, является фрейм-представление знаний.

Во-первых, фрейм - это структура данных предназначенная для представления некоторой стандартной ситуации. В отличие от формальных моделей эвристические модели имеют разнообразный набор средств, передающих специфические особенности технологического процесса изготовления. Именно поэтому эвристические модели превосходят логические как по возможности адекватно представить проблемную среду, так и по эффективности используемых правил вывода.

Во-вторых, фреймовые представление знаний в экспертных системах, отличаются от формальных продукционных систем тем, что они используют более сложные конструкции правил, выражаемую часто в виде семантических структур, так как это происходит при описании технологического процесса. Структур фреймов от описаний процедур состоит в том, что фреймы могут вызываться не по имени, а по соответствию текущей ситуации той ситуации, которую описывает данный фрейм. С каждым слотом фрейма связаны описания условий, которые должны быть соблюдены. В простейших случаях эти условия могут сводиться к указанию семантических категорий, которым должно удовлетворять значение слота. В более сложных случаях условия могут касаться отношений между значениями, выбираемыми для нескольких слотов [3].

В-третьих, важнейшим свойством теории фреймов является заимствованное из теории семантических сетей наследования свойств. Наследование свойств может быть частичным, так и полным заимствованием свойств, что удобно при формировании типовых технологических процессов для конструктивно похожих друг на друга изделий [2].

В-четвертых, основным преимуществом фреймов как модели представления знаний является то, что она отражает концептуальную основу организации памяти человека, а также ее гибкость и наглядность.

На рисунке 1 приведена обобщая схема фрейм-представления базы предметных знаний информационной системы выбора технологического маршрута изготовления производственного заказа с использованием взаимосвязей между отдельными блоками процесса технологической подготовки производства.

На схеме главным идентификатором, по которому определяется уникальность маршрута является фрейм-заказа, к которому привязываются фреймы единицы детали. Каждый фрейм единицы детали имеет связь с фреймом технологического процесса. Фрейм технологического процесса содержит описание зависимостей между входящими в нее фреймами материала, оборудования, операции, персонала, транспортировки, оснастки и инструмента. Фрейм-операция дальше декомпозируется на фреймы установка, позиции, перехода и рабочего хода.

Каждый из перечисленных фреймов имеет свой набор слотов, которые позволяют описать сущность фрейма и обеспечить взаимосвязь фреймов между собой, формируя единую систему. За счёт применения данного представления зависимостей в явном виде позволяет предсказать переход от одного состояния А (выражаемого фреймом  $A_f$ ) к другому зависимому от него состоянию В (выражаемому фреймом  $B_f$ ) и осуществить этот переход эффективно, т.е. не вычисляя заново значений всех параметров, характеризующих состояние В, а перечислив только изменившиеся или новые параметры [2].

Выбор альтернативных вариантов технологического маршрута производится путем сравнения соответствующих исходных данных фрейму-образца с ограничениями на обрабатываемую деталь фрейм-экземпляра.



## МИГРАЦИЯ ТОНКИХ СЛОЕВ ПО НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИМ ПОВЕРХНОСТЯМ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА

Тазюков Фарук Хоснутдинович, Карибуллина Фаида Рахимовна  
КНИТУ (КХТИ) ул. Карла Маркса, 68, Казань, Респ. Татарстан, 420015

**Аннотация.** Статья посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию явления течения тонких покрытий на неравномерно нагретой подложке с учетом подвижной линии контакта. Это явление можно объяснить появлением тангенциальной силы, приложенной к свободной поверхности капли и приводящей к термокапиллярной конвекции за счет эффекта Марангони. Термокапиллярная конвекция приводит к продольному градиенту давления, который направлен в сторону охлажденного конца подложки. В результате происходит деформация поверхности капли, увеличивается контактный угол на линии натекания, что приводит к перемещению капель в сторону отрицательного градиента температуры.

This paper is devoted to theoretical and experimental investigation of the following phenomenon: coating flow of thin drop on the non-uniformly heated substrate with considering the moving contact line. This phenomenon is explained by appearing the tangent force due to the Marangoni effect, applied to free surface of a drop and leads to thermocapillary convection. The occurring thermocapillary convection leads to a longitudinal pressure gradient, applied to the mass center of the drop and directed towards cooled end of the substrate. This convection defines the drop free surface deformation, increases the contact angle at advancing front and leads to drop displacement.

**Ключевые слова.** Эффект Марангони, миграция тонких капель, моделирование

Вакуумных системах при использовании масляных насосов может происходить негативный эффект миграции рабочей жидкости в откачиваемый объем [1].

Моделирование этого эффекта основано на учете того фактора, что стенки паромасляного насоса находятся в неизотермическом состоянии, следовательно, как только небольшая капля рабочей жидкости попадает на неравномерно нагретую поверхность, то в результате зависимости поверхностного натяжения капли от температуры возникает термокапиллярная конвекция [2]. Эта конвекция приводит к миграции масла в сторону отрицательного температурного градиента (т.е. в сторону откачиваемого объема) независимо от его расположения.

Основной целью нашей работы является математическое описание явления поверхностной миграции.

### Математическая постановка и принятые допущения

Явление перемещения тонких капель жидкости по неравномерно нагретой стенке объясняется действием тангенциальной силы, возникающей в результате воздействия эффекта Марангони на поверхности капель и приводящей к термокапиллярной конвекции в капле. Такая конвекция приводит

к деформации поверхности, увеличению угла контакта на переднем фронте и перемещению капли.

Для описания процессов на линии контакта предложен ряд феноменологических гипотез:

- углы контакта являются чувствительными характеристиками взаимодействия на линии трехфазного контакта;
- граничные условия скольжения необходимы для уменьшения влияния сингулярности вблизи натекающей контактной линии.

Математически это может быть описано следующим образом:

$$\eta \frac{\partial u}{\partial y} = \beta u, \quad (1)$$

где  $\beta$  - коэффициент пропорциональности;  $\lambda = \eta / \beta$  коэффициент проскальзывания;  $u$  - горизонтальная компонента скорости;  $\eta$  - динамическая вязкость. Значение  $\lambda$  настолько мало, что практически отсутствует скольжение на границе раздела жидкость/твердое тело, кроме линии контакта, где высота капли стремится к нулю.

Безразмерное уравнение, описывающее деформацию профиля капли в системе движущихся координат, связанную с каплей, в случае тонких слоев можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} -V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} [H^2(H + \epsilon) \frac{\partial^3 H}{\partial x^3}] \\ = \frac{Ca}{\theta_o^2} \frac{\partial}{\partial x} [H(\frac{3}{2} H + c)], \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$H = h(x) / (a\theta_o);$$

$$\epsilon = 3\lambda / (a\theta_o);$$

$$Ca = \frac{\partial \sigma}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x} \frac{a}{\sigma}.$$

Соответствующими граничными условиями являются:

$$H(\pm 1) = 0,$$

$$\left. \frac{\partial H}{\partial x} \right|_{x \rightarrow \pm 1} = a;$$

$$a = \theta_a / \theta_o$$

$$\int_1^{-1} H(x) dx = \frac{2}{3}$$

(3)

где  $a = \theta_a / \theta_o$  - отношение контактного угла натекания к равновесному контактному углу.

Граничная задача (2)-(3) является задачей Неймана. В работе методом асимптотических разложений найдено решение, соответствующее центральной области капли (внешней области) и соответствующее области течения вблизи для линии контакта (внутренней области). Для получения составного решения этой проблемы использован метод сращивания асимптотических разложений.

### **Обсуждение**

Проведенное моделирование позволяют выявить основные факторы, влияющие на процесс поверхностной миграции. К ним относятся: поверхностное натяжение вакуумной жидкости и его температурная зависимость, величина равновесного угла контакта (поверхностная миграция была предотвращена при угле контакта более, чем  $20^\circ$ ) и градиент температуры на стене.

Другими словами, поверхностная миграция в вакуумных системах происходит, когда стены находятся в неравномерно нагретых условиях.

Скорость этой миграции зависит от угла контакта, который является характеристикой взаимодействия между тремя фазами на движущейся линии контакта.

### **Ссылки**

1. Bascom, W. B., Cottington R. L., Singlaterry C. R.; Contact angle, wettability and adhesion; *Advances in Chem.*, 1964, 43, 355-379
2. Тазюков Ф.К., Норден П.А., Гарифуллин Ф.А.; Течение масляных пленок с покрытием с учетом взаимодействия трех фаз; Тез. докл. 2 инт. Конференция по многофазному течению; Киото, апрель 1995 г.

## **ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ ОТРАЖЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ**

Д.А.Тукмаков

ИММ –обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН,  
e-mail: [tukmakovda@imm.knc.ru](mailto:tukmakovda@imm.knc.ru)

В данной работе на основе континуальной модели динамики неоднородных сред численно исследуются ударно-волновые процессы в газозвеси. Математическая модель динамики многофазных сред описывает скоростную и температурную неравновесность исследуемых процессов. Метод численного решения имел второй порядок точности. Для удаления численных осцилляций применялась схема нелинейной коррекции сеточной функции.

In this work, on the basis of a continuum model of the dynamics of inhomogeneous media, shock wave processes in a gas suspension are numerically studied. A mathematical model of the dynamics of multiphase media describes the velocity and temperature nonequilibrium of the studied processes. The method of numerical solution had a second order of accuracy. To remove the numerical oscillations, a nonlinear correction of the grid function was used.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, численные методы, отражение ударной волны.

Одним из бурно развивающихся разделов механики сплошных сред является динамика неоднородных смесей и численное моделирование нестационарных процессов в таких средах [1-16]. Важность данной тематики продиктована целым рядом приложений в химической и горной промышленности в аэрокосмических технологиях, порошковой металлургии и т.д.

В данной работе исследуется влияние параметров дисперсной фазы неоднородной среды на отражение от твёрдой поверхности ударной волны распространяющейся из чистого газа в газозвесь.

**Математическая модель.** Система уравнений движения двухфазной двух температурной двухскоростной монодисперсной смеси в двумерном случае имеет вид [1,7,8]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \nabla \rho_1 V_1 &= 0; \\ \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \nabla \rho_2 V_2 &= 0; \\ \frac{\partial \rho_1 V_1}{\partial t} + \nabla^k (\rho_1 V_1 V_1^k) - \nabla^k \tau_i + \nabla p &= -F + \alpha_2 \nabla p \\ \frac{\partial \rho_2 V_2}{\partial t} + \nabla^k (\rho_2 V_2 V_2^k) &= \frac{\rho_{20}}{\rho_{10}} (F - \alpha_2 \nabla p)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial (e_1)}{\partial t} + \nabla^k ((e_1 + p - \tau_i) V_1) + \Delta T_1 &= -\hat{Q}_1 - |F_k| (V_1^k - V_2^k) + \alpha_2 \nabla^k (p V_1^k); \\ \frac{\partial (e_2)}{\partial t} + \nabla e_2 V_2 &= \hat{Q}_1.\end{aligned}$$

Здесь и ниже  $V_i = [u_i, v_i]$ -вектор скоростей несущей и дисперсной составляющих многофазной среды,  $\tau_i = \tau_{x_i x_i}$   $i=1,2$ - тензор вязких напряжений несущей компоненты

$$\begin{aligned}\tau_{x_1 x_1} &= \mu \left( 2 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} - \frac{2}{3} D \right), \tau_{x_2 x_2} = \mu \left( 2 \frac{\partial v_1}{\partial x_2} - \frac{2}{3} D \right), \tau_{x_1 x_2} = \tau_{x_2 x_1} = \mu \left( \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_1}{\partial x_1} \right), \\ D &= \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_1}{\partial x_2}.\end{aligned}$$

Силы межфазного взаимодействия, которая включает в себя силу аэродинамического сопротивления, силу Архимеда и силу присоединенных масс. Для двумерного случая компоненты  $F_{x_1}, F_{x_2}$  и тепловой поток  $\hat{Q}_i$  определяются как:



$$F_x = \left( \frac{3}{4} \frac{\alpha}{(2r)} C_d \rho_1 \sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2} (u_1 - u_2) + \alpha \rho_1 \left( \frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + v_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right) + \right. \\ \left. + 0.5 \alpha \rho_1 \left( \frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + v_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} - \frac{\partial u_2}{\partial t} - u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} - v_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right) \right) L / \rho_{10} c^2 ,$$

$$F_y = \left( \frac{3}{4} \frac{\alpha}{(2r)} C_d \rho_1 \sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2} (v_1 - v_2) + \alpha \rho_1 \left( \frac{\partial v_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + v_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right) + \right. \\ \left. + 0.5 \alpha \rho_1 \left( \frac{\partial v_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + v_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_2} - \frac{\partial v_2}{\partial t} - u_2 \frac{\partial v_2}{\partial x_1} - v_2 \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \right) \right) L / \rho_{10} c^2 ,$$

$$\hat{Q} = QL / \rho_{10} c^3 ,$$

$$\hat{Q}_l = Q(L / \rho_{10} c^3) (\rho_{10} c^3 / L) L / \rho_{20} C_T T_{20} c = \hat{Q} \frac{\rho_{10}}{\rho_{20}} \frac{c^2}{C_T T_{20}} .$$

Здесь  $p$ ,  $\rho_1$ ,  $u_1$ ,  $v_1$  – давление, плотность, декартовы составляющие скорости несущей среды в направлении осей  $x$  и  $y$  соответственно;  $T_1$ ,  $e_1$  – температура и полная энергия газа;  $\rho_2$ ,  $T_2$ ,  $e_2$ ,  $u_2$ ,  $v_2$  – средняя плотность, температура, внутренняя энергия, декартовы составляющие скорости дисперсной фазы в направлении осей  $x$ ,  $y$ . Температура несущей среды находится из уравнения  $T_1 = (\gamma - 1)(e_1 / \rho_1 + 0.5(u_1^2 + v_1^2)) / R$ , где  $R$  – газовая постоянная несущей фазы. Внутренняя энергия взвешенной в газе дисперсной фазы определяется как  $e_2 = \rho_2 C_p T_2$ , где  $C_p$  – удельная теплоемкость единицы массы вещества дисперсной фазы. В уравнение энергии для несущей фазы входит коэффициент теплопроводности газа, коэффициент теплообмена  $\alpha^T$  на поверхности частица- несущая среда и тепловой поток за счет теплообмена между газом и частицей  $Q = \alpha^T 4\alpha r^2 (T_1 - T_2) n = 6\lambda N u \alpha (T_1 - T_2) / (2r)^2$ , где  $Nu = 2r\alpha^T / \lambda$ . Число Нуссельта определяется с помощью известной аппроксимации в зависимости от относительных чисел Маха, Рейнольдса и от числа Прандтля:

$$Nu = 2 \exp(-M_{20}) + 0.459 Re_{20}^{0.55} Pr^{0.33}, 0 \leq M_{20} \leq 2, 0 \leq Re_{20} < 210^5 .$$

Уравнения дополнялись соответствующими начальными и граничными условиями. На границах расчетной области задавались условия прилипания для составляющих скорости.

Система уравнений решалась явным методом Мак-Кормака второго порядка в обобщенных координатах [17] с последующим применением схемы нелинейной коррекции решения [18].

*Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант №18-31-00370.*

### Литература.

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1 Наука, 1987.-464с.
2. Куликов В.Н., Лапидус А.И., Тиванов Г.Г., Шамшев К.Н. О структуре ударной волны в газозвеси // МЖГ, 1989. № 2. С. 190 - 191.

3. Кутушев А.Г. Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах. СПб.: Недра, 2003, 284 с.
4. Губайдуллин А.А., Дудко Д.Н., Урманчиев С.Ф. Моделирование взаимодействия воздушной ударной волны с пористым экраном // Физика горения и взрыва, 2000, №4, С.87-96.
5. Кратова Ю.В., Фёдоров А.В., Хмель Т.А. Дифракция плоской ударной волны на обратном уступе в газозвеси // Физика горения и взрыва, 2009, №5, С.95-107.
6. Веревкин А.А., Циркунов Ю.М. Течение дисперсной примеси в сопле Лаваля и рабочей секции дфухфазной гиперзвуковой ударной трубы//Прикладная механика и техническая физика, 2008, № 5, С. 102-113.
7. Баянов Р.И., Тукмаков А.Л. Численная модель динамики односкоростной парагазокапельной среды // Известия высших учебных заведений, Авиационная техника, 2015. № 1. С. 19-25.
8. Тукмаков А.Л., Тонконог В.Г., Коченков А.Г., Кусюмов С.А. Численное моделирование течения вскипающей жидкости в каналах переменного сечения// Известия высших учебных заведений, Авиационная техника, 2011. № 4. С. 54-59.
9. Тонконог В.Г., Тукмаков Д.А. Нелинейные колебания газозвеси и дрейф твердой фазы в акустическом резонаторе проточного типа // Инженерно-физический журнал, 2013. Т. 86. № 3. С.576-583.
10. Яненко Н.Н., Солоухин Р.И., Папырин А.Н., Фомин В.М. Сверхзвуковые двухфазные течения в условиях скоростной неравновесности частиц. Новосибирск: «Наука», 1980, 160 с.
11. Ивандаев А.И., Кутушев А.Г., Нигматулин Р.И. Газовая динамика многофазных сред. Ударные и детонационные волны в газозвесах. В Сб.: Механика жидкости и газа, Т.16. Итоги науки и техники. ВИНТИАНСССР, М., 1981, С.209-287.
12. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В., Такаяма К. Разрушение капель жидкости. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2008. 307 с.
13. Тукмаков Д.А. Включение в методику преподавания дисциплины «гидродинамическая теория кумуляции» элементов методологии современной механики жидкости и газа// Ростовский научный журнал, №6, 2019, С. 134-143.
14. Тукмаков Д.А. Одномерная нестационарная численная модель волновой динамики дисперсного потока в электрическом поле// Continuum. Математика. Информатика. Образование. 2019, №1, с. 13-19.
15. Tukmakov D.A. Numerical study of polydisperse aerosol dynamics with the drops destruction// Lobachevskii Journal of Mathematics, 2019, Vol. 40, No. 6, pp. 824–827.
16. Тукмаков Д.А. Численное моделирование ударно-волновых течений в газозвеси с неоднородной концентрацией дисперсной фазы// Авиационная техника, 2019, №1, с. 54-59.
17. Fletcher C.A., Computation Techniques for Fluid Dynamics, Springer-Verlang, Berlinetal., 1988, 502 P.
18. Музафаров И.Ф., Утюжников С.В. Применение компактных разностных схем к исследованию нестационарных течений сжимаемого газа // Математическое моделирование, 1993, т.5, №3, с.74-83.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КАЛЬКУЛЯТОРА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА СТАНКЕ ЧПУ

Урманов Марат Данилович - аспирант 1 года.

Почтовый адрес: Сармановский тракт, д.52; индекс: 423803

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета

**Аннотация:** В статье проведена оценка использования инструментального калькулятора в цепочке сквозного проектирования детали и его применение на производстве.

**Abstract:** The article assesses the use of a tool calculator in the through-chain design of a part and its application in production.

**Ключевые слова:** инструментальный калькулятор, сквозное проектирование.

**Keywords:** Tool calculator, through the design.

Важную роль в обеспечении эффективности и конкурентоспособности предприятий машиностроения играет конструкторско-технологическая подготовка производства, главными задачами которой являются повышение технического уровня и экономичности новых видов продукции, сокращение затрат на разработку и освоение производства новых изделий. Важнейшими этапами этого процесса являются подбор технологической оснастки и разработка управляющей программы для станка с ЧПУ. Оба этапа тесно взаимосвязаны между собой: любой технолог знает, что без учета инструментального обеспечения невозможно построить операционный технологический процесс. Отсюда вытекают задачи построения эффективной системы инструментообеспечения и ее связи с системами автоматизированной подготовки технологических процессов [1].

На многих предприятиях при использовании режущих инструментов применяют различные вычислительные методы для назначения режимов резания:

- Нормативные (табличные);
- Эмпирический метод;
- Автоматизированные на основе ЭВМ;

Каждый метод имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Однако в условиях современного производства, в котором применяют сквозную цепочку проектирования изделий, необходимо использовать более гибкий «инструмент» - автоматизированные расчеты режимов резания, которые позволят сократить время на технологическую подготовку производства.

В данной статье будет произведена оценка эффективности использования инструментального калькулятора производителя режущего инструмента, а также возможность его применения в цепочке сквозного проектирования.

В качестве примера рассмотрим немецкого производителя инструментов «Walter». Данный производитель предлагает назначать режимы резания для

своих инструментов согласно каталогу, либо использовать инструментальный калькулятор.

Исходные данные для назначения режимов резания:

Таблица 1. Исходные данные для назначения режимов резания.

Вид обработки	Инструмент	Количество зубьев	Номер по каталогу	Обрабатываемый материал	Глубина резания, мм
Фрезерование уступа	Фреза диаметром 100 мм	8	M4132-100-B27-80-09	Бронза (CuAl10Fe3Mn3)	1

Для расчета режимов резания использовался «Walter Machining Calculator», который расположен на сайте производителя. Были получены следующие значения:



Рисунок 1 – Рекомендуемые режимы резания.

Рассмотрим особенности работы с данным инструментальным калькулятором. Безусловным преимуществом является его простота, довольно легко читаемый интерфейс и немаленькая база данных обрабатываемых материалов. Однако для назначения режимов резания технологу необходимо знать подачу на зуб и скорость резания. Данный калькулятор не дает каких-либо рекомендаций для назначения этих параметров, поэтому технологу необходимо будет либо взять их с коробки с пластинами, если фреза сборная, либо установить дополнительное приложение «Walter feeds & speeds». Однако в обоих случаях технологу придется тратить время на использование дополнительных ресурсов.

К тому же данный калькулятор не учитывает особенности станка, т.е. его характеристики. Это может привести к тому, что калькулятор будет рекомендовать режимы резания, например, для старого оборудования, которые будут критичны для него или не выполнимы.

Еще одним недостатком является отсутствие разделения на черновые, получистовые и чистовые операции.

Поверхность, которую необходимо получить должна иметь шероховатость Ra 3.2 мкм (чистовое фрезерование).

Используем режимы резания, полученные согласно исходным данным для фрезерования уступа. При данных условиях процесс резания сопровождался повышенной вибрацией с характерным звуком. Результат обработки можно увидеть на рисунке ниже.

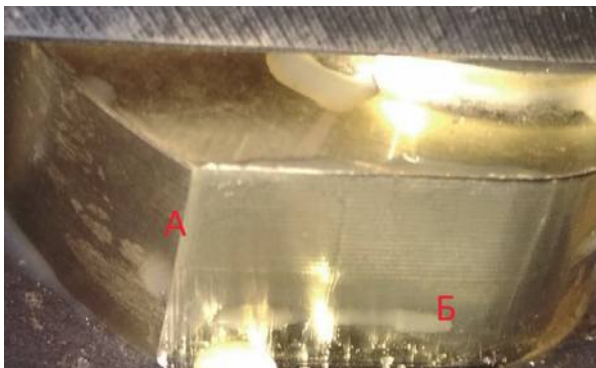


Рисунок 2 – Полученная поверхность после фрезерования: А – фрезерование согласно рекомендациям производителя режущего инструмента, Б – фрезерование с корректировкой режимов резания.

Полученная шероховатость поверхности не удовлетворительна. Необходимо было внести корректировочные действия.

Для начала следует убедиться, что на процесс резания не влияет жесткость системы. Так как деталь была закреплена непосредственно на самом столе станка и вылет инструмента минимален, то можно предположить, что данный фактор не является причиной получения такой поверхности.

Следующим шагом необходимо корректировать режимы резания или стратегию обработки. На сайте производителя имеются рекомендации по решению проблем при фрезеровании в случае возникновения вибрации и неудовлетворительного качества обработанной поверхности.

Предложенные варианты:

- Увеличить подачу и уменьшить глубину резания
- Изменить направление резания
- Увеличить скорость резания и уменьшить подачу

Рассмотрим предложенные рекомендации выше.

Первый вариант не изменил качество поверхности и снизил производительность обработки. Второй вариант не дал явных результатов. Качество поверхности не изменилось. Третий вариант обеспечил требуемую точность при заданной производительности (рис.2.-Б). Были выполнены следующие действия:

- увеличена частота вращения с 645 об/мин до 1000 об/мин;
- подача осталась согласно рекомендациям производителя.

Проанализировав полученные данные можно прийти к выводу, что данный калькулятор при работе в таких условиях не объективен. Главной

причиной является отсутствие разделения операций фрезерования на чистовые, получистовые и черновые операции.

Применение данного инструментального калькулятора на производстве возможно в качестве первоначальных данных для фрезерования при обработке новой партии детали. Однако рекомендованные режимы резания на этапе технологической подготовки производства необходимо будет корректировать, что повлечет за собой потерю времени и ресурсов.

Можно сделать общий вывод о том, что для расчетов режимов резания необходимо использовать калькуляторы, которые будут учитывать больше факторов, влияющих на процесс обработки: характеристики оборудования, точность получаемой поверхности и др. Также необходимо учитывать, что применяемые калькуляторы должны иметь интеграцию с САМ системой, применяемой на производстве.

#### Список литературы.

1. Ирзаев Г. Х. Исследование и моделирование информационных потоков конструкторско-технологических изменений на этапах освоения и серийного производства изделий // Организатор производства. 2012. Т. 52. № 1. С. 131–135.

УДК 528.44

### ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Успанкулов Б.М., аспирант

(Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекистан, г. Ташкент, E-mail: [bekjon.90@mail.ru](mailto:bekjon.90@mail.ru) ),

Рахмонов К.Р., кандидат экономических наук, доцент

(Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекистан, г. Ташкент, E-mail: [kosimdjon50@gmail.com](mailto:kosimdjon50@gmail.com)),

Абдумунинова Д.Т., аспирант

(Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекистан, г. Ташкент, E-mail: [temurlanovnadiana@gmail.com](mailto:temurlanovnadiana@gmail.com)),

Гозиев Г.И., аспирант

(Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекистан, г. Ташкент, E-mail: [g.goziev@gmail.com](mailto:g.goziev@gmail.com)),

**Аннотация.** В статье рассмотрены инновационные технологии, обеспечивающие достоверную информацию для создания единой системы государственного кадастра.

**Ключевые слова:** Единая система государственных кадастров, кадастр зданий и сооружений, GPS, ручной сканер

## INFORMATION MODELING IN THE REGISTRATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING INNOVATIVE TECHNOLOGIES

**Abstract.** The article deals with innovative technologies that provide reliable information for the creation of a unified system of state cadastre.

**Keywords:** Unified system of state cadastre, cadastre of buildings and structures, GPS, manual scanner

В целях обеспечения единого общегосударственного комплексного учета и оценки природно-экономического потенциала Республики Узбекистан и ее отдельных территорий, ведется единая система государственных кадастров. Единая система государственных кадастров (ЕСГК) это - многоцелевая информационная система, объединяющая все виды государственных кадастров. [1.]

В состав ЕСГК входят 21 вид кадастров, которые можно разделить на 4 группы:

1. Объекты недвижимости
2. Объекты линейности
3. Объекты природных ресурсов
4. Объекты особо охраняемых природных территорий

При учете объектов, использование инновационных технологии уменьшает затраты и дает возможность оперативно предоставлять достоверную информацию и создавать единую систему кадастров. Но надо отметить есть ряд недостатков при учете и предоставлении информации. Что бы выяснить и устранить ряд недостатков рассмотрим один вид кадастра из первой группы недвижимости кадастра зданий и сооружений.

Государственный кадастр зданий и сооружений ведется для обеспечения эффективного использования и охраны зданий и сооружений, прав собственников и других пользователей данными объектами, а также государственной регистрации права собственности на здания и сооружения. [2.] Одним словом кадастр зданий и сооружений ведется для качественного, количественного учёта объекта и регистрация прав на имущества юридических и физических лиц. После учёта объекта взимается налог на имущество.

Ведение государственного кадастра зданий и сооружений осуществляется в три этапа:

1-й этап - сбор и регистрация в кадастровой книге данных о правовом, хозяйственном и архитектурно-строительном статусе зданий и сооружений на уровне района, города;

2-й этап - создание кадастрового плана с графической фиксацией объектов;

3-й этап - создание компьютерных баз данных о зданиях и сооружениях с учетом сведений, полученных на предыдущих этапах.

Однако для сбора данных и предоставления достоверной информации в ЕСГК следует обратить наибольшее внимание на второй этап. Так как при помощи кадастровых работ определяется количественный и качественный

состояние зданий и сооружений в том числе земельного участка и создаются кадастровые планы с графической фиксацией объектов.

Местоположения земельных участков должны фиксироваться внесением в кадастр, значений прямоугольных координат точек X и Y или геодезических координат B и L поворота границ участков который обеспечивающий точную привязку участков на местности, учет их площади, конфигурации и положения относительно соседних участков. Однако на практике границы объекта недвижимости определяются по его проекции на условную уровневую поверхность (на горизонтальную плоскость) с помощью технологии как рулетки и лазерного дальномера.

С помощью вышеуказанных технологий не возможно определить точные координаты, площадь земельного участка сложной конфигурации и затраты времени при количественном учете зданий и сооружений. Это значительно влияет на создание достоверной информационной базы. В результате этого налог на имущество будет взиматься не равномерно, а также будут предоставляться недостоверные сведения в ЕСГК. Что бы избежать вышеуказанных проблем при количественном учёте земельных участков, зданий и сооружений необходимо применять современные технологии на примере GPS приборы, ручные сканеры и сеть базовых станций. При использовании этой технологию и метода погрешность обмера составляет 2-3 мм и увеличивается качество и оперативность обмера.



Рисунок 1 - Сеть базовых станций

В приложение к Постановлению Государственного комитета земгеодез кадастра от 22.10.2015 г. N 33, зарегистрированному МЮ Республики Узбекистан 03.11.2015 г. N 2725 содержит «размерности прав» пункт 22. Архитектурно-строительные чертежи зданий и сооружений составляются в минимальном объеме, без лишних подробностей. Рисуется план внутренних помещений здания. Если здание состоит из нескольких этажей, в этом случае рисуются планы всех этажей, в том числе и подвала. Планы этажей здания рисуются в масштабе 1:100 или 1:200 с присвоением названий (например, “План 1-этажа”, “План 2-этажа”, “План подвала”). Пункт 23. Описание подземных сооружений (труб, используемых в различных целях, электрических



линий и линий связи, сооружений связанных с добычей полезных ископаемых и т.п.) вносится в кадастровое дело с использованием данных из проектно-сметной документации или государственного кадастра этих зданий. [3.] Для оперативного учета зданий и сооружений можно использовать ручные сканеры.



Рисунок 2 – Вид ручного сканера

Сбор данных с помощью ручного сканера так же прост, как обычная прогулка. Преимуществом этого метода по сравнению с традиционными методами всего за несколько десятков минут можно выполнить сканирование нескольких этажей небольшого здания, его можно переносить вручную, устанавливать на дроны, роботы или просто прикреплять к вехе. Помимо сокращения времени сканирования, с помощью ручного сканера можно получить оперативные планы этажей здания с точностью 2-3 мм и трёхмерной моделью. Программное обеспечение использует алгоритм и уравнивает данные сканирования без необходимости дополнительного контроля со стороны пользователя.

Преимуществом выше указанных технологий является оперативность, достоверность информации, обеспечивающая объективность и справедливость ставки налогообложения, а также улучшения качества кадастровых работ в создании ЕСКГ.

#### **Список используемой литературы:**

1. Приложение к Постановлению Государственного комитета земгеодезии кадастра от 22.10.2015 г. N 33, зарегистрированному МЮ 03.11.2015 г. N 2725.
2. Приложение к постановлению Кабинета Министров Республики Узбекистан от 16 февраля 2005 года № 66 «О порядке создания и ведения Единой системы государственных кадастров».
3. Приложение к постановлению Кабинета Министров Республики Узбекистан от 2 июня 1997 г. № 278 «О порядке ведения государственного кадастра зданий и сооружений».
4. Успанкулов Б.М. «О необходимости введения трехмерного кадастра зданий и сооружений в Республике Узбекистан», VI Международной научно-практической конференции «Global science and innovations 2019: Central asia» Казахстан, 2019. – 193 с.

## ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ДЕНИТРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ КИСЛОТ В ВИХРЕВОМ КОНТАКТНОМ УСТРОЙСТВЕ

Фаляхов Динар Харисович, Гафуров Расим Вильданович,  
Халитов Рифкат Абдрахманович  
Казанский национальный исследовательский технологический  
университет, г. Казань, ул.К.Маркса, д.68

В работе представлены результаты экспериментальных исследований гидродинамических характеристик физической модели вихревого контактного устройства для интенсификации процесса денитрации отработанных кислот.

The paper presents the results of experimental studies of the hydrodynamic characteristics of the physical model of the vortex contact device for the intensification of the process of denitration of spent acids.

**Ключевые слова:** отработанная серноазотная кислотная смесь, денитрация, вихревое контактное устройство

**Keywords:** spent nitric-sulfur acid mixture, denitration, vortex contact device

В производстве нитратов целлюлозы образуются отработанные серно-азотные кислотные смеси, которые подвергаются денитрации. Процесс денитрации проводят в колонных аппаратах барботажного типа нагревом кислотной смеси острым перегретым водяным паром с получением 98% азотной кислоты[1]. Процесс денитрации является тепломассообменным процессом осложненным химическими реакциями, как в газовой, так и в жидкой фазах. Для процесса денитрации характерен также большой диапазон изменения соотношения расходов газовой (G) и жидкой (L) фаз по высоте колонны, который составляет:  $L/G = (1 \div 12)$  кг/кг.

Проведенный анализ путей интенсификации процесса денитрации отработанных кислот показал, что для интенсификации процесса денитрации возможно применение вихревых контактных устройств [2]. Однако при высоких нагрузках по жидкой фазе вихревые устройства работают не достаточно эффективно из-за провала жидкости из вихревого устройства на нижележащую ступень. Нами разработана новая конструкция вихревой колонны денитрации с вихревыми устройствами в которых исключен провал жидкости со ступени [3]. Конструкция вихревой контактной ступени вихревой колонны денитрации представлена на рисунке 1. Наличие газового патрубка 5 позволяет работать контактной ступени в беспровальном режиме.

Проведены исследования гидродинамических характеристик физической модели вихревой ступени. В результате проведенных экспериментальных исследований получены зависимости гидравлического сопротивления, брызгоуноса и объемной концентрации жидкой фазы от расходов газовой и жидкой фаз.

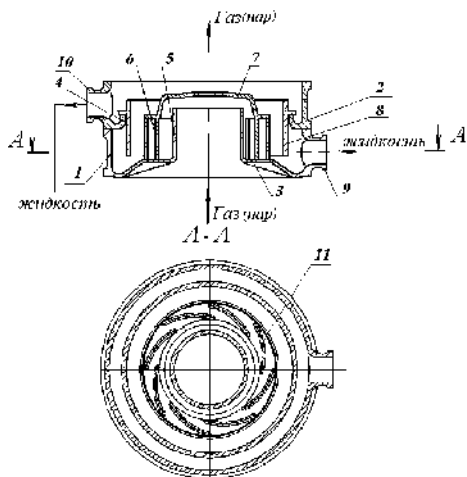


Рисунок 1. Вихревая контактная ступень: 1 – нижняя царга; 2 – верхняя царга; 3 – тарелка; 4 – отбортовка; 5 – газовый патрубок; 6 – завихритель; 7 – крышка завихрителя; 8 – контактный патрубок; 9 – патрубок входа жидкости; 10 – патрубок выхода жидкости; 11 – лопатки завихрителя

На рисунке 2 представлена зависимость гидравлического сопротивления ( $\Delta P$ ) вихревого аппарата от скорости газа в щелях завихрителя ( $W_{щ}$ ) при различных расходах жидкости ( $L$ ).

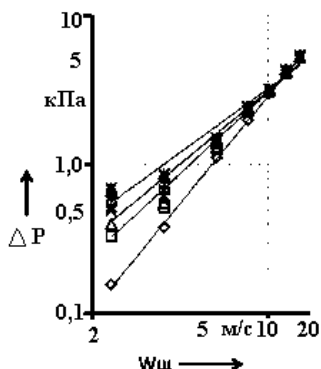


Рисунок 2. Зависимость гидравлического сопротивления ( $\Delta P$ ) вихревого аппарата от скорости газа в щелях завихрителя ( $W_{щ}$ ) при различных расходах жидкости  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

◇ 0  $\text{м}^3/\text{ч}$  △ 0,195  $\text{м}^3/\text{ч}$  ○ 0,41  $\text{м}^3/\text{ч}$  × 1,75  $\text{м}^3/\text{ч}$

Из графиков рис. 2 видно, что при увеличении скорости газа в щелях завихрителя гидравлическое сопротивление вихревого устройства возрастает, что соответствует турбулентному движению двухфазного потока в вихревом устройстве. С увеличением расхода орошающей жидкости наблюдается незначительное повышение перепада давления. Это связано с тем, что энергия газового потока в основном расходуется на преодоление сопротивления конструктивных элементов вихревого устройства. Затраты энергии на раскрутку и подъем жидкости при этом не столь существенны. Вихревое устройство показало интенсивный режим взаимодействия газовой жидкой фаз во всем исследованном диапазоне изменения расходов газовой и жидкой фаз.

В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения, описывающие изменение гидравлического сопротивления вихревой ступени от скорости газа в щелях завихрителя.

$$\text{при } L=0,41 \text{ м}^3/\text{ч} - \Delta P = 0,1669W_{\text{щ}}^{0,9757}$$

В многоступенчатых массообменных аппаратах повышенный брызгоунос снижает эффективность ступени и предопределяет собой верхние предельные нагрузки по газу. Брызгоунос жидкости со ступени оценивается по величине относительного брызгоуноса. Величина относительного брызгоуноса рассчитывается как отношение абсолютного брызгоуноса к количеству подаваемой на ступень жидкости. Величина относительного брызгоуноса для массообменных аппаратов не должна превышать величины 0,1 или 10% от количества подаваемой на ступень жидкости.

На рисунке 3 представлена зависимость относительного брызгоуноса ( $\epsilon$ ) вихревого аппарата от скорости газа в щелях завихрителя ( $W_{\text{щ}}$ ) при разных расходах жидкости ( $L$ ).

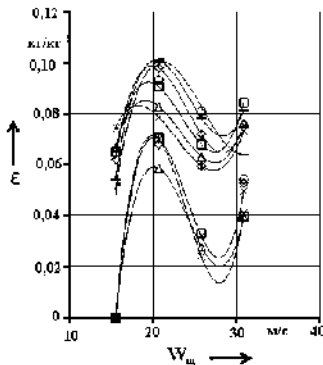


Рисунок 3. Зависимость относительного брызгоуноса ( $\epsilon$ ) вихревого аппарата от скорости газа в щелях завихрителя ( $W_{\text{щ}}$ ) при разных расходах жидкости  $L$ , м<sup>3</sup>/ч:  
 $\square$  0,195 м<sup>3</sup>/ч  $\triangle$  0,265 м<sup>3</sup>/ч  $\times$  0,335 м<sup>3</sup>/ч  
 $\star$  0,41 м<sup>3</sup>/ч  $+$  0,91 м<sup>3</sup>/ч = 1,19 м<sup>3</sup>/ч

Кривые на графике носят характер «мини-макса». Из графика видно, что с увеличением скорости газа в щелях наблюдается повышение относительного брызгоуноса, а затем снижение, а потом опять - возрастание. Это явление характерно для всех расходов жидкости и объясняется тем, что с увеличением скорости газа в щелях завихрителя возрастает крутка газового потока и уменьшается толщины пленки жидкости в контактной патрубке. При высоких скоростях газового потока большее количество жидкости начинает уноситься газовым потоком на вышележащую ступень.

Получены уравнения, описывающие экспериментальные зависимости:  
 при  $L=1,75 \text{ м}^3/\text{ч}$  -  $\epsilon = -0,6432 + 0,1027L - 0,0047L^2 + 7E-05L^3$

Одним из основных путей интенсификации массообменных процессов является увеличение объемной концентрации жидкой фазы на ступени. Объемная концентрация жидкой фазы представляет собой отношение объема жидкой фазы к объему контактного патрубка и характеризует среднее время

пробывания жидкой фазы на ступени. На рисунке 4 представлен график зависимости объемной концентрации жидкой фазы вихревой ступени от скорости газа в щелях завихрителя при различных расходах жидкой фазы.

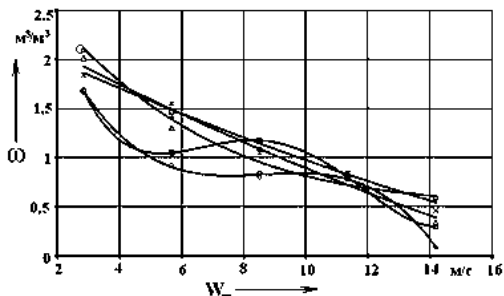


Рисунок 4. Зависимость объемной концентрации жидкой фазы вихревой ступени от скорости газа в щелях завихрителя при различных расходах жидкости  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$\square$  0,195  $\text{м}^3/\text{ч}$   $\triangle$  0,265  $\text{м}^3/\text{ч}$   $\times$  0,335  $\text{м}^3/\text{ч}$   
 $\star$  0,41  $\text{м}^3/\text{ч}$   $+$  0,91  $\text{м}^3/\text{ч}$   $=$  1,19  $\text{м}^3/\text{ч}$

Как видно из анализа графиков, с увеличением расхода жидкости наблюдается повышение удерживающей способности вихревого устройства. Увеличение расхода газовой фазы приводит к снижению удерживающей способности. При низких скоростях газового потока и высоких расходах жидкости наблюдается высокая удерживающая способность вихревого устройства.

Исследования показали, что вихревое устройство обладает не высоким гидравлическим сопротивлением, брызгоуносом в допустимых пределах, высокой объемной концентрацией жидкой фазы и работает в беспровальном режиме в широком диапазоне изменения нагрузок по газовой и жидкой фазам.

### Литература

1. Лебедев, А.Я. Установки денитрации и концентрирования серной кислоты / А.Я. Лебедев. – М.: Химия, 1972. – 270 с.
2. Степанов И.Н. Интенсификация процесса денитрации отработанных кислот в условиях производства нитратов целлюлозы /И.Н.Степанов, Р.А.Халитов, Ф.Махоткин // Вестник казанского технологического университета – Казань: 2013. - № 23. – С. 57 – 59.
3. Пат. 2607208 Российская Федерация МПК В01D 3/32 Колонна концентрирования кислот/Халитов Р.А. и [др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КНИТУ» - №2015127331; заявл. 07.07.2015; опубл. 10.01.2017, бюл. №1

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ НАНЕСЕНИИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ОКУНАНИЯ

<sup>1,2</sup>Владимир Леонидович Федяев, <sup>1</sup>Петр Петрович Осипов,

<sup>2</sup>Алексей Витальевич Беляев

<sup>1</sup>ИММ - обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН  
Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, д.2/31

E-mail: [morenko@imm.knc.ru](mailto:morenko@imm.knc.ru)

<sup>2</sup>КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

E-mail: [AVBelyaev@kai.ru](mailto:AVBelyaev@kai.ru)

**Аннотация.** Рассматриваются тепловые процессы при нанесении защитных покрытий на рабочие поверхности деталей, изделий методом окунания. Выделяются основные технологические операции при реализации данного метода: предварительный подогрев обрабатываемой поверхности электрошлаковым способом, погружение детали, изделия в расплав на небольшую глубину. В обоих случаях предлагается математическое описание процессов переноса тепла, формулируются соответствующие задачи, которые решаются численно, а при дополнительных упрощениях – аналитически. В результате анализа полученных данных выявлены особенности и основные закономерности рассматриваемых процессов, представлены научно обоснованные практические рекомендации.

**Annotation.** Thermal processes are considered when applying protective coatings on the working surfaces of parts, products by dipping. The main technological operations during the implementation of this method are distinguished: preliminary heating of the treated surface by the electroslag method, immersion of the part, product into the melt to a shallow depth. In both cases, a mathematical description of heat transfer processes is proposed, the corresponding problems are formulated, which are solved numerically, and with additional simplifications, analytically. As a result of the analysis of the obtained data, the features and basic laws of the processes under consideration were identified, scientifically based practical recommendations are presented.

**Ключевые слова:** защитные покрытия, метод окунания, электрошлаковый подогрев, математическое моделирование.

**Введение.** При наплавке защитных покрытий на поверхности больших размеров достаточно эффективны способы, основанные на литейных методах [1, 2]. Особенность их состоит, в частности, в том, что можно осуществить соединение обрабатываемых деталей (литейная сварка). В настоящей работе рассматривается один из вариантов этих способов – наплавка покрытий методом окунания. Выделяются две основные технологические стадии: электрошлаковый подогрев рабочих поверхностей деталей, изделий, теплообмен погруженных плоских деталей при контакте с перегретым

расплавом. Для анализа названных процессов используется метод математического моделирования.

**Теоретическая часть.** Предварительно рассматривается случай, когда перед окунанием детали температура её равняется  $30.0^{\circ}\text{C}$ , расплава  $2000.0^{\circ}\text{C}$  [3, 4]. Упрощенная расчетная схема представляет собой две плоские области, одна из которых занята твердым материалом детали, вторая – расплавом. Граница между ними (межфазная плоская поверхность) считается подвижной. Математическое описание протекающих в этой системе тепловых процессов с фазовыми переходами включает в себя уравнения переноса тепла в каждой из областей, начальные и граничные условия. В качестве граничных условий принимаются условия конвективного теплообмена на внешних поверхностях расчетной области, на межфазной границе записываются условия идеального теплового контакта. Согласно ним температура твердого материала и расплава равняется температуре фазовых переходов  $T_{\phi}$ , разность удельных тепловых потоков определяется произведением плотности материала  $\rho$ , скрытой теплоты плавления  $L$  и скорости движения межфазной границы  $v = v(\tau)$  ( $\tau$  - время).

Сформулированная таким образом задача (задача Стефана) решается как численно, так и аналитически при условии, что внешние поверхности удалены от межфазной границы на большое расстояние.

Показано, что сразу после контакта за счет охлаждения расплава межфазная граница смещается в сторону расплава, затем толщина затвердевшего расплава уменьшается и в определенный момент времени граница возвращается в исходное положение. Очевидно, что время данного теплового процесса можно сократить, если предварительно подогреть материал поверхностного слоя погружаемой детали. Это время также существенно уменьшается при достаточно активном перемешивании расплава, например, с помощью электромагнитных полей, соответствующих установок. Поскольку после подплавления материала основы движение межфазной границы в сторону твердого тела необходимо обратить и, в конечном счете, «наморозить» слой определенной толщины, рассмотрены также способы, обеспечивающие такую динамику межфазной границы. Установлено, что наиболее эффективным является интенсивное охлаждение внешней поверхности тела, начиная с момента времени, когда межфазная граница возвращается в исходное положение. Перемешивание расплава к этому моменту времени необходимо прекратить.

Обратимся далее к стадии электрошлакового подогрева рабочей поверхности детали [5] перед погружением в расплав. Применительно к трубной доске теплообменника расположение доски (1), трубок (2), слоя шлака (3), расплава (4) схематично показывается на рис. 1. Здесь же условно изображен и источник электрического тока.

При протекании тока через шлак он разогревается, соответственно нагревается доска с трубками. После достижения нужной температуры поверхности доски производится сквашивание шлака с одновременным

опусканием теплообменника до соприкосновения с расплавом и частичного погружения в него.

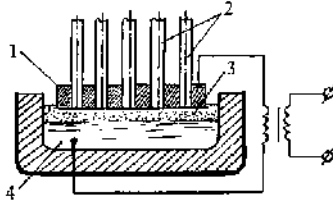


Рисунок 1 – Положение трубной доски, слоя шлака, расплава в фурорванной емкости

Математическое описание тепловых процессов, протекающих при реализации данной технологической операции, состоит в следующем. Выделяются три бесконечно протяженных слоя твердого материала (детали), шлака и расплава соответственно с толщиной  $h_1, h_2, h_3$ . Задается начальная температура этих слоев  $T_{10}, T_{20}, T_{30}$ ; теплофизические параметры их (плотность, теплопроводность, удельная теплоемкость) – средние в рассматриваемом интервале температур. Предполагается, что контактные термические сопротивления между слоями  $R_{12}, R_{23}$ ; контактные электрические сопротивления, характеризуемые мощностями тепловыделений  $Q_{12}, Q_{23}$  не равны нулю.

Внутри каждого из слоев перенос тепла описывается уравнением:

$$\frac{\partial T_i}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + q_i. \quad (1)$$

Здесь  $T_i$  – температура в детали ( $i = 1$ ), шлаке ( $i = 2$ ), расплаве ( $i = 3$ ),  $a_i = \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i}$  – температуропроводность,  $q_i = (I/S)^2 \sigma_i / (c_i \rho_i)$  – мощность внутренних источников джоулева тепла,  $I$  – ток,  $S$  – площадь контрольного сечения, через которое проходит ток,  $\sigma_i$  – удельное электрическое сопротивление материала соответствующего слоя,  $x$  – поперечная к слоям координата.

В начальный момент времени  $T_i(0, x) = T_{i0}$  – температура материала  $i$ -го слоя перед нагревом.

Предполагается, что на границе контакта внешней поверхности слоя твердого материала ( $x = 0$ )

$$\lambda_1 \frac{dT_1}{dx} = \frac{T_1 - T_0}{R_0(T_0, T_1)}, \quad (2)$$

на поверхности слоя расплава ( $x = h_1 + h_2 + h_3$ )

$$\lambda_3 \frac{dT_3}{dx} = \frac{T_S - T_3}{R_S(T_S, T_3)}. \quad (3)$$



Здесь  $T_0, T_S$  – температура воздуха, материала футеровки емкости, в которой находится расплав;  $R_0, R_S$  – термические сопротивления на соответствующих поверхностях контакта.

При условии, что контактные термические сопротивления  $R_{12}, R_{23}$  обусловлены радиационным сопротивлением, величина их определяется соотношениями:

$$R_{12} = \left( \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) / \left( \sigma_0 (T_1 + T_{2S})(T_1 + T_{2S}^2) \right),$$

$$R_{23} = \left( \frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_3} - 1 \right) / \left( \sigma_0 (T_{2P} + T_3)(T_{2P} + T_3^2) \right),$$
(4)

$\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана; температуры материала 1, 2, 3 слоев на поверхности контакта детали со шлаком  $T_1, T_{2S}$ , шлака с расплавом  $T_{2P}, T_3$ ;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – степень черноты поверхностей контакта детали, слоя шлака, расплава.

В результате численного решения задачи (1) – (4) при  $h_1 = h_2 = 0.05$  м,  $h_3 = 0.35$  м,  $\rho_1 = \rho_3 = 7000$  кг/м<sup>3</sup>,  $a_1 = a_3 = 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с;  $\rho_2 = 700$  кг/м<sup>3</sup>;  $a_2 = 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с;  $\sigma_1 = \sigma_3 = 0.006$  Ом · м,  $I = 51000$  А,  $S = 0.8$  м<sup>2</sup>, начальной температуре детали 30°С, шлака 1000°С, расплава 2000°С установлено, что джоулево тепло, выделяемое, в основном, в слое шлака подогревает поверхность детали вплоть до температуры плавления за сравнительно короткий промежуток времени. Интересно, что при этом основная часть материала детали прогревается мало, приблизительно, на 70 – 80 °С.

**Закключение.** Из полученных результатов расчетов следует, что метод электрошлакового подогрева поверхности контакта детали с расплавом является весьма эффективным, при применении его отпадает необходимость перегрева расплава. Более того, поскольку при контакте детали со слоем шлака поверхность её очищается, предварительная обработка поверхности детали, по существу, не нужна.

### Список литературы

1. Король В.К., Гильденгорн М.С. Основы технологии производства многослойных металлов. М.: Металлургия, 1970. 237 с.
2. Михайлов А.М. Литейное производство. М.: Машиностроение, 1987. 256 с.
3. Мазо А.Б. Численное решение задачи для нелинейного уравнения параболического типа с вырождением на подвижной границе //Иссл. По прикл. матем. Изд. КГУ, 1984, вып. II. С.111-123.
4. Мазо А.Б. Математическое моделирование процессов горячей обработки металлов. Казань: Казанский фонд «Математика», 1996. 209с.
5. Глебов А.Г., Мошкевич Е.И. Электрошлаковый переплав. М.: Металлургия, 1985. 343 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТКАНИ

<sup>1,2</sup>Владимир Леонидович Федяев, <sup>2</sup>Валентин Илдарович Халиулин,  
<sup>2</sup>Марат Хасанович Фасхутдинов

<sup>1</sup>ИММ - обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН  
Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, д.2/31

E-mail: [morenko@imm.knc.ru](mailto:morenko@imm.knc.ru)

<sup>2</sup>КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

E-mail: [pla.kai@mail.ru](mailto:pla.kai@mail.ru)

**Аннотация.** Рассматриваются основные технологические операции (стадии) формирования на поверхности пористой подложки (ткани) покрытия из дискретно расположенных эластичных сферических частиц. На первой из них осуществляется радиационный подогрев частиц с целью их размягчения, на второй частицы поджимаются катком к подложке, отчасти вдавливаясь в нее, на третьей стадии материал деформированных частиц охлаждается. Принимается ряд упрощающих допущений, формулируются соответствующие математические задачи. В результате аналитического решения их получены соотношения для оценки параметров, характеризующих данные процессы, позволяющие, вместе с тем, определить рациональные технологические режимы подогрева, поджатия, охлаждения частиц.

**Annotation.** The basic technological operations (stages) of the formation on the surface of a porous substrate (fabric) of a coating of discretely located elastic spherical particles are considered. On the first of them, radiation heating of the particles is carried out in order to soften them, on the second, the particles are pressed by the roller to the substrate, partly being pressed into it, at the third stage, the material of the deformed particles is cooled. A number of simplifying assumptions are made, the corresponding mathematical problems are formulated. As a result of an analytical solution, they obtained relations for evaluating the parameters characterizing these processes, which at the same time make it possible to determine rational technological modes of heating, preloading, and cooling of particles.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, формирование покрытия, пористая поверхность подложки.

**Введение.** В технике, природе встречается немало случаев, когда находящийся на пористой подложке слой эластичного материала поджимается к ней, частично вдавливаясь, в результате чего на подложке формируется покрытие постоянной толщины. Например, при нанесении слоя клеящего полимерного материала на поверхность углеродной ткани, световозвращающих покрытий [1], уплотнении верхнего слоя земли при выполнении дорожно-строительных, сельскохозяйственных работ [2]. В общем случае можно выделить три основные термомеханические операции формирования таких

покрытий: подогрев частиц эластичного материала до приобретения им пластических свойств; поджатие; вдавливание их в пористую ткань, подложку чаще всего катками, колесами дорожных либо сельскохозяйственных машин; отверждение вследствие охлаждения, действия других факторов. Анализ процессов, протекающих при реализации данных операций с применением методов математического моделирования, осуществляется ниже.

**Теоретическое исследование.** Рассмотрим последовательно подогрев частиц, находящихся на поверхности подложки; прижатие к подложке; охлаждение материала образовавшегося на подложке слоя покрытия.

*Подогрев частиц.* С целью упрощения математического описания нагрева частиц предполагается, что подложка является плоской, толщина её  $h_m$ . Она в свою очередь находится на прогреваемом слое материала толщиной  $h_r$ . Соответствующие теплофизические характеристики материалов этих слоев: плотность  $\rho$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , удельная теплоемкость  $c$  обозначаются индексами « $m$ » и « $r$ ». Кроме того, дискретно расположенные на поверхности подложки частицы сферической формы радиуса  $r_p$  заменяются на эквивалентный сплошной слой толщиной  $h_p$ , показатели материала которого  $\rho_p$ ,  $\lambda_p$ ,  $c_p$ . Считается, что между названными слоями имеет место идеальный тепловой контакт, на внешней поверхности нижнего слоя интенсивность теплового потока характеризуется величиной  $q_1$ , на поверхности контакта слоя частиц с окружающей средой происходит радиационный теплообмен с плоской поверхностью нагревательного элемента, температура её  $T_1$ . Предполагается, что находящаяся между нагревательным элементом и поверхностью слоя частиц газовая среда оптически прозрачна, коэффициент черноты поверхности нагревательного элемента  $\varepsilon_1$ , слоя частиц  $\varepsilon_2$ .

Известно [3, 4], что интенсивность результирующего радиационного теплового потока между двумя параллельно расположенными нагретыми плоскими поверхностями определяется соотношением:

$$q_r = \sigma_0 \varepsilon_{np} (T_1^4 - T_2^4).$$

Здесь  $\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\varepsilon_{np} = 1/(1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)$  – приведенный коэффициент черноты;  $S_1, S_2$  – площадь рабочей поверхности нагревательного элемента и обрабатываемой поверхности слоя частиц соответственно,  $\varepsilon_2 = \varepsilon_{2p} \zeta_p + \varepsilon_{2m} (1 - \zeta_p)$ ,  $\zeta_p = \pi d_p^2 / (4S_{p0})$ ,  $d_p = 2r_p$ ,  $S_{p0} = 0.25\pi d_p^2 / (\alpha_{p0} \delta_m)$ ,  $\alpha_{p0}$  – концентрация частиц на поверхности подложки,  $\delta_m \approx h_m$ ;  $\varepsilon_{2p}$ ,  $\varepsilon_{2m}$  – коэффициенты черноты поверхности частиц и материала подложки;  $T_2$  – эквивалентная температура на поверхности слоя частиц.

С целью дальнейшего упрощения тепловой задачи предположим, что приближенно

$$q_r = \alpha_r (T_1 - T_2),$$

где  $\alpha_r \approx \sigma_0 \varepsilon_{np} T_1^3 (1 + T_2/T_1) \approx \sigma_0 \varepsilon_{np} \tilde{T}_{12}$ ,  $\tilde{T}_{12} = (1 + \tilde{T}_2/T_1) T_1^3$ ,  $\tilde{T}_2 = 0.5(T_{21} + T_{22})$ ;  $T_{21}, T_{22}$  – температура поверхности слоя частиц перед нагревом и после его окончания.

При условии, что выделенные контактирующие слои термически тонкие, из уравнения теплового баланса контрольного участка слоистого материала для средней температуры  $\bar{T} = \bar{T}(\tau)$  получим соотношение:

$$\bar{T} = T_0 \exp(-\tilde{\tau}) + \left( \frac{\alpha_k T_g + \alpha_r T_1}{\alpha_k + \alpha_r} \right) (1 - \exp(-\tilde{\tau})). \quad (1)$$

Здесь  $\tilde{\tau} = \tilde{m}_k \tau$ ,  $\tilde{m}_k = \tilde{\alpha}_k / (\bar{\rho} \bar{c} h_0)$  – коэффициент, характеризующий темп нагрева,  $\tilde{\alpha}_k = \alpha_k + \alpha_r$ ,  $\alpha_k$  – коэффициент теплообмена на внешней поверхности нижнего слоя,  $T_g$  – температура среды, контактирующей с ним;  $\bar{\rho}$ ,  $\bar{c}$  – средняя плотность, удельная теплоемкость рассматриваемого слоистого материала,  $T_0$  – его начальная температура при  $\tau = 0$ ,  $h_0 = h_p + h_m + h_t$ .

Отметим, что если со стороны среды, находящейся вне нижнего слоя, происходит подогрев, то коэффициент  $\alpha_k$  в (1) положительный, если охлаждение – отрицательный.

*Поджатие частиц к подложке.* Остановимся на случае, когда на одиночную сферическую частицу наезжает поджимающей каток достаточно большого радиуса  $R_k$ . При пластическом состоянии деформируемого материала по аналогии с модулем упругости, модулем сдвига вводятся модули пластичности I и II рода [5, 6]. Необходимо иметь в виду, что данные модули зависят от температуры, степени упрочнения материала по ходу деформирования, скорости деформаций.

В процессе поджатия частицы к подложке следует обратить внимание на контактное трение, которое выражается, во-первых, в бочкообразности деформируемой частицы; во-вторых, в неравномерности распределения сил трения. Как правило, они возрастают от периферии к центру частицы; вблизи свободной поверхности близки к нулю. В-третьих, с уменьшением трения степень бочкообразности частицы уменьшается, в пределе форма боковых поверхностей в поперечном сечении будет близка к прямолинейной.

Учитывая сказанное, в процессе деформирования частицы выделим три стадии: начало поджатия, собственно само поджатие в течении интервала времени  $0 \div \tau_k$  ( $\tau_k = d_{pk} / u_t$ ,  $d_{pk}$  – средний диаметр сплюсненной частицы,  $u_t$  – продольная скорость движения катка), окончание поджатия.

Акцентируя внимание на основной, второй стадии, с целью получения инженерных оценок деформаций и усилий дополнительно предположим, что действие катка на частицу имитируется смещающейся по нормали к поверхности подложки пластины в течении времени  $\tau_k$ . В результате после ряда выкладок найдем соотношение для определения величины  $l_k$ , характеризующей динамику изменения радиуса поверхности катка частицы с подложкой и катком в процессе поджатия:

$$l_k = l_k(\tau) \approx -0.4h_p + \sqrt{0.15h_p^2 + 1.33r_p^3/h_p}, \quad (2)$$

где  $h_p = h_p(\tau) = d_p + 2\bar{V}_k \tau \left(1 - \frac{\tau}{2\tau_k}\right)$  – средняя толщина поджимаемой частицы,  $\bar{V}_k = u_\tau (h_k - d_p) / d_{pk}$  – скорость движения пластины,  $h_k$  – средняя толщина поджато го материала частицы.

Для отыскания суммарного усилия  $P_m$ , действующего на подложку со стороны деформируемой частицы, предполагается, что силы трения на поверхности контакта частицы и подложки меняются вдоль нее сравнительно слабо. Отсюда

$$P_m = P_m(\tau) = \frac{\sigma_\tau h_p}{f_m l_{k2}} \left(1 - \exp\left(\frac{2f_m l_{k2}}{h_p}\right)\right), \quad (3)$$

где  $\sigma_\tau = \sigma_\tau(\bar{T})$  – предел текучести подогретого материала частицы,  $l_{k2} \approx l_k$ ,  $f_m$  – коэффициент трения при перемещении материала частицы относительно поверхности подложки.

Охлаждение покрытия может происходить как естественным образом при контакте его с охлаждающим воздухом, так и при обдувании хладагентом. При этом доминирующим является конвективный теплообмен. Соответственно, для оценки средней температуры  $T^*$  покрытия, подложки и находящегося ниже её слоя материала толщиной  $h_t$  можно воспользоваться формулой, аналогичной (1):

$$T^* = T_{no} \exp(-\tau^*) + \left(\frac{\alpha_k T_g - \alpha_{k1} T_{g1}}{\alpha_k - \alpha_{k1}}\right) (1 - \exp(-\tau^*)). \quad (4)$$

Здесь  $\tau^* = m_k^* \tau$ ,  $m_k^* = \alpha_k^* / (\bar{\rho} c h_0^*)$ ,  $\alpha_k^* = \alpha_k - \alpha_{k1}$ ,  $\alpha_{k1}$  – коэффициент конвективного теплообмена на поверхности контакта покрытия с окружающей средой,  $T_{g1}$  – средняя температура этой среды на удалении от покрытия,  $T_{no}$  – начальная температура рассматриваемого трехслойного материала перед охлаждением,  $h_0^* = h_p^* + h_m + h_t$ ,  $h_0^*$  – толщина покрытия, учитывающая поступление материала частиц в поры подложки в результате вдавливания.

**Заключение.** Полученные расчетные соотношения (1) – (4) позволяют оценить динамику протекания выделенных взаимосвязанных технологических операций с учетом основных параметров, характеризующих геометрию слоев, теплофизические свойства материалов, а также действие внешних факторов; дают возможность определить рациональные технологические режимы, влияние на них существующих ограничений и требований.

### Список литературы

1. Галимов Э.Р., Тукбаев Э.Е., Федяев В.Л., Пряхин Ю.А. и др. Высокоэффективные технологии и оборудование для получения полимерных порошковых покрытий. Казань, Изд-во АН РТ, 2016. – 252 с.
2. Воробьев С.А., Каштанов А.Н., Лыков А.М., Макаров И.П. Земледелие. – М.: Агропромиздат, 1991. – 527 с.

3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Высшая школа, 1988. – 479 с.
4. Теплотехника / Под ред. В.Н. Луканина. М.: Высш. шк., 2000. – 671 с.
5. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
6. Суворов И.К. Обработка металлов давлением. М.: Высшая школа, 1980. – 364 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЭДПТ

Филина Ольга Алексеевна, Яшагина Анна Владимировна,  
Осетинский Георгий Владиславович

Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань

**Аннотация:** Эта статья посвящена проблеме технической диагностике на газовом оборудовании и транспорте. Для решения задачи необходим перевод качественного определения ТС на некоторую количественную основу. Формализация качественных определений является необходимым условием построения формальных (вычислимых) алгоритмов диагностики.

**Ключевые слова:** повышение надёжности, спектральный метод, компонент, процесс преобразования, методика, наработка, неисправность, возможные состояния.

Техническая диагностика – относительно новая отрасль знаний, быстро развивающаяся в последнее время по двум основным причинам:

- внедрение новых методов технической диагностики значительно повышает эффективность профилактического обслуживания. Это особенно важно в связи с отставанием числа персонала, занятого ремонтом и профилактикой, от роста объема установленного оборудования. Положение усугубляется тем, что для больших подстанций значительная часть основного оборудования используется за пределами номинального срока службы. Повышение эффективности профилактического обслуживания в первую очередь должно обеспечиваться переходом от планирования ревизий и осмотров по срокам к обслуживанию, зависящему от состояния оборудования;
- применение технической диагностики, использующей современные методы, повышает надежность и готовность оборудования. Большое значение при этом имеет технически обоснованное профилактическое обслуживание.

Техническая диагностика является обязательной составляющей в процессе эксплуатации турбогенератора на теплоэлектростанции (ТЭС). Обеспечение непрерывного эксплуатационного контроля турбогенераторов, а также их вспомогательных систем является основой надежной работы этого технологического оборудования. Высокая степень износа действующего оборудования электрических станций, низкий коэффициент обновления оборудования главных схем выдачи мощности повышает роль создания эффективной системы ремонта и технического обслуживания, а также

диагностики технического состояния таких дорогостоящих объектов, к которым относятся турбогенераторы высокой мощности [1,2,5].

Также на электростанциях используется система контроля и диагностирования генераторов СТК-ЭР. Информация о выявленных отклонениях от нормальной работы и сменные отчеты автоматически или по запросу оператора распечатываются на принтере. Ввод настроечных параметров: выбор канала, тип преобразователя, подключаемого параметра, диапазон измерения, значения установок и т.д. осуществляется с панельного компьютера и защищен паролем.

Система позволяет производить эксплуатационный контроль, индикацию и регистрацию технологических параметров генератора в базе данных системы. Также позволяет производить периодическую или по запросу оператора-технолога регистрацию параметров генератора на бумажном или магнитном носителях. Осуществляется непрерывный мониторинг генератора с предоставлением информации в виде мнемосхем, таблиц параметров, графиков зависимости параметров от времени, предупредительных и аварийных сообщений [3, 4].

2. Для улучшения диагностики и принятия решения оператором на электростанции используются системы поддержки принятия решений персоналом. Система поддержки принятия решений — компьютерная автоматизированная система, целью которой является помощь людям, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности. Системы поддержки принятия решений выполняют ряд сервисных функций по отображению информации в различной форме, включая и выборку по запросам пользователя. Основным недостатком рассмотренных выше систем является отсутствие интеллектуального анализа поступающей информации. Все представленные выше экспертные системы могут выявлять ошибку, но не объяснять причину ее появления. При этом число возможных известных системе ситуаций ограничено, а при возникновении внештатных ситуаций, информация не может быть корректно обработана, что существенно ограничивает возможности систем технической диагностики. Таким образом, для того чтобы решить эту задачу в данной работе предлагается создание системы диагностики, включающей в себя интеллектуальный анализ данных.

На рисунке 1 представлена высокоуровневая структурная схема экспертной системы. Как следует из рисунка 1, в системе предусмотрено использование всех необходимых блоков, которые должна иметь экспертная система диагностики. Для упрощения взаимодействия пользователя с инструментарием программных средств предусматривается формирование пользователем запросов по формам представления входной и выходной информации блоками отображения и объяснения решения.

Для внедрения методов нечеткой логики необходимо совершить переход от детерминированной базы данных ситуаций к пространству нечетких множеств двоичных диагностических признаков. Для этого необходимо провести логическую декомпозицию системы, в результате которой получим

пересекающиеся множества ситуаций  $M_1, M_2, \dots, M_n$ . Декомпозиция позволяет построить причинно-следственные зависимости, учитывающие пересечения подмножеств с коэффициентами достоверности возможных ситуаций, описывающих пространство состояний при той или иной декомпозиции. Ситуация описывается в виде деревьев. Вершины деревьев части ситуаций связаны с датчиками контроля реального состояния объекта.



Рисунок 1 - Высокоуровневая структурная схема экспертной системы

### Литература

1. Филина О.А., Михайловский А.Е., Яшагина А.В. Разработка программных комплексов контроля и диагностики состояния энергетических объектов с помощью теории шкал / В сборнике: Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы Сборник материалов VIII Международной молодежной научной конференции. 2018. С. 369-372.
2. Филина О.А., Елисеев Б.О., Гиматдинов Ф.С. Современные возможности вибродиагностики гэт / В сборнике: Материалы IX Международной научно-технической конференции "Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2018" (МНТК "ИМТОМ-2018") Материалы IX Международной научно-технической конференции. Казань, 2018. С. 260-263.
3. Филина О.А., Пасечник С.В., Гараева А.Р. Оперативная диагностика энергетических установок / В сборнике: Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2017 (МНТК "ИМТОМ-2017") Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 257-261.
4. Филина О.А. Исследование эксплуатационного ресурса электроджеток электродвигателя постоянного тока подвижного состава / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 133-139.
5. Филина О.А. Техническое состояние изделия и его бездемонтажная диагностика / В сборнике: Наука сегодня сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Научный центр «Диспут». 2014. С. 74.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ УСКОРЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПЕШЕХОДНЫХ МОСТОВ

Хайруллин Ирик Фазимович, магистр  
Шмелёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКиИС

[gn.shmelev@mail.ru](mailto:gn.shmelev@mail.ru)

Гимазетдинов Айваз Расимович, студент-магистрант

[aivazaivaz1313@gmail.ru](mailto:aivazaivaz1313@gmail.ru)

Антонов Анатолий Сергеевич, аспирант, ассистент кафедры МКиИС

ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** С целью определения реальных динамических характеристик и проведения анализа ускорения колебаний пешеходного моста длиной около 45 м, пролётное строение которого спроектировано из двух металлических двутавровых главных балок со сплошной наклонной стенкой, выполнен эксперимент по определению значения частот собственных вертикальных колебаний с последующим определением декремента затухания и среднеквадратичного ускорения.

**Abstract.** To determine the real dynamic characteristics and analysis of oscillation acceleration of a pedestrian bridge with a length of about 45 m, the superstructure of which is constructed of two metal I-beam main beams with a continuous inclined wall, an experiment was performed to determine the values of frequencies of own oscillations with subsequent determination of the damping ratio and RMS acceleration.

**Ключевые слова.** Динамические характеристики, пешеходные мосты, колебания

**Введение.** Цель работы – Экспериментальное определение динамических характеристик и анализ ускорения колебаний пешеходных мостов.

При проектировании пешеходных мостов руководствуются в основном статическими характеристиками рассматриваемых типов пролётных строений. При желании возвести несущую балочную конструкцию большого пролёта нельзя упускать из виду их относительно большую массу и низкую жёсткость из-за длины моста. Данные факторы приводят к низкой собственной частоте близкой к частоте пешеходной нагрузки, в виде проходящих по данному строению людей, которые, в свою очередь, выступают получателями вибраций. Например, частота возбуждающей силы человека при ходьбе варьируется в диапазоне от 1,2 до 2,4 Гц.

Определённые колебания конструкций могут привести к чувству тревоги обывателей. Для определения допустимости влияния вибраций на пешехода используется такой критерий как среднеквадратичное ускорение осреднённое за определённый промежуток времени.

### **Численные исследования**

Конструкция представляет собой металлическое пролётное строения с

двумя двутавровыми главными балками со сплошной наклонной стенкой, ортотропной плитой прохажей части понизу, расчетной длиной 44,0 м, полной длиной 44,6 м и пешеходным габаритом 3,25 м.

Общий вид пролетного строения представлен на рис. 1.

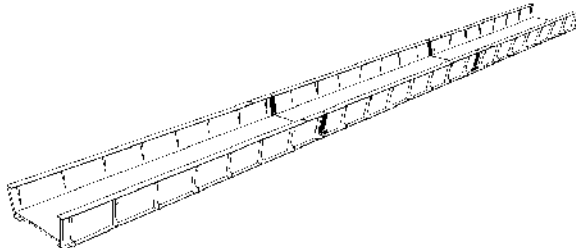


Рисунок 1 – Общий вид пролетного строения



Рисунок 2 – Общий вид пешеходного моста

В ходе динамических испытаний пролетных строений пешеходного моста определялись экспериментальные значения частот собственных вертикальных колебаний с последующим определением декремента затухания.

При динамических испытаниях возбуждение собственных колебаний конструкций производилось посредством раскачки группой из 5 человек, которая находилась в середине пролёта.

Группа по указанию руководителя некоторое время воздействовала на конструкции вертикальными движениями и после нескольких вертикальных толчков замирала до тех пор, пока колебания пролётного строения не снизятся до нулевого значения, при этом проводилась запись при помощи вертикального и горизонтального вибродатчиков «ВЭГИК» (рис. 5.3) и док-станции NI SCXI – 1000 с модулем NI 1317 (рис. 5.4), установленных в середине пролёта пешеходного моста. Частота снятия результатов составляет 50 Гц.

Диаграмма колебаний пролётного строения для вертикального вибродатчика приведена на рисунке 3.

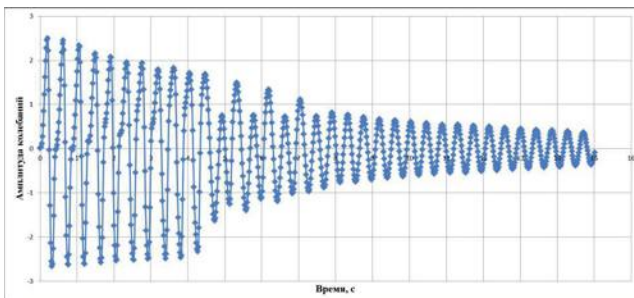


Рисунок 3 – Диаграмма колебаний пролета пешеходного моста

Частота колебаний вычисляется по 10 колебаниям по формуле:

$$\vartheta = \frac{N}{t} = \frac{10}{5} = 2,36 \text{ Гц},$$

где N – количество колебаний, равное 10;

t – время, за которое пролётное строение совершает N колебаний.

Декрементом затухания колебания  $\Delta$  называется отношение двух последовательных амплитуд:

$$\Delta = \frac{A(t)}{A(t+T)} = \frac{0,717}{0,668} = 1,073,$$

где A(t) – амплитуда n-го колебания,

A(t+T) – амплитуда n+1-го колебания (см. рис. 5.6)

При этом логарифмический декремент затухания колебаний составляет 0,071.

При воздействии группы людей с частотой близкой к частоте собственных колебаний 2,0 Гц получен график изменения амплитуды колебаний, на котором видно увеличение амплитуды, что означает о возникновении резонанса. Данное явление при определённых условиях может привести к значительной деформации несущих конструкций и остекления.

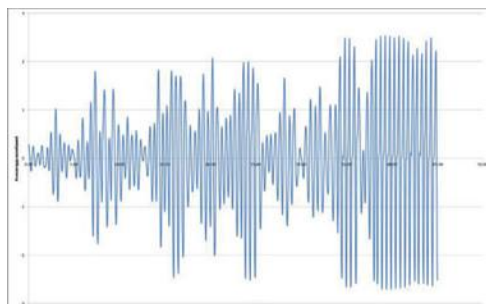


Рисунок 4 – График изменения амплитуды при динамическом воздействии с частотой близкой к собственной частоте пешеходного моста (2,0 Гц)

**Выводы.** По результатам расчетов выявлено существенное изменение напряжений в элементах настила. Также предложена простая методика учета влияния несовершенств крепления на напряженно-деформированное состояние. Одним из важных факторов является наличие зазоров в соединениях. В связи с этим необходимо дополнительное исследование действительной работы сооружений из сборно-разборных стержневых систем с учетом зазоров в узлах соединения для корректного их моделирования и определения их напряженно-деформированного состояния.

#### Список литературы

1. ISO 10137:2007(E) International standard, Bases for design of structures — Serviceability of buildings and walkways against vibrations. – 2010. - p. 112.
2. Зинович С., Павич А. и Рейнольдс П. Эксплуатационная надежность пешеходных мостов в условиях вибрации, вызванной человеком: обзор литературы. *J.Sound and Vibration*, 279 (1- 2), 2005, стр.1 –74.
3. Накамура С.И. Полевые измерения поперечной вибрации на пешеходном подвесном мосту. *The Structural Engineer*, 18 ноября 2003, стр. 22 – 26.
4. Хайдаров Л.И., Шмелев Г.Н., Зиятдинов Э.К. Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу // *Известия КГАСУ № 2 (40)*. –2017 – с. 139-145

### МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ В СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ В НОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПРИБОРАХ И СИСТЕМАХ

Хизбуллин Роберт Накибович, Хизбуллин Радик Накибович,  
Павлов Павел Павлович, Хуснутдинов Азат Назпович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
420061, г.Казань, ул.Красносельская, д.51. e-mail: [robert.khizbullin@mail.ru](mailto:robert.khizbullin@mail.ru)

**Аннотация:** Качественное лечение и восстановление пациентов-спортсменов зависит от достоверной информационной диагностики травм и заболеваний, но и адекватному терапевтическому воздействию. В большинстве случаев остается открытым вопрос дальнейшего прогнозирования состояния пациента-спортсмена в результате проведенного лечения. В статье рассмотрены основные медико-биологические проблемы при контроле терапевтических параметров воздействия и пути их решения в новых приборах и системах на основе термометрического и оптико-электронного методов.

**Abstract:** High-quality treatment and recovery of athletes-patients depends on reliable informational diagnosis of injuries and diseases, but also on adequate therapeutic effect. In most cases, the question remains of further predicting the condition of the patient-athlete as a result of the treatment. The article discusses the

main biomedical problems in monitoring the therapeutic parameters of exposure and ways to solve them in new devices and systems based on thermometric and optoelectronic methods.

**Ключевые слова:** свето-лазерная терапия, фотодиод, трёхволновый двухканальный лазерный пульсоксиметр, термометр медицинский цифровой прецизионный, фотоплетизмограф двухканальный лазерный.

*1. Существующие медико-биологические проблемы в здравоохранении и в спортивной медицине.* Проблема в свето-лазерной терапии: регистрация функции «воздействие – ответная реакция организма, т.е. отклик», приобретает особую актуальность. Несмотря на объективные и субъективные затруднения, можно найти пути решения этой проблемы, основанной на выделении сигнала фотобиологического воздействия. Задачи реализации этих путей состоят в разработке адекватных оптико-электронных информационно-метрологических методик применительно к медицинским технологиям.

В целом проблема определения набора соотносимых параметров ответных реакций организма на низкоинтенсивное лазерное воздействие представляет собой составную часть проблемы, -определение функциональной зависимости между совокупностью параметров воздействия и соотносимыми параметрами ответной реакции организма и использование её для экспозиции терапевтических доз первичных параметров воздействия.

В этой связи, предлагаемые: лазерная плетизмография, лазерная пульсоксиметрия и цифровая прецизионная термометрия являются универсальными методами, на которых будет базироваться контроль экспозиции терапевтической дозы на основе обратных информативных связей. Разработка новых биоуправляемых методов контроля терапевтических параметров воздействия в электро-свето-вакуумно-лазерной терапии является актуальными проблемами. Проведение свето-лазерных терапевтических процедур всегда тесно связано с понятием обязательного восприятия воздействия их биообъектом, например, при проведении электро-лазерной стимуляции можно использовать температуру органа - «мишени», на которое направлено воздействие, позволяющую оценить количество электро-лазерного воздействия, воспринятого конкретным организмом.

По изменению температуры можно регулировать параметры воздействия с целью увеличения эффективности восприятия воздействия организмом– это первая актуальная проблема исследования.

Изменения: температуры органа, кровотока организма, проводимости и др. факторов в зоне физиотерапевтического воздействия можно измерять и использовать для контроля параметров воздействия. Однако для этих целей необходимо в пределах 1°С точно до 0,1°С измерять температуру внутреннего органа в труднодоступных местах (урология, андрология, гинекология и др.). Существующие неинвазивные радиотермометрические и тепловизионные методы не обеспечивают требуемую для измерения температуры точность.

Первая проблема исследования реализована применением контактного метода измерения температуры с использованием термисторов с отрицательным ТКС, обеспечивающих в диапазоне  $+5^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$  погрешность  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, термометры (ТМЦП-2) [1] на основе термисторов можно отнести к разряду прецизионных. На базе термометра возможна реализация температурного контроля для биоуправляемой термометрии.

Второй актуальной медико-биологической проблемой является исследование закономерной связи терапевтических параметров воздействия с ФПГ [2], с помощью которой возможно выделение набора терапевтических параметров, вычисляемых из нее, для количественной оценки ответной реакции организма [3]. Применение в существующих одноканальных лазерных плетизмографах (ФПГ) на светоизлучающий диод (СИД) (920...960 нм) неизбежно приводит к «физиологической помехе» при регистрации ФПГ-сигнала на 30%. Получить приемлемую точность – менее 5%, повторяемость и адекватность ФПГ-сигнала невозможно светодиодной ФПГ. Необходимо разработка нового лазерного одноволнового ( $\lambda = 805 \pm 0,75$  нм,  $P = 0,1 \dots 0,2$  мВт) двухканального ФПГ1-2КЛ [4,5]. Длина волны лазерного диода (ЛД) 804,25...805,75 нм является «изобестической точкой» для окси- и дезоксигемоглобина. Он обеспечивает погрешность не более 5% и является не только информационным оптико-электронным прибором, но и прибором для автоматизированной обратной связи «воздействие-отклик».

Третьей актуальной медико-биологической проблемой является исследование закономерной связи терапевтических параметров воздействия с содержанием кислорода в крови. С помощью трёхволнового двухканального лазерного пульсоксиметра (ПСОЗ-2КЛ) [6] можно оптимизировать параметры дозы электро-лазерного и др. воздействия для количественной оценки ответной реакции организма, что позволяет считать положительным выполнением третьей проблемы.

2. *Пути решения медико-биологических проблем и практическая реализация в новых медицинских приборах и системах.* Для решения поставленных медико-биологических проблем разработаны новые принципы, методики, методы и способы построения на их основе оптико-электронных приборов для здравоохранения и спорта.

1. Принцип построения ФПГ1-2КЛ [4,5] с применением ЛД в датчике лазерном с рабочей длиной волны  $\lambda = 805 \pm 0,75$  нм, который обеспечивает:

1) реализацию нового метода регистрации ФПГ сигнала в «изобестической точке» 805 нм, с целью исключения на 30% «физиологических помех» по сравнению с одноканальным прототипом «Акутест» на СИД (920...960 нм);

2) использование второго ЛД-ФД канала как опорного и нормирование оптического сигнала с первого канала относительно опорного погрешностью до 5% регистрации кривой ФПГ;

3) приборную реализацию ФПГ1-2КЛ [4,5] класса точности 2,5, регистрирующие не только параметры кровотока в гемодинамике, но и позволяющие использовать ФПГ качестве биологической обратной связи как

корректора терапевтических параметров с целью исключения передозировки воздействия.

2. Разработанный метод контроля изменения температуры в качестве биологического параметра обратной связи между воздействием и температурной реакцией на него «органа-мишени» позволяет:

1) использовать температурную реакцию органов на физиотерапевтическое воздействие, как вторичные эффекты, и корректировать терапевтические параметры воздействия, как первичные эффекты;

2) приборно реализовать термометры прецизионные ТМЦП-2 [1], обеспечивающие измерение с точностью  $0,1^{\circ}\text{C}$ ; изменения температуры исследуемого органа в пределах  $+5...50^{\circ}\text{C}$ ;

3) корректировку параметров воздействия в соответствии с применяемой процедурой, включая регистрацию температуры кожи пациента в области расположения поверхностных датчиков пульсоксиметра.

3. Разработанный принцип построения и приборно реализованный на его основе ПСОЗ- 2КЛ [6], регистрирующий ФПГ сигналы с погрешностью 5% (ПСО «Спектротест» имеет 10%) от двух ЛД-ФД ( $\lambda = 640 \text{ нм}$ ,  $\lambda = 940 \text{ нм}$ ), вместо одной СИД-ФД оптопары, и одного калибровочного ЛД ( $\lambda = 805 \text{ нм}$ ) в составе датчика лазерного, работающих на использовании эффекта «обратного рассеяния» света от крови и биоткани, позволяет:

1) выявлять в диагностически локальной патологии сосудов, поверхностных и глубоких, синхронно на различных участках сердечнососудистой системы с возможностью ранней и высокоточной оценки состояния артериальных сосудов и регионального кровотока;

2) введением в конструкцию лазерного датчика ПСОЗ-2КЛ [6] третьего калибровочного ЛД с длиной волны излучения  $\lambda = 805 \text{ нм}$ , являющейся «изобестической точкой» для спектров поглощения гемоглобина, оксигемоглобина и других гемоглобиновых соединений, обеспечить повышение достоверности измерения у пациента содержания кислорода в крови на 30 процентов по отношению к ПОС с датчиками на СИД;

3) конструктивным построением поверхностных датчиков с использованием подобранных трёхосевых акселерометров с целью регистрации величины механического ускорения по трём взаимно перпендикулярным осям устранять влияние артефактов движения пациента и упростить программное обеспечение ПСОЗ -2КЛ [6];

4) введением в конструкцию поверхностных датчиков температурного сенсора регистрировать температуру поверхности кожи пациента в области расположения датчиков и обеспечить контроль итоговой функциональной зависимости выделения на термисторе сенсора мощности от изменения температуры кожи для корректировки процесса лечения;

5) подтвердить полученные экспериментальным путём и произведённым теоретическим расчётом результаты оптимального расположения ЛД и ФД поверхностных датчиков  $10... 20 \text{ мм}$ .

Приведенные характеристики и принципы построения новых медицинских приборов, описанные выше, и на их основе медицинских

автоматизированных систем, позволяют решить актуальные медико-биологические проблемы стоящие перед спортивной медициной.

### Список литературы

1. Ларюшин А.И., Галкин М.А., Хизбуллин Р.Н., Новиков В.А. Термометр медицинский цифровой прецизионный // Мир измерений. – 2010. – № 9. –С.9-14
2. Мошкевич В.С. Фотоплетизмография. -М.: Медицина, 1970.-345с.
3. Змиевской Г.Н., Галкин М.А., Костюков Д.В. Биодозиметрия в низкоинтенсивной фототерапии // Лазер-информ.-2008.-№17 (392).-С.6-9.
4. Ларюшин А.И., Галкин М.А., Мишанин Е.А., Кузьмич А.П., Новиков В.А., Хизбуллин Р.Н. Применение двухканального лазерного фотоплетизмографа в урологии // Мир измерений. 2010. № 9. –С.28-33.
5. Ларюшин А.И., Галкин М.А., Хизбуллин Р.Н., Новиков В.А. Двухканальный лазерный фотоплетизмограф // Мир измерений. 2010. № 7. –С.22-28.
6. Хизбуллин Р.Н. Оптический двухканальный пульс-оксиметр на основе лазерных датчиков для решения актуальных задач в медицинской практике// Фотоника. -2017. –№.1. –С.144-157.

## ПАТТЕРНЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ ТП В МАШИНОСТРОЕНИИ

Хузяттов Шафик Шаехович, Валиев Рустам Асгатович  
Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт  
423810, г. Набережные Челны, пр. Мира, д.68/19.  
huzjatov@mail.ru

**Аннотация.** Паттерны программного обеспечения автоматизированной системы управления разработаны для элементов автоматизации с унифицированными алгоритмами обработки данных и расчета управляющих воздействий. Для этих элементов определены типы данных, хранение данных, функциональность и организация обмена данных между различными уровнями системы управления.

**Abstract.** Software patterns of the automated control system are developed for automation elements with unified algorithms of data processing and calculation of control actions. For these objects data types, data storage, functionality, and organization of data exchange between different levels of the control system are defined.

**Ключевые слова:** автоматизация, система управления, программное обеспечение, паттерн-проектирование, машиностроение.

Многообразная взаимосвязь объектов автоматизации в машиностроении усложняет разработку программного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) [1, 2]. Использование



современных средств разработки программного обеспечения для SCADA-систем и контроллеров значительно упрощает процесс создания системы управления. Но при больших количествах датчиков и исполнительных устройств и их сложной взаимосвязи разработка программного обеспечения АСУ ТП требует больших временных затрат [3].

Типовые технологические процессы машиностроения часто отличаются друг от друга только количеством применяемых датчиков и исполнительных устройств, при этом для обработки данных и управления реализуются одинаковые алгоритмы [4, 5]. В таких случаях становится целесообразным применение шаблонных проектов для разработки программного обеспечения АСУ ТП.

Шаблонные проекты для автоматизации типовых технологических процессов машиностроения были разработаны на основе аппаратных и программных средств Siemens. Программное обеспечение программируемого логического контроллера разработано в Step 7 (шаблонный ПЛК-проект) и предназначено для автоматического управления технологическим процессом. Программное обеспечение человеко-машинного интерфейса, разработанное в SCADA-системе WinCC (шаблонный ЧМИ-проект), предназначено для мониторинга и диспетчерского управления технологическим процессом.

В соответствии с методикой паттерна в качестве паттерн-элементов приняты однотипные датчики и исполнительные устройства, которые имеют одинаковые алгоритмы обработки данных и расчета управляющих воздействий [6 – 8]. Для них необходимо определить типы данных, хранение данных, функциональность и организацию обмена между программируемыми логическими контроллерами и устройствами человеко-машинного интерфейса.

Для каждого типа датчика или исполнительного устройства в шаблонном проекте программируемого логического контроллера созданы пользовательские типы данных, а в шаблонном проекте человеко-машинного интерфейса – структурные типы. В ПЛК-проекте элементы типов предназначены для хранения параметров объектов, а также выходных и входных данных. В структурном типе ЧМИ-проекта количество элементов равно количеству элементов в соответствующем пользовательском типе ПЛК-проекта. При этом типы этих элементов аналогичны типам хранения данных в памяти в соответствии IEEE-стандартам.

Хранение данных однотипных датчиков и исполнительных устройств в шаблонном ПЛК-проекте реализовано в виде блока данных. Он представляет собой одномерный массив с элементами пользовательского типа. В шаблонном ЧМИ-проекте для хранения данных каждого типа датчика и исполнительного устройства созданы однотипные структурные теги, которые объединены в соответствующие группы тегов.

Каждому элементу массива в блоке данных в пользовательской программе контроллера должен соответствовать структурный тег в приложении человеко-машинного интерфейса. Для этого в качестве адреса структурного тега выбрано смещение элемента массива в блоке данных.

Расчет управляющих воздействий для исполнительных устройств и обработка данных однотипных датчиков в шаблонном ПЛК-проекте выполнены с использованием созданных в проекте соответствующих массивов. Алгоритм обработки данных для каждой группы однотипных объектов осуществлен в виде функции или функционального блока.

В шаблонном ЧМИ-проекте реализована функциональность однотипных объектов для диспетчерского управления и мониторинга технологического процесса, для настройки параметров при пуско-наладочных работах, а также для аварийных сообщений и архивирования тегов. Графическая часть шаблонного ЧМИ-проекта представляет собой иерархическую систему, состоящую из экрана объектов и экранов состояний.

На экране объектов представлены графические объекты исполнительных устройств и типовых датчиков. Текущее состояние этих объектов отображается в виде различных визуальных эффектов. Это достигается за счет динамизации объектов с помощью динамического диалога или путем циклического выполнения VB-скриптов и C-скриптов.

Для каждого типа исполнительного устройства или датчика созданы подчиненные экраны процесса. Эти экраны состояний отображают значения выходных и входных сигналов объекта в онлайн-режиме, аварийные сообщения и тренды сигналов. При пуско-наладочных работах экран состояний позволяет реализовать настройку параметров выбранного объекта. Также экран состояний дает возможность осуществлять диспетчерское управление и диагностику технологического процесса в режиме реального времени.

В связи с тем, что программные средства Siemens для разных уровней могут реализовать обмен блоками данных, упрощение организации обмена между устройством человеко-машинного интерфейса и программируемыми логическими контроллерами осуществляется за счет использования для хранения данных блока данных.

Предложенная структура шаблонных проектов значительно облегчает их адаптацию под конкретные требования соответствующей системы управления. При разработке ПЛК-проекта для конкретного объекта автоматизации в зависимости от количества датчиков и исполнительных устройств определяется количество элементов массива в блоке данных для каждого типа. В разделе инициализации блока данных некоторым элементам структурного типа присваиваются начальные значения.

При разработке ЧМИ-проекта для конкретного объекта автоматизации вначале создается мнемосхема технологического процесса, путем копирования графических объектов типовых датчиков и исполнительных устройств из экрана объектов шаблонного проекта. Далее создаются структурные теги в необходимом количестве. Для каждого структурного тега определяются номер блока данных и смещение внутри этого блока.

Таким образом, при использовании однотипных элементов автоматизации в большом количестве для автоматизированных систем управления технологическими процессами применение паттернов значительно упрощает процедуру проектирования. В созданных на основе этой методики

шаблонных проектах предопределяются структура и функциональность программного обеспечения АСУ ТП. Применение паттернов становится эффективным при разработке программного обеспечения систем управления для типовых технологических процессов машиностроения. В то же время, универсальность подходов делает данную методику общезначимым при автоматизации различных промышленных объектов.

### Литература

1. Захарченко М.Ю., Игнатъев А.А., Добряков В.А. Современные проблемы автоматизации и управления в машиностроении // В сборнике: Автоматизация и управление в машино- и приборостроении. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2019. – С. 41 – 48.
2. Валиев Р.А., Хайруллин А.Х., Шибиков В.Г. Модели и методы синтеза алгоритмов и программ систем автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении // Вестник машиностроения. – 2015. – № 6. – С. 48 – 51.
3. Златогорский М., Клейменов Ю., Вережка А., Усачев А. Датчики физических величин в системах автоматизации машиностроения. инженерное моделирование. // В сборнике: Современные проблемы машиностроения. Сборник научных трудов XI Международной научно-технической конференции. Под ред. А.К. Томилина. – Томск: Изд-во НИТПУ, 2017. – С. 36 – 39.
4. Зинченко А.М., Левченко О.А., Щербак В.В. Особенности эффективности автоматизации сборочных работ в современном машиностроении. // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2011. – № 22. – С. 192 – 197.
5. Валиев А.М., Панкратов Д.Л., Илюхин А.Н. Способ управления технологическим процессом сборки неразъемного изделия на основе нечеткой логики // В сборнике: Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2016 (МНТК "ИМТОМ-2016") Материалы Международной научно-технической конференции. – Казань: Изд-во КНИИАТ, 2016. – С. 33 – 36.
6. M. Khalil. Pattern-based methods for model-based safety-critical software architecture design. // Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings - Series of the Gesellschaft fur Informatik (GI). - 2013, pp. 493 – 499.
7. Rustam A. Valiev, Shafik Sh. Khuzyatov. Pattern-design Software of Automated Control Systems. // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings. - 2017. - Vol., Is.. - Art. № 7910942.
8. Ситдииков И., Фархетдинов Р., Якупов Ф. Построение АСУ ТП с использованием принципа секционирования функций. // Современные технологии автоматизации. – 2011. – №1. – С. 54 – 59

## ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРНОЙ ОПЕРАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Хусаинов Рустем Мухаметович, Урманов Марат Данилович,  
Давлетшина Галия Камилловна, Зиангирова Элина Руслановна  
Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального  
университета, 423812, г. Набережные Челны, пр. Мира, д.68/19

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние вибраций на процесс резания при помощи виброакустического анализа. Осуществлен подбор оптимальных режимов резания на основании полученной математической модели динамической системы фрезерного станка.

**Ключевые слова:** виброакустический анализ, фрезерный станок, режимы резания.

## THE CHOICE OF CUTTING MODES FOR MILLING OPERATIONS ACCORDING TO THE RESULTS OF VIBROACOUSTIC STUDIES

**Annotation.** This article discusses the effect of vibration on the cutting process using vibroacoustic analysis. The optimal cutting conditions were selected based on the obtained mathematical model of the dynamic system of the milling machine.

**Keywords:** vibro-acoustic analysis, milling machine, cutting modes.

Известно, что в технологическую систему при механической обработке входят такие элементы как станок, приспособление, инструмент и деталь. Эта система должна быть виброустойчивой и не допускать значительных колебаний [1]. Колебания инструмента при механической обработке снижают качество обработанной поверхности, возрастает шероховатость и появляется волнистость [2], возможны поломки инструмента [3]. Именно поэтому на стадии технологической подготовки производства необходимо подбирать оптимальные условия для минимизации риска получения брака и обеспечения высокой производительности [4].

Одним из таких ключевых факторов, влияющих на возникновение вибраций являются оптимальный подбор режимов резания [5]. Для их назначения будет использована математическая модель динамической системы фрезерного станка.

В качестве математической модели динамической системы фрезерного станка было использовано выражение для передаточной функции в виде [6]:

$$W(j\omega) = \frac{K_{yc} \cdot Kb}{(1 - T_1^2 \omega^2 + T_2 j\omega)(1 + \frac{m}{n} \cdot \frac{a_0 \xi_0}{V} j\omega)}, \quad (1)$$

где  $K_{yc}$  – динамическая податливость упругой системы;  $a_0$  – заданная толщина срезаемого слоя;  $b$  – ширина срезаемого слоя;  $K$  – удельная сила резания;  $T_1$  – инерционная постоянная времени;  $T_2$  – постоянная времени

демпфирования;  $\xi_0$  – среднее значение усадки стружки;  $\frac{m}{n} = 1 \dots 1,5$  – некоторый постоянный коэффициент;  $v$  – скорость резания,  $j$  – мнимая единица.

Эти величины характеризуют текущее состояние упругой системы станка и состояние процесса резания, причем расчетных зависимостей для них не существует. Данные величины для конкретного оборудования вычисляются эмпирическим путем.

Для нахождения данных величин было выполнено исследование динамической устойчивости обработки фрезерованием на вертикально-фрезерном станке JMD3CNC.

В качестве поверхности для обработки был выбран уступ. Материал детали - сталь 45. Использовалась концевая фреза из быстрорежущей стали P6M5 диаметром 10 мм, число зубьев 4. Режимы резания при обработке: ширина резания  $b$  1 мм; глубина резания  $t$  1 мм; скорость резания  $v$  17,59 м/мин; подача на зуб  $S_z$  0,009 мм/зуб.

В процессе фрезерования проводилась запись звуковых сигналов, их анализ и формирование амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) виброакустических сигналов.

Для определения неизвестных составляющих в уравнении (1) было сформировано выражение, связывающее функцию  $W_{ij}$  и полученную экспериментальную амплитудно-частотную характеристику:

$$L(j\omega) = \frac{a_0 \cdot P^{(a_1 + a_2)} \cdot [W(j\omega)]^{a_1}}{e^{j\varphi(\omega) a_1}}, \quad (2)$$

где  $\varphi(\omega)$  – фазочастотная характеристика динамической системы,  $P(j\omega)$  – функция возмущающих сил,  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – эмпирические коэффициенты,  $L(j\omega)$  – АЧХ виброакустического сигнала

На основании данного уравнения были определены значения неизвестных переменных в (1). Для этого был использован программный модуль Mathcad. Для вычисления применялся метод наименьших квадратов. Определив неизвестные составляющие, была рассчитана передаточная функция (1), амплитудно-фазочастотная характеристика (АФЧХ) которой представлена на рис. 1.

Следующим шагом является определение оптимальных режимов резания, обеспечивающих максимальную производительность и минимальные вибрации при фрезеровании. При черновой механической обработке материалов основным критерием, по которому судят об эффективности операции, выступает производительность обработки. Производительность можно оценить через объем снимаемой стружки:

$$P = b \cdot t \cdot S_z \cdot \frac{v}{d \cdot \pi}, \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр фрезы, мм.

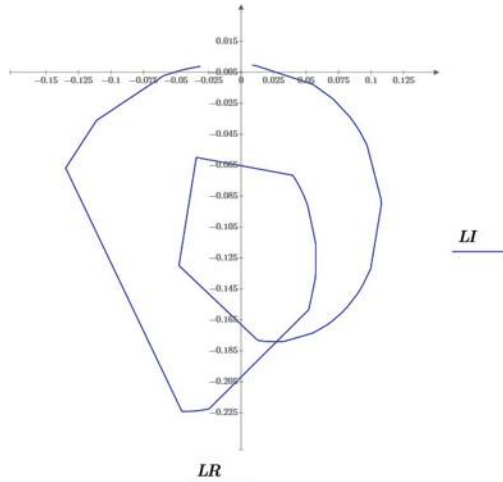


Рисунок 1 - АФЧХ динамической системы.

При этом основным фактором, который ограничивает производительность, является вибрация во время обработки. Чтобы учесть этот параметр, определяем условие устойчивости системы. Согласно критерию устойчивости Найквиста, система устойчива, если годограф её передаточной функции не охватывает значение «-1» на вещественной оси, т.е.:

$$\frac{K_{yc} \cdot Kb}{(1 - T_1^2 \omega^2 + T_2 j \omega) \left(1 + \frac{m}{n} \cdot \frac{a_0 \xi_0}{V} j \omega\right)} \geq -k \cdot 1 \quad (4)$$

Кроме того, ограничениями также являются предельные режимы резания, допустимые для данного инструмента.

Целевой функцией для оптимизации режимов резания является выражение (3), ограничениями являются предельные режимы резания и выражение (4). Математическая модель была рассчитана в системе Mathcad, в результате чего были получены следующие режимы резания для данных условий обработки: ширина резания  $b$  0,57 мм; глубина резания  $t$  2,28 мм; скорость резания  $v$  20 м/мин; подача на зуб  $S_z$  0,03 мм/зуб.

Для проверки правильности подбора режимов резания был проведен дополнительный эксперимент, в котором выполнены четыре испытания с различными режимами. Для первого случая использовались оптимальные режимы резания. Во втором – наименее производительные режимы (таб. 1). Для третьего и четвертого случая применялись стратегии, ориентированные на максимальную производительность, т.е. больший съём материала.

Полученные значения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные результаты.

№ опыта	Виброскорость, м/с	Производительность резания, м <sup>3</sup> /мин	Время обработки, сек
1	13770,98	0,024	188
2	10460,4	0,0119	651
3	31351,6	0,063	60
4	57842,02	0,25	18

Как видно из этой таблицы, оптимизированные значения позволяют получить меньшие вибрации при достаточной производительности обработки. Можно сделать общий вывод о том, что предложенная математическая модель динамической системы фрезерного станка позволяет подобрать оптимальные условия для обработки при высокой производительности оборудования.

### Список литературы.

1. Валиахметов Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Шабаев А.А. Система поддержки принятия решения при выборе или разработке технологической оснастки. Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 6. С. 176-179.
2. Кондрашов А.Г., Сафаров Д.Т. Улучшение точности обработки седел клапанов ДВС с использованием диагностических измерений. // Проблемы машиноведения Материалы II Международной научно-технической конференции. Министерство образования и науки России, Омский государственный технический университет; научный редактор П. Д. Балакин. 2018. С. 200-206.
3. Рябов Е.А. Выбор критерия оценки стойкости концевых радиусных фрез / Рябов Е.А., Гречишников В.А., Хисамутдинов Р.М., Юрасов С.Ю., Юрасова О.И. СТИН. 2018. № 10. С. 10-12.
4. Балабанова О.Н., Балабанов И.П. Направления и результаты цифровизации в России. Экономика и предпринимательство. 2019. № 3 (104). С. 60-63.
5. Говорков А.С. Основы производства. Учебное пособие. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск, 2017, С.31.
6. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. С. 357.

## ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Шихалёв Анатолий Михайлович,  
КФУ, Инженерный институт, Казань, Россия,  
Ахметова Ирина Анатольевна  
КФУ, Институт управления, экономики и финансов, Казань, Россия,  
Воронцов Дмитрий Петрович  
КФУ, Инженерный институт, Казань, Россия

**Аннотация.** Часто в вычислениях коэффициентов линейной корреляции для оценки их статистической значимости пользуются известной шкалой

Чеддока связи между исследуемыми явлениями: слабая, умеренная, заметная, высокая, весьма высокая, а при оценке их значимости используют таблицу «Значение t-критерия Стьюдента при заданных уровнях значимости  $\alpha = 0,10; 0,05; 0,01$ » при имеющихся значениях степеней свободы. То есть значимость в обоих случаях оценивается поочередно, что вряд ли целесообразно. Для устранения такого противоречия предлагается использование модифицированной шкалы Стьюдента. Далее возможно обращение и к шкале Чеддока.

**Abstract.** Often in the linear correlation coefficient calculations for its statistical significance estimation used the famous Chaddock's scale of the relationship between the studied phenomena with the characteristics like "weak", "medium", "visible", "high", "very high", and for the significance evaluation used the Student's t-test table with the alpha-level  $\alpha = 0.10; 0.05; 0.01$  at available degrees of freedom. So, the significance in both cases is assessed on a step by step manner, which is not fully expedient. For this problem decision is proposed a modified Student's scale, and then it is possible to use the Chaddock's scale.

**Ключевые слова:** турбулентная экономика, статистическая совокупность, критерии согласия, закон распределения, коэффициент корреляции.

**Описание исходных данных.** В качестве исходных данных, характерных для турбулентной, нестабильной экономики [1], [2], [3] примем статистические совокупности ограниченного объёма: семестровую посещаемость и успеваемость  $X = \{x_i\}, i = 1, n$  и  $Y = \{y_i\}, i = 1, n$  (табл. 1)

Таблица 1. - Число пропусков и результаты семестровых экзаменов (баллы)

1	Число пропусков занятий X, шт.	Результаты экзаменов Y (оценки / баллы)
1	1	4 / 83
2	3	4 / 80
3	0	4 / 80
4	2	3 / 68
5	2	3 / 68
6	1	5 / 90
7	2	4 / 78
8	2	4 / 80
9	1	4 / 75
10	2	5 / 90
N = 10	16	40 / 787

Для вычисления коэффициента линейной корреляции (КЛК) необходимо убедиться в том, что элементы исследуемых случайных величин (СВ) X и Y распределены по нормальному закону (НЗР), для чего необходимо для обеих совокупностей последовательно построить вариационные ряды и применить критерии согласия [4]. По критериям согласия элементы СВ X и элементы СВ Y, распределены по НЗР. По переменной X:  $\chi^2_{\text{расчет}} < \chi^2_{\text{табл}}$  ( $k = 4, \alpha = 0,05$ ) как  $\chi^2_{\text{расчет}} = 0,50 < \chi^2_{\text{табл}}$  ( $k = 1, \alpha = 0,05$ ) = 3,84 – по критерию согласия Пирсона, и



$\text{Rom}_{\text{расч}} = 0,35 < \text{Rom}_{\text{лорог}} = 3$ . Следовательно, по двум критериям согласия элементы СВ  $X$  соответствуют НЗР. По переменной  $Y$ :  $\chi^2_{\text{расч}} = 1,33 < \chi^2_{\text{табл}} (\alpha = 0,05; k = 1) = 3,84$  – по критерию согласия Пирсона и критерию Романовского:  $\text{gom}_{\text{расч}} = 0,24 < \text{gom}_{\text{гран}} = 3$ .

Коэффициент линейной корреляции (КЛК) вычисляется по (1) [4]:

$$\rho = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{\{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [N \sum y^2 - (\sum y)^2]\}^{1/2}}}. \quad (1)$$

Тогда, согласно последней строки табл. 1 для нашего примера:

$$\rho_{xy} = \frac{10 \cdot 1256 - 16 \cdot 792}{\sqrt{\{[10 \cdot 32 - (16)^2] \cdot [10 \cdot 63246 - (792)^2]\}^{1/2}}} = \frac{-112}{576,67} = -0,194.$$

Из формулы (1) видно: чем выше число пропусков, тем ниже успеваемость, хотя по шкале Чеддока [5] такая связь оценивается как «корреляция слабая». Традиционно обратимся при этом и к  $t$ -таблице Стьюдента с целью определения степени значимости вычисленного КЛК. При числе степеней свободы  $k = n - 2$  [4. – С. 70] рассчитаем величину  $t_p$ :

$$t_p = \frac{|\rho_{xy}| \cdot (n-2)^{1/2}}{1 - \rho_{xy}^2} = \frac{0,194 \cdot (10-2)^{1/2}}{1 - 0,194^2} = \frac{0,549}{0,962} = 0,571. \quad (2)$$

Далее по результатам (2) убеждаемся в том, что полученный КЛК не значим:  $t_p = 0,571 < t(k = 8; \alpha = 0,05) = 2,306$ : достоверность  $< 95\%$ .

Для решения поставленной задачи рассмотрим совместно уравнение (3) для ошибки КЛК и нестрогое неравенство (4) [6. – С. 193]. В нестрогом неравенстве (4) заменим знак « $\geq$ » на знак равенства « $=$ »:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_p = \frac{1 - \rho_{XY}^2}{(n-1)^{1/2}}; \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{|\rho_{XY}|}{\sigma_p} = t(k, \alpha) \end{array} \right. \quad (4)$$

Заменим переменную  $\sigma_p$  из уравнения (4). В результате получим:

$$\frac{|\rho_{XY}|}{\frac{1 - \rho_{XY}^2}{(n-1)^{1/2}}} = t(k, \alpha). \quad (5)$$

Учитывая, что  $|\rho_{XY}| > 0$  и  $\rho_{XY}^2 > 0$ , можно записать уравнение (5) в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} |\rho_{XY}| \cdot (n-1)^{1/2} = t(k, \alpha) \cdot (1 - \rho_{XY}^2) \text{ или в виде} \\ \rho_{XY} \cdot (n-1)^{1/2} = t(k, \alpha) \cdot 1 - t(k, \alpha) \cdot \rho_{XY}^2. \end{array} \right. \quad (6)$$

Тогда из выражения (6) можно получить квадратное уравнение (7):

$$0 = -t(k, \alpha) \cdot \rho_{XY}^2 - \rho_{XY} \cdot (n-1)^{1/2} + t(k, \alpha). \quad (7)$$

Умножим обе части уравнения (12) на множитель  $[1/(-t) \cdot (k, \alpha)]$ :

$$\rho_{XY}^2 + \frac{(n-1)^{1/2}}{t(k, \alpha)} - 1 = 0. \quad (8)$$

В результате получили выражение (8) - квадратное уравнение вида  $ax^2 + bx + c = 0$ , где  $a = 1$ ;  $b = (n - 1)^{1/2} / t(k, \alpha)$ ;  $c = -1$ . Таким образом, получено уравнение связи коэффициента корреляции между СВ X и Y.

Для решения квадратных уравнений вида (8) существуют правила относительно детерминанта D [7]. Сам дискриминант  $D = b^2 - 4ac$ , считаем его для нашего случая, когда  $(k = 8; \alpha 0,05) = 2,3060$ :

$$D = b^2 - 4ac = \frac{[(n-1)^{1/2}]^2}{t^2(k, \alpha)} - 4 \cdot 1 \cdot (-1) = \frac{9}{5,317636} + 4 = 5,6924813 > 0;$$

– значит решения уравнения (8) существуют, и их два:  $\rho_{XY1}$  и  $\rho_{XY2}$ . Выбираем то, в котором  $|\text{КЛК}| \leq 1$ :

$$\rho_{XY1} = \frac{-b + (D)^{1/2}}{2 \cdot a} = \frac{-[(n-1)^{1/2} / t(k, \alpha)] + (5,6924813)^{1/2}}{2 \cdot 1} = 0,542469 \approx 0,5425.$$

Тогда можно будет дополнить таблицу значений критерия Стьюдента [4. – С. 136] и результатов решения составленного нами квадратного уравнения (8), для  $\alpha = 0,05$ . По данной формуле доверительный интервал для коэффициентов линейной корреляции будет записан так [6. – С. 193]:

$$\rho_{XY} - t_{\alpha} \cdot \frac{1 - \rho_{XY}^2}{(n-1)^{1/2}} \leq \rho_{ГС} \leq \rho_{XY} + t_{\alpha} \cdot \frac{1 - \rho_{XY}^2}{(n-1)^{1/2}}. \quad (9)$$

Результаты приведены в табл. 2, разработанной на основе стандартной таблицы «Значение t-критерия Стьюдента при уровне значимости 0,10; 0,05; 0,01» [4. – С. 136], получены с авторской программой в среде FoxPro 2.5.

Таблица 4. – Минимально значимые величины модулей коэффициентов линейной корреляции при заданных объёмах n и  $\alpha = 0,05$ .

Число степеней свободы df = k	Уровень значимости $\alpha = 0,05$	Минимальное статистически значимая величина $ \rho_{XY} $ КЛК	Величина с.к.о. коэфф. линейной корреляции $\sigma_p$	Правые границы доверительных интервалов для минимального КЛК	Примечания
1	2	3	4	5	6
1	12,706	0,9460	0,074440	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
2	4,3027	0,8188	0,190294	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
3	3,1825	0,7340	0,230632	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
4	2,7764	0,6753	0,243244	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
5	2,5706	0,6313	0,245568	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
6	2,4469	0,5962	0,243636	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
7	2,3646	0,5671	0,239840	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
8	2,3060	0,5425	0,235242	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
9	2,2622	0,5211	0,230355	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
10	2,2281	0,5023	0,225439	$\rho_{XY} > 1$	не имеет смысла
11	2,2010	0,4856	0,220612	0,9711	почти вся
12	2,1788	0,4705	0,215950	0,9410	обл.опред.
13	2,1604	0,4569	0,211475	0,9137	(здесь и далее)

14	2,1448	0,4444	0,207204	0,8889	относит. приемлемо (здесь и далее)
15	2,1315	0,4350	0,203133	0,8660	
16	2,1199	0,4224	0,199260	0,8448	
17	2,1098	0,4126	0,195573	0,8252	
18	2,1009	0,4035	0,192063	0,8070	
19	2,0930	0,3950	0,188720	0,7900	
20	2,0860	0,3870	0,185532	0,7740	
21	2,0796	0,3795	0,182493	0,7590	
22	2,0739	0,3725	0,179589	0,7449	
23	2,0687	0,3658	0,176814	0,7316	
24	2,0639	0,3594	0,174159	0,7189	
25	2,0595	0,3534	0,171617	0,7069	
26	2,0555	0,3477	0,169178	0,6955	
27	2,0518	0,3423	0,166837	0,6846	
28	2,0484	0,3371	0,164588	0,6743	
29	2,0452	0,3322	0,162427	0,6644	
30	2,0423	0,3275	0,160345	0,6549	
40	2,0211	0,2892	0,143109	0,5785	
60	2,0003	0,2412	0,120587	0,4824	
120	1,9799	0,1745	0,088141	0,3490	
$\infty$ ( $\approx 500$ )	1,9600	0,0869	0,044339	0,1739	относит. приемлемо малая корреляция
$\infty$ ( $\approx 1000$ )	1,9600	0,0617	0,031487	0,1234	

**Общие выводы.** При получении величины КЛК его модуль достаточно сравнить с содержанием графы 3 табл. 2. Обращение к шкале Чеддока в данном случае лишь дополняет полученную картину.

### Литература

1. Шихалёв А.М., Воронцов Д.П., Ахметова И.А., Хамидуллина Г.Р., Кашапов Н.Ф. Многокритериальная оценка районов региона РФ, перспективных для расположения логистических объектов (на примере Республики Татарстан) // Материалы IX Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2018», Ч. 2. - Казань: Фолиант, 2018. - С. 284.
2. Бурлаков А., Турбулентность экономических процессов: теоретические аспекты // Вопросы экономики. – 2018. - №11. - С. 20.
3. Шихалёв А.М., Хоменко В.В., Воронцов Д.П. Способ визуализации результатов многокритериальной оптимизации размещения логистических центров в регионах России (на материалах Республики Татарстан) // КХТИ. Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Тенденции развития логистики и управления цепями поставок». - С. 392-397.
4. Громыко Г.Л. Общая теория статистики: Практикум. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 139 с.
5. Интернет-ресурс: Корреляционный анализ. Подробный пример решения. URL: <https://math.semestr.ru> > (шкала Чеддока) (дата обращения 15.10.2019).
6. Общая теория статистики: Учебник / Т.В. Рябушкин, М.Р. Ефимова, И.М. Ипатов, Н.И. Яковлева. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 279 с., ил.

7. Интернет-ресурс: Решение квадратных уравнений. URL: [berdov.com/docs/equation/...](http://berdov.com/docs/equation/) (дата обращения 15.10.2019).

## К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ОЦЕНОК В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Шихалёв Анатолий Михайлович,  
КФУ, Инженерный институт, Казань, Россия.

Ахметова Ирина Анатольевна  
КФУ, Институт управления, экономики и финансов, Казань, Россия

Воронцов Дмитрий Петрович  
КФУ Инженерный институт, Казань, Россия

Рожко Оксана Николаевна,  
КНИТУ – КАИ им. А.Н. Туполева, Институт авиации, наземного транспорта и  
энергетики, Казань, Россия

**Аннотация.** Существует множество методов расчёта коэффициентов корреляции и размеров их ошибок. Однако при сверхмалых выборках оценка связи усложняется особенностями современной российской экономики, когда длительность тенденций совокупностей не превышает нескольких единиц  $n < 25$ . Предлагается использовать модифицированную шкалу Ядова, устанавливающую зависимость характера репрезентативности выборки в лингвистической шкале и величиной её ошибки в интервальной шкале (в процентах), тогда результаты вычисления критериев согласия приобретают смысл и для исследуемых коротких статистических рядов.

**Abstract.** There are many methods for the correlation coefficients and its error sizes calculating. However, in the ultra-small samples the evaluation of relationship (the colligation) is complicated due to the modern Russian economy issues, when the duration of trends for universes and samples does not exceed several units like  $n < 25$ . We propose to use a modified n.a. Yadov's scale which could estimate the dependence and the character of the sample representativeness in the linguistic scale and the sampling error value in the interval scale (in percentage terms), then the fitting criteria calculated results also become meaningful for the studied short statistical series.

**Ключевые слова:** объём выборки, случайная величина, нормальный закон распределения, критерий согласия, шкала надёжности выборки.

**Введение.** В эпоху нестабильной экономики трудно ожидать наблюдаемые статистические совокупности значительной мощности [1],[7]. А поскольку исследователей прежде всего интересует направление и теснота взаимной связи исследуемых статистических показателей (СП), то предпочтительнее вычисление коэффициента линейной корреляции (КЛК), который требует предварительного анализа на нормальность распределения сравниваемых СП как случайных величин (СВ), например  $X$  и  $Y$ :  $X = \{x_i\}$ ,  $i = 1, n$ ;  $Y = \{y_i\}$ ,  $i = 1, m$ , причём вычисление КЛК предполагает одинаковое число сравниваемых элементов, то есть равенство  $n$  и  $m$  ( $n = m = N$ ) [12].

Однако, в российской экономике число  $N$  подвержено уменьшению. Тогда важно оценить приемлемую границу в виде  $N_{\min}$ , которая смогла бы обеспечить возможность стандартных операций [2] при реализации таких основных критериев согласия, как Пирсона и Романовского, которые далее рассматриваем как критерии соответствия закона нормального распределения (ЗНР) для элементов исследуемых совокупностей, как  $x_i$  и  $y_i$ .

До вычисления направления и модуля КЛК  $\rho_{XY}$  необходимо убедиться в том, что эмпирическое распределение элементов случайных величин  $X$  и  $Y$  в результате предварительного построения вариационных рядов (ВР) для каждой СВ частотой  $f_i$  соответствует ЗНР с тем, чтобы затем найти теоретические значения частот  $f_i^t$  и использовать в критериях согласия Пирсона и Романовского. Воспользуемся методикой оценки числа интервалов вариационного ряда (ВР) [3]: число групп ВР  $k$  для каждой СВ рассчитывается по известной приближительной формуле Стэрджесса:

$$k = 1 + 3,322 \cdot \lg N. \quad (1)$$

Согласно [2] требуемое число степеней свободы  $df$  (degrees of freedom):  $df = k - 3$ . (2)

Минимальное число исходных элементов исследуемых случайных величин  $X$  и  $Y$  в виде  $N_{\min}$  легко может быть найдено из уравнения (1):

$$\lg N_{\min} = \frac{k - 1}{3,322} = 0,90307. \quad (3)$$

$N_{\min} = 7,9996 \approx 8$  элементов СВ  $X$  и  $Y$  (что меньше, чем сверхмалой выборки, в которой  $N < 25$ ). Тогда и минимальное число свободы для критерия Пирсона согласно (2) будет

$$df = N_{BP} - 3 = 4 - 3 = 1. \quad (4)$$

Убедимся на модельном примере в правомерности такого подхода.

**Модельный пример.** Рассмотрим результаты применения балльно-рейтинговой системы (БРС) в результате случайной выборки из учебной группы студентов по одной из учебных дисциплин (СВ  $X$ ) и результаты семестрового экзамена (СВ  $Y$ ):

Таблица 1. – Результаты наблюдений (исходные данные)

№ по порядку, $i$	Пропуски в семестре $X = \{x_i\}$ , шт.	Итоговая успеваемость $Y = \{y_i\}$ , баллы / оценки
1	2	3
1	1	75 / 4
2	3	48 / 2
3	0	80 / 4
4	2	60 / 3
5	2	60 / 3
6	1	90 / 5
7	2	56 / 3
$8 = N_{\min}$	2	85 / 4

После построения ВР с четырьмя интервалами для СВ  $X$ , нахождение значений  $x_{cp}^{B3}$  и  $\sigma_x$  и исходным числом наблюдений  $N = 8$  найдём значение величины получения  $f_i^T$ :  $const_x = Nh / \sigma_x = 9,34$ . С.к.о. охватывает 68,3% всех случаев распределения [8]. Далее по методике, изложенной в [2], получим:  $\chi^2_{расч} = 0,66$ , которое необходимо сравнить его табличным значением  $\chi^2_{табл.}$ . Так как  $\chi^2_{расч} = 0,66 < \chi^2_{табл.} = 3,84$ , то расхождения между эмпирическими частотами ( $f_i$ ) и теоретическими частотами ( $f_i^T$ ) можно считать случайным и нулевая гипотеза о НЗР элементов СВ  $X$  принята. Для контроля и апробации обратимся к критерию согласия Романовского [9] из [10]:  $Rom_x = 0,24 < 3$ : соответствует НЗР.

Результаты: эмпирические частоты ВР для элементов СВ  $Y$ :  $\chi^2_{расч} = 0 < \chi^2_{табл.} = 3,84$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ;  $Rom_y = 0,71 < Rom^{порог} = 3$ . Следовательно между переменными  $X$  и  $Y$  можно корректно оценить направление и тесноту связи средствами (КЛК) [4]. Вычисление производится по формуле (5) [4], [12]:

$$\rho_{XY} = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\{[N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]\}^{1/2}} = -0,758. \quad (5)$$

Связь между посещаемостью и успеваемостью КЛК  $\rho_{XY} = -0,758$ . По Чеддоку [5] связь «высокая» и отрицательна по взаимодействию  $X$  с  $Y$ . Оценим значимость полученного КЛК по  $t$ -критерию Стьюдента [2] при числе степеней свободы  $df = N - 2 = 8 - 2 = 6$  по формуле (6):

$$t_{расч} = \frac{|\rho| (N - 2)^{1/2}}{(1 - \rho^2)^{1/2}} = 2,8468. \quad (6)$$

Табличные  $t_{табл.}(df, \alpha)$  следующие:  $t_{табл.}(6; \alpha = 0,10) = 1,9432$ ;  $t_{табл.}(6; \alpha = 0,05) = 2,4469$ ;  $t_{табл.}(6; \alpha = 0,01) = 3,7074$ . Таким образом:  $t_{табл.}(6; \alpha = 0,10) = 1,9432 < t_{расч} = 2,8468 < t_{табл.}(6; \alpha = 0,01) = 3,7074$ . (7)

Таким образом, имеем коэффициента линейной корреляции, равный (-0,758), с надёжностью не менее 95%. При этом НЗР выполняется по рассмотренным критериям согласия. Для переменных, которые не удовлетворяют критериям согласия с небольшими превышениями граничных значений, предлагается, наподобие шкалы Чеддока [5], шкала проф. В.А. Ядова [6], [11].

Таблица 2. – Действующая шкала Ядова и предлагаемая шкала

Действующая шкала Ядова		Предлагаемая (модифицированная) шкала	
Характер надёжности	Допустимая ошибка выборки, %	Уровни допустимости применения критериев согласия	Допустимое превышение граничных значений, %
Повышенная	до 3	Минимальный	до 3
Обыкновенная	3 - 10	Обыкновенный	3 - 10
Приближённая	10 - 20	Приближённый	10 - 20
Оценочная	20 - 40	Оценочный	20 - 40
Прикидочная	более 40	Более оценочного	более 40

Важно, чтобы превышения отличались от граничных значений не в разы. Если, например, распределение элементов СВ  $Y_{БРС}$  по критерию Пирсона превышает до ок. 30% пороговое значение (уровень «оценочный») по шкале Ядова. По Романовскому – всего на 6% - уровень ошибки «обыкновенный». И поэтому закон распределения будем считать квазинормальным.

**Выводы.** Если при исследовании взаимосвязи двух случайных величин  $X$  и  $Y$  нулевые гипотезы о НЗР их элементов безоговорочно принимаются, то возможно применение аппарата вычисления коэффициента линейной корреляции между исследуемыми СВ с сообщением направления связи и её тесноты с указанием термина лингвистической переменной «теснота связи» в шкале Чеддока. Если же нулевые гипотезы о НЗР элементов рассматриваемых случайных величин не подтверждаются, то указать по модифицированной шкале проф. Ядова проценты повышения пороговых значений критериев согласия и решение на использование того же аппарата.

### Литература

1. Шихалёв А.М., Воронцов Д.П., Ахметова И.А., Хамидуллина Г.Р., Кашапов Н.Ф. Многокритериальная оценка районов региона РФ, перспективных для расположения логистических объектов (на примере Республики Татарстан) // Материалы IX Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2018», Ч. 2. - Казань: Фолиант, 2018. - С. 284.
2. Громыко Г.Л. Общая теория статистики: Практикум. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 139 с. – (Высшее образование).
3. Ефимова М.Р., Петрова Е.В., Румянцев В.Н. Общая теория статистики: Учебник. Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 416 с.
4. Интернет – ресурс: Шихалёв А.М. Регрессионный анализ. Парная линейная регрессия: Учебно-методич. пособие. URL: [http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/20321/72\\_200\\_001078.pdf](http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/20321/72_200_001078.pdf). - С. 34 - 36 (дата обращения 15.10.2019).
5. Интернет-ресурс. Корреляционный анализ. Подробный пример решения. URL: <https://math.semestr.ru> (шкала Чеддока) (дата обращения 15.10.2019).
6. Ядов В.А. Социологическое исследование: методология, программа, методы. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
7. Шихалёв А.М., Хоменко В.В., Воронцов Д.П. Способ визуализации результатов многокритериальной оптимизации размещения логистических центров в регионах России (на материалах Республики Татарстан) // КХТИ. Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Тенденции развития логистики и управления цепями поставок». - С. 392-397.
8. Интернет-ресурс. Правило трех сигм. Шкала вероятностей распределения. URL: [https://edu.sernam.ru/book\\_p\\_math2.php?id=161](https://edu.sernam.ru/book_p_math2.php?id=161) (дата обращения 15.10.2019).
9. Романовский В.И. Обобщение системы кривых Пирсона. Труды Ср.-Азиатск. гос. унив., сер. V-а, матем., вып. 15, 1936.

10. Миропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 479.
11. Кокрен У. Методы выборочного исследования. – М.: Статистика, 1976. – 440 с.
12. Эконометрика: Учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.: ил.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ СО СВЕТОПРОЗРАЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Шмелёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКИИС  
gn.shmelev@mail.ru

Антонов Анатолий Сергеевич, аспирант, инженер кафедры МКИИС  
Фахрутдинов Ринат Эдуардович, студент-магистрант  
creader32@mail.ru

Гимазетдинов Айваз Расимович, студент-магистрант  
aivazaivaz1313@gmail.com

ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный  
университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования действительной работы конструкций, наиболее распространенных стоечно-ригельных светопрозрачных систем, применяемых как ограждающие конструкции, с учетом пространственной жесткости элементов системы. В ходе исследования выявлены особенности поведения при действии критических сил, которые необходимо учитывать при дальнейшем расчете и проектировании подобных систем.

**Abstract.** In the article the results of the research concerning the work of the constructions of the most widely spread light transparent systems are presented. They are used as enclosing structures, taking into consideration tough elements of the system. In the course of the research the peculiarities of the conducts of the critical forces are revealed. It is necessary to account them in the further calculations in the projecting of the similar systems.

**Ключевые слова.** Светопрозрачные стоечно-ригельные системы, остекление, гибкость, потеря устойчивости, критическая сила, численные и экспериментальные исследования.

**Введение.** Цель работы – исследование фактической работы и несущей способности конструкций светопрозрачных систем.

Существующие строительные нормы Российской Федерации, при отсутствии специализированных методик расчета подобных систем, предлагают схемы статического расчета несущего каркаса без учета остальных элементов системы, включая сами светопрозрачные модули, что не учитывает особенности поведения реальной конструкции и, зачастую, приводит к увеличению сечения несущих элементов, следовательно, и их стоимости.



### Численные и экспериментальные исследования системы

Расчетная схема фрагмента фасадной системы смоделирована в ПК «SCAD-Office», схема каркаса задается стержневой с шарнирным закреплением по краям, как для вертикальных стержней-стоек, так и для горизонтальных стержней-ригелей.



Рисунок 1. Упрощенная расчетная схема стержня-стойки



Рисунок 2. Расчетная схема исследуемого фрагмента фасадной системы

По результатам расчета получена картина напряженно-деформированного состояния принятых сечений элементов несущего каркаса, так значения напряжений в элементах стержней-стоек, стержней-ригелей и несущих кронштейнах не превышают расчетных сопротивлений материалов изделий, максимальные прогибы не превышают предельно-допустимых значений, однако, принятые сечения стержней-стоек не удовлетворяют конструктивным требованиям условия гибкости в плоскости остекления фасада, что недопустимо для дальнейшей безопасной эксплуатации.

Для выполнения требований условий гибкости, необходимы мероприятия по раскреплению элементов стержней-стоек, что недопустимо при панорамном остеклении, т.к. нарушаются эстетические качества фасада здания, или необходимо увеличение сечения стержней-стоек, что также не является лучшим решением, т.к. данное решение приведет к значительному увеличению стоимости всего фасада здания.

По результатам численных исследований конструкций фрагмента системы светопрозрачных фасадов с учетом пространственной работы всех элементов системы, получена картина напряженно-деформированного состояния элементов системы. Потеря устойчивости стойки без включения в работу остальных элементов системы имеет зону общей потери устойчивости в середине пролета между кронштейнами в плоскости остекления вследствие недостаточной гибкости сечения стойки. Определено значение критической силы для крайней стойки с учетом включения в работу остальных элементов системы, составляющее 1500 кг, что более чем в три раза выше значений

критической силы при расчете без включения остальных элементов, т.е. одиночной стойки.

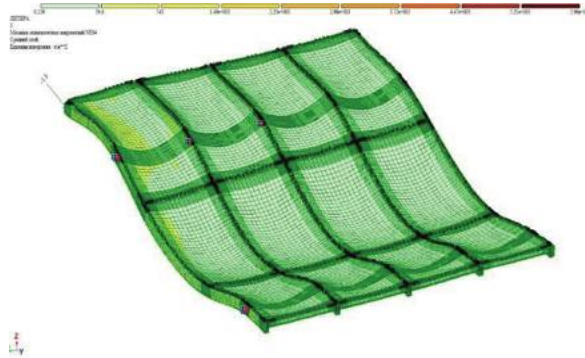


Рисунок 3. Мозаика эквивалентных напряжений при действии критической силы на крайнюю стержень-стойку. Общий вид с остеклением

Для определения фактической несущей способности, деформативности и определения формы потери устойчивости стоек фрагмента системы светопрозрачных фасадов были проведены экспериментальные исследования. Разработана методика проведения испытаний фрагмента фасадной на критическую силу, определенную по результатам численных исследований, прикладываемую как вертикальную составляющую нагрузки от собственного веса модулей светопрозрачного фасада на крайнюю стойку фрагмента.

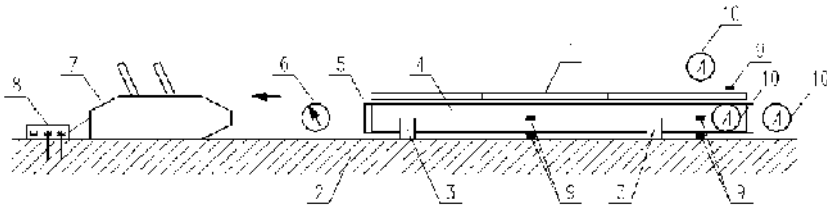


Рисунок 4. Общий вид схемы испытательного стенда фрагмента фасадной системы.

По результатам испытаний получены значения напряжений с тензометрических датчиков, установленных на фрагменте фасадной системы, и значения прогибов и перемещений стойки фрагмента фасадной системы по показаниям индикаторов часового типа при действии расчетной критической силы. Показания датчиков Д2 и Д3, установленных в зоне расчетной потери устойчивости стержня-стойки, начинают значительно различаться при приближении к критической силе, что является признаком начала потери устойчивости.

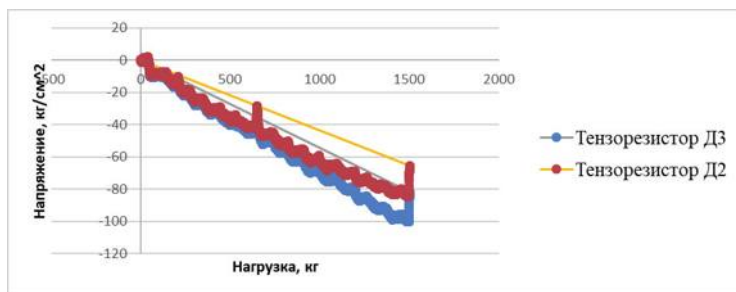


Рисунок 5. Результаты измерения напряжений по тензометрическим датчикам в зоне расчетной потери устойчивости стержня-стойки.

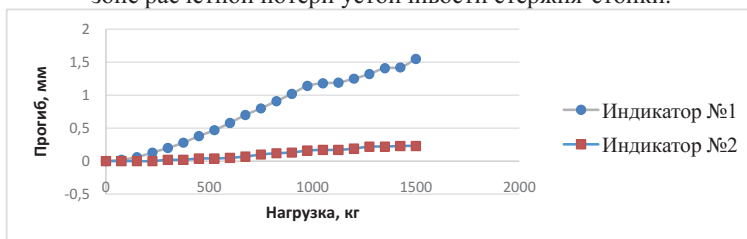


Рисунок 6. Результаты измерений прогибов стержня-стойки фрагмента фасадной системы. График зависимости прогибов от нагрузки

**Выводы.** Установлена фактическая форма потери устойчивости стойки фрагмента системы при действии расчетной критической силы. Действительная зона потери устойчивости совпадает с расчетной и располагается от раскрепления кронштейном до верхнего свободного конца крайнего стержня-стойки. Потери устойчивости стойки, в предположении отсутствия дисковой жесткости фрагмента фасадной системы, т.е. без включения в работу остальных элементов системы (одиночная стойка), предполагаемой в зоне середины пролета между кронштейнами в плоскости остекления, вследствие недостаточной гибкости сечения стойки, не наблюдалась.

### Список литературы

1. Проблемы при проектировании и строительстве вентилируемых фасадов / Е.Ю. Цыкановский, В.Г. Гагарин, А.В. Грановский, М.О. Павлова. С. 93-104.
2. Белостоцкий А.М., Дубинский С.И. Некоторые аспекты верификации программных средств численного моделирования конструкций и сооружений // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering Volume 4, Issue 2. 2008
3. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. // Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – М., ИАСВ, 2007 5.

4. Хайдаров Л.И., Шмелев Г.Н., Зиятдинов Э.К. Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу // Известия КГАСУ № 2 (40). –2017 – с. 139-145

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ FLOW SIMULATION SOLIDWORKS ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Юрченко Василий Викторович, заведующий кафедрой «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация»,  
Нуржанова Оксана Амангельдиевна, магистр, старший преподаватель  
Ахметова Мадина Сабитовна, магистрант кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация»  
Карагандинский Государственный Технический университет

**Аннотация:** Программы автоматизированного проектирования, такие как Solidworks flow simulation (SWFS), предоставляют мощное, привлекательное, практическое программное обеспечение для понимания и разработки проектов для реального мира. SWFS можно рассматривать как виртуальную лабораторию. Целью данного исследования является показать, что использование SWFS поможет понять концепции гидродинамики на кафедре машиностроения.

**Abstract:** Computer-aided design programs such as Solidworks flow simulation (SWFS) provide powerful, engaging, hands-on software to understand and design projects for the real world. SWFS can be thought of as a virtual lab. The purpose of this study is to show that the use of SWFS will help to understand the concepts of hydrodynamics in the Department of mechanical engineering.

**Ключевые слова:** гидродинамика, машиностроение, SWFS, виртуальная лаборатория.

Процесс проектирования становится все более требовательным и сложным. Многие эмпирические исследования указывают на то, что структурированный, целенаправленный процесс проектирования является обязательным для успеха инноваций. При разработке продукта Лаборатории играют решающую роль в тестировании продукта для проверки его качества, безопасности и стабильности на каждом этапе производственного процесса. Лаборатории оснащены настоящими рабочими инструментами и приборами, и такое оборудование имеет ограниченный срок службы, что требует ремонта и технического обслуживания.

Несмотря на многие реальные преимущества лабораторий, они имеют ряд серьезных недостатков. Одним из самых больших недостатков инженерных лабораторий является стоимость создания лаборатории, стоимость обслуживания существующей лаборатории и стоимость проведения экспериментов.

В качестве решения проблем, связанных с лабораториями, виртуальные лаборатории используются в качестве альтернативы или дополнения к физическим или реальным лабораториям. Программное обеспечение автоматизированного проектирования (САПР) рассматривается как программное обеспечение виртуальных лабораторий. САПР можно определить как использование компьютерной системы для оказания помощи в создании, модификации, анализе или оптимизации проекта. Цель программного обеспечения САПР состоит в том, чтобы помочь новаторам, изобретателям, проектировщикам и разработчикам процессов в их творческой работе, с ожиданием изменений в парадигмах посредством использования программного обеспечения САПР. Некоторые примеры общих САПР в машиностроении - это компонентная динамика потока, сплошная работа и т. д.

В этой статье описывается программное обеспечение solidwork flow simulation (SWFS), которое может быть использовано в качестве виртуальной инженерной лаборатории в курсах машиностроения, таких как fluid dynamic course. Кратко описан тип моделирования, его преимущества и недостатки. Кроме того, использование SWFS в машиностроительном образовании показано важным экспериментом и результатами моделирования, взятыми из опубликованных научных статей.[1]

Лаборатории являются неотъемлемой частью любого инженерного курса. Виртуальная лабораторная система (VL) - это распределенная среда, обеспечивающая удаленный доступ к различным видам научного оборудования и вычислительным ресурсам. Компьютерное проектирование или приложения VL были применены в мире, чтобы уменьшить количество и стоимость экспериментов и получить больше информации перед проектированием объектов.

Программы автоматизированного проектирования обеспечивают мощное, привлекательное, практическое программное обеспечение для понимания и разработки проектов для реального мира. Интегрированное программное обеспечение 3-D как Autodesk и SolidWork делает разработку дизайнера легким выучить, легкий для того чтобы научить и exciting использовать. Механизм 3-D программное обеспечение применимо и способны достигать частью проектирования, моделирования и прототипирования.

Solidwork-это программный пакет автоматизации механического проектирования, используемый для сборки деталей, сборок и чертежей, который использует знакомый графический пользовательский интерфейс Microsoft Windows. Solidwork-это простой в освоении, проектировании и анализе инструмент, что позволяет дизайнеру быстро набрасывать 2-D и 3-D концепции, создавать 3-D детали и сборки и детали 2-D чертежа.[2]

Основным определением гидродинамики является наука о потоке жидкости, сжимаемом потоке, в котором изменения плотности и температуры становятся значительными. Поэтому гидродинамический курс направлен на то, чтобы показать движение жидкости и влияние температуры и плотности на характеристики обтекания объекта потоком. Исследование таких течений, где изменения плотности и температуры, связанные с изменением давления,

становятся заметными, называется газовой динамикой. Например, необходимо лучше понять взаимодействие между пограничным слоем атмосферы и ветряными турбинами. Пример моделирования машиностроения приведен в этом разделе, представленном в качестве проекта, чтобы показать важность моделирования потока, а также показать, как легко моделирование может быть выполнено с использованием коммерческого пакета моделирования, такого как SWFS. В этом примере характеристики потока с точки зрения скорости и давления вокруг небольшого были изучены вертикальные оси ветротурбинной фермы. На рисунке 1 показана простая ветряная турбина Savonius, вертикальная ось, проблема, как это будет выглядеть в учебнике/научной опубликованной статье.



Рисунок 1. Простой дизайн для ветротурбины

Как упоминалось ранее, основные общие уравнения в динамике жидкости называются управляющими уравнения: уравнение неразрывности, уравнение Навье–Стокса и уравнение энергии. СФБ фокусируется исключительно на помощь студентам в решении задач (простых и сложных задач), наблюдая за характеристики потока вокруг объекта, которые являются одним из основных параметров проектирования ветротурбина, автомобиль, самолет и так далее. В общем случае SWFS основана на разрешении уравнений Навье–Стокса в сочетании стандартная модель турбулентности k-ε. Получены уравнения Навье–Стокса, управляющие потоком воздуха из уравнения неразрывности, уравнения импульса, уравнения переноса турбулентной кинетики энергия (k) и уравнение переноса скорости диссипации турбулентной кинетической энергии (ε).[3] Уравнения переноса турбулентной кинетической энергии k и скорости диссипации турбулентного потока кинетическая энергия ε записывается следующим образом:

Управляющие уравнения могут быть выражены следующим образом в декартовой системе.

Непрерывность уравнение записывается следующим образом:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Уравнение импульса записывается следующим образом:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial(-\rho \overline{u_i u_j})}{\partial x_j} + F_i \quad (2)$$

Уравнение переноса турбулентной кинетической энергии k записывается следующим образом:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \tau_{ij}^k \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_i P_b \quad (3)$$

Уравнение переноса скорости диссипации турбулентной кинетической энергии  $\varepsilon$  записывается следующим образом:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \left( f_1 \tau_{ij}^k \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + C_{2b} \mu_i P_b \right) - f_2 C_{2\varepsilon} \frac{\rho \varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

Как описано в предыдущих разделах, мы изучили эффективность программного обеспечения САПР в оказании помощи студентам, чтобы понять концепцию и теории гидродинамического курса. В качестве примера можно привести streamflow характеристики вокруг одной ветряных турбин Savonius показаны на рисунке 2.

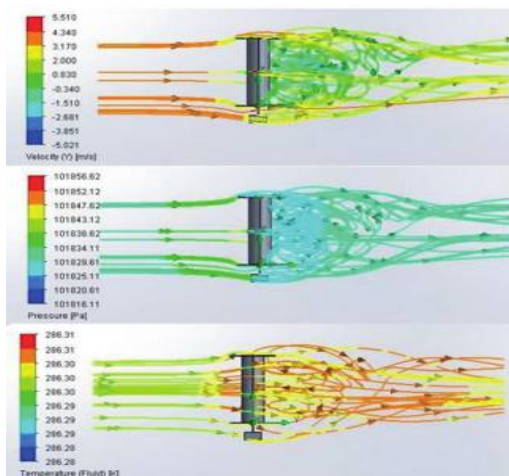


Рисунок 2. Распределение потока на выходе вокруг одной ветряной турбины Savonius (средняя температура, значения давления и плотности)

Из этих примеров можно наблюдать распределение скорости, давления и температуры вокруг турбины.[4]

В этой статье программное обеспечение для автоматизированного проектирования является одним из самых важных программных средств в отделе машиностроения. SWFS является одним из коммерческих программ, которые могут быть пригодны для изучения и понимания концепции гидродинамического курса. Также, он может обеспечить студентов уча разрешить сложные инженерные проблемы на их усилиях. Хотя SWFS не заменяет реальные физические лаборатории, они могут быть очень полезны в обучении принципам работы различных инженерных инструментов и устройств.

**Список литературы**

1. Чиен К., Цай, С. Чен, Х. Чанг, В. & Чен, С. (2015). Изучение различий и паттернов фиксации глаз в виртуальных и физических научных лабораториях. Компьютеры и Образование, 82, 191-201. doi: 10.1016 / j.compedu.2014 год.
2. Дрисс, З., Млауех, О., Дрисс, С., Дрисс, Д., Маалул, М. & Абид, М. С. (2015). Исследование влияния конструкции ковша на турбулентное обтекание нетрадиционных ветровых роторов Savonius. Энергия, 89, 708-729. Дой: 10.1016/ энергии.2015.06.023
3. Леон, Н. (2009). Будущее компьютерных инноваций. Компьютеры в промышленности, 60(8), 539-550. Дои: 10.1016
4. Zubia, J. & Gomes, L. (2007) Достижения в области удаленных лабораторий и электронного обучения.



## ***СЕКЦИЯ № 5***

### **«Инновационные сварочные технологии в промышленности»**

#### **Модераторы:**

**Гортышов Юрий Федорович** - Президент КНИТУ-КАИ им.А.Н.Туполева, Заслуженный деятель науки РФ и РТ, Член СПКС при Президенте РФ, д.т.н., профессор

**Уварова Стэлла Германовна** – Генеральный директор ООО «НАКС-КАЗАНЬ»

УДК 631.358

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Абдумунинова Д.Т., аспирант

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекистан, г. Ташкент, E-mail: [temurlanovnadiana@gmail.com](mailto:temurlanovnadiana@gmail.com),

Юлдашев Ш.У., доктор технических наук, профессор

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекистан, г. Ташкент, E-mail: [sh.u.yuldoshev@gmail.com](mailto:sh.u.yuldoshev@gmail.com),

Кравченко Игорь Николаевич, доктор технических наук, профессор  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49,  
E-mail: [kravchenko-in71@yandex.ru](mailto:kravchenko-in71@yandex.ru),

Корнеев В.М., кандидат технических наук, доцент  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49,  
E-mail: [kravchenko-in71@yandex.ru](mailto:kravchenko-in71@yandex.ru)

## TECHNOLOGICAL FEATURES OF GAS THERMAL METHODS IN COATING

**Аннотация.** Наибольший интерес с технической и экономической точек зрения представляют газотермические процессы получения покрытий из полимеров и металлополимеров: газопламенное, газокинетическое и плазменное напыление. Характерной чертой этих способов образования покрытий является отсутствие расплавления материала основы или минимальная степень его оплавления. Способы газотермического напыления отличаются более высокой производительностью (в 10...1000 раз) по сравнению с другими. Этим методом возможно получать покрытия практически из любых материалов толщиной от  $10^{-5}$  м до  $10^{-2}$  м и более.

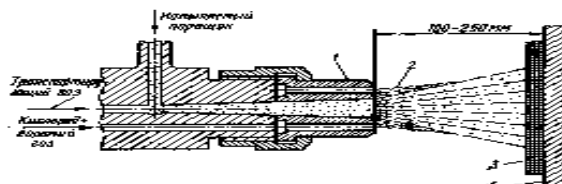
**Ключевые слова:** метод, напыление, металл, газотермические процессы, полимеры.

**Abstract.** From the technical and economic points of view, gas-thermal processes for producing coatings from polymers and metal polymers: gas-flame, gas-kinetic, and plasma spraying are of the greatest interest. A characteristic feature of these methods of coating is the lack of melting of the base material or the minimum degree of melting. Methods of thermal spraying are characterized by higher productivity (10 ... 1000 times) compared to others. Using this method, it is possible to obtain coatings from almost any material with a thickness of 10<sup>-5</sup> m to 10<sup>-2</sup>m or more.

**Keywords:** method, spraying, metal, gas thermal processes, polymers.

**Газопламенное напыление** создает необходимый запас тепловой и кинетической энергий сообщается частицам порошка в процессе взаимодействия их с пламенем смеси горючий газ - кислород (рисунок 1). Пламя образуется в результате сгорания на срезе сопла горючей смеси, вытекающей с большой

скоростью из сопловых отверстий горелки. Порошок подают, как правило, вдоль оси факела пламени, вовнутрь его. Температура при использовании в качестве горючего газа ацетилена достигает  $3200^{\circ}\text{C}$ , а скорость истечения  $150\text{...}160\text{ м/с}$ . [1,2]



**Рисунок 1 – Газопламенное напыление порошкового материала**

*1 – сопло; 2 – факел; 3 – покрытие; 4 – подложка*

Попадая в струю, частицы порошка расплавляются или становятся высокопластичными и приобретают скорость  $20\text{...}80\text{ м/с}$ . Скорость полета частиц порошка зависит от соотношения кислорода и горючего газа в смеси, расхода обдувающего газа, расстояния от среза сопла, расхода вводимого в пламя порошка, его плотности, гранулометрического состава и других факторов. [3,6]

К преимуществам газопламенного напыления покрытий относятся:

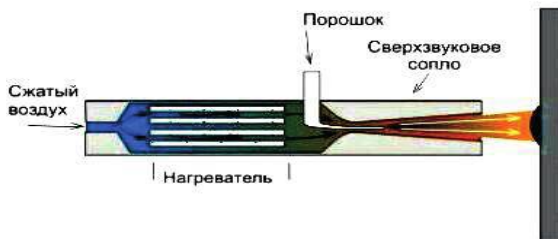
1. Возможность получения покрытий из большинства материалов, плавящихся при температуре до  $2600^{\circ}\text{C}$  без разложения;

2. Достаточно высокая производительность процесса (до  $3\text{...}7\text{ кг/ч}$  для порошков самофлюсующихся сплавов) при высоком коэффициенте использования материала (более  $85\%$ );

3. Относительно низкий уровень шума и световых излучений, позволяющий работать оператору без дополнительных средств защиты;

4. Легкость и простота обслуживания, невысокая стоимость, мобильность оборудования, что позволяет производить напыление на месте, без демонтажа изделий.

**Газокинетический метод** (рисунок 2) рабочий газ нагревается до температуры  $700\text{...}800^{\circ}\text{C}$ , скорость струи доходит до  $2\text{...}3\text{ М}$ .



**Рисунок 2 – Схема газокинетического метода напыления**

Если в наиболее распространенных газотермических методах нанесения покрытий для формирования покрытий из потока частиц необходимо, чтобы падающие на подложку частицы имели высокую температуру, обычно близкую

к температуре плавления материала, в газокINETической технологии напыления (которую на практике удобно называть «наращиванием»), это условие не является обязательным, что и обуславливает ее уникальность. В данном случае с твердой подложкой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии, но обладающие очень высокой скоростью. Ускорение частиц до нужных скоростей осуществляется сверхзвуковым воздушным потоком.[4]ГазокINETический метод нанесения металлических покрытий обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами. Эти преимущества состоят в следующем:

покрытие наносится в воздушной атмосфере при нормальном давлении, при любых значениях температуры и влажности атмосферного воздуха;

при нанесении покрытий оказывается незначительное тепловое воздействие на покрываемое изделие;

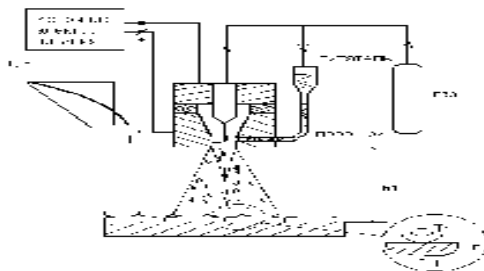
технология нанесения покрытий экологически безопасна (отсутствуют высокие температуры, опасные газы и излучения, нет химически агрессивных отходов, требующих специальной нейтрализации);

не всегда требуется подогрев покрываемого изделия;

поток напыляемых частиц является узконаправленным и имеет небольшое поперечное сечение. Это позволяет, в отличие от традиционных газотермических методов напыления, наносить покрытия на локальные (с четкими границами) участки поверхности изделий;

**Плазменный метод** напыления покрытий вначале нашел наибольшее применение в изделиях специальной техники. В последнее время метод с высокими технико-экономическими показателями применяется в машиностроении, энергетике, химической, нефтегазовой, дорожно-строительной, сельскохозяйственной технике, а также на предприятиях городского и коммунального хозяйства.

Плазменное напыление осуществляется с помощью плазменной струи. Между водоохлаждаемыми катодом и анодом зажигается электрическая сильноточная дуга от источника электропитания (рисунок 3). В зависимости от конструкции плазмотрона величина тока может регулироваться от 80 до 600 А. В дуговой промежуток подается плазмообразующий газ (аргон, азот, смесь Ar-N<sub>2</sub>, воздух или другой газ). При контакте с дугой газ нагревается, ускоряется и истекает из сопла струей низкотемпературной плазмы. Температура струи может регулироваться технологом от  $2 \cdot 10^3$  до  $10...15 \cdot 10^3$  К. Скорость струи, в зависимости от режимов может меняться от 200 до  $2...3 \cdot 10^3$  м/с<sup>-1</sup>. В струю от специального питателя подается порошок, который в струе ускоряется, расплавляется и оседает на подложку, образуя покрытие.



**Рисунок 3 – Схема процесса плазменного напыления**

Характерным отличием процесса плазменного напыления от газопламенного является более высокая температура в плазменной струе, инертность среды и более высокие скорости полета частиц. Эти особенности метода позволяют в широком диапазоне регулировать свойства покрытий и в значительной степени устранять недостатки, присущие газопламенному методу напыления. Например, плазменные покрытия из порошка стали, имеют в 3 раза большую прочность сцепления, чем газопламенные.[5]

Сравнивая варианты, необходимо учитывать различные неопределённости, например неопределённость условий, в которых будет реализован тот или иной вариант. Сравнение вариантов может производиться по совокупности значений одного показателя, характеризующего результат. Оптимальным вариантом считается такой, при котором выполняются необходимые условия технологического процесса, а значение целевой функции достигает экстремума, т.е. наивысшего результата при данных затратах или заданного результата при минимальных затратах.

Оптимизация процесса напыления прежде всего сводится к выбору таких способов восстановления, которые минимизировали бы удельные затраты при обеспечении наивысшего качества восстановленных деталей.

Для каждого технологического процесса необходимо определить затраты на напыление с учетом себестоимости процесса и удельных капитальных вложений, составляющих суммарные удельные затраты, и на основе сопоставления величин удельных затрат по каждому из возможных вариантов выбирается рациональный. Поэтому в соответствии с определением и общей постановкой задачи решение оптимизации выбора процесса напыления является наиболее актуальной и крайне важной проблемой, решение которой позволит избежать не только простоев оборудования, но и сэкономить трудовые, материальные, топливно-энергетические и другие ресурсы.

Теория анализа производственных функций позволит решить задачи:

разработать целесообразную (рациональную) математическую модель оптимизации технологического процесса;

определить оптимальные значения параметров, влияющие на затраты и их изменения во времени и позволяющие решать задачи изготовления деталей с покрытиями с минимальными удельными затратами.

**Список используемой литературы.**

1. Буткевич М.Н., Кравченко И.Н., Бобряшов Е.М. Методика оценки эффективности процесса плазменного напыления композиционных материалов // Сварочное производство. – 2010. – №12. – С. 38–40.
2. Корнеев В.М. Технология ремонта машин // В.М. Корнеев, В.С. Новиков, И.Н. Кравченко [и др.]; под ред. В.М. Корнеева. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 314 с.
3. Йулдашева З.,Д. Абдумуминова Д.Т. Показатели надежности и адгезионной прочности при восстановлении деталей водяных насосов // Сборник материалов семинара молодых ученых XXII международной научной конференции «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». – Ташкент, 2019. – 445 с.
4. Зубрилина Е.М., Зубенко Е.В., Кравченко И.Н. Термодинамическое упрочнение сварных и наплавленных изделий сельскохозяйственного машиностроения. – Ставрополь: Изд-во АГРУС, 2012. – 392 с.
5. Пейсахов А.М., Кучер А.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. – М.: Издательство Михайлова В.А., 2005. – 25 с.

**АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ НАГРУЗКЕ ЭЛЕМЕНТОВ  
КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ SIEMENS NX**

Агафонов Александр Евгеньевич, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева (КНИТУ – КАИ),  
[cool.fsgs@mail.ru](mailto:cool.fsgs@mail.ru)

Евлампов Андрей Владиленович, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева (КНИТУ – КАИ),  
[evlampiev.andrey@mail.ru](mailto:evlampiev.andrey@mail.ru)

**Аннотация:** В этой работе выполнен анализ деформации различных элементов конструкций: труба квадратная, тавровое сварное соединение, выполненные из конструкционных сталей. По результатам моделирования с помощью программного обеспечения Siemens NX, установлено, что при одной и той же силовой нагрузке труба деформируется меньше, чем тавровое соединение, а также из исследуемых материалов наиболее прочным оказался чугун Iron cast G40.

**Abstract:** In this work, the deformation of various structural elements has been analyzed: square pipe, tee weld joint made of structural steels. Based on the results of the Siemens NX software simulation, it was found that at the same force load the pipe deforms less than the tee joint, as well as Iron cast G40 was the strongest cast iron from the tested materials.

**Ключевые слова:** деформация, сварное соединение, тавровое соединение, труба квадратная.

**Key words:** deformation, welding joint, T-joint, square pipe.

В настоящее время сварка плавлением, распространена в сфере создания неразъемных соединений. Специалисты прогнозируют, что такая тенденция сохранится и в будущем [1, 2]. Таким образом, анализ конструктивных материалов, выполненные с помощью дуговой сварки, является важной задачей, для её решения используют приемы и методы технологического характера. По мнению ученых, а именно Б. Е. Патона и В. И. Труфякова более высоких технико-экономических показателей можно добиться на основе оптимального конструирования сварных изделий [3]. Задачи, стоящие перед сварочным производством, не могут быть успешно решены без изучения несущей способности изделий.

Для анализа деформации балок были выбраны следующие материалы: Aluminium 6061, iron 40, Iron cast G40 (чугун СЧ), Magnesium, Titanium Ti-6Al-4V [4]. Ниже приведен анализ деформации исследуемых изделий.

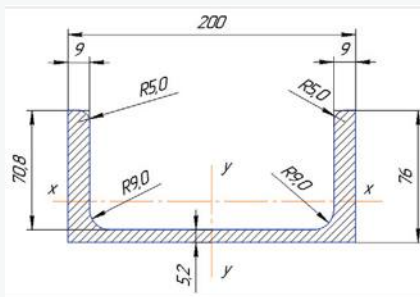


Рисунок 1. Чертеж швеллера.

Длина швеллера: 5 м. Сварной шов нанесен с двух сторон балки. На одну сторону балки накладывается ограничение в виде жесткой заделки, а на противоположную сторону создается нагрузка в 10 кН ( $\approx 1020,4$  кг).

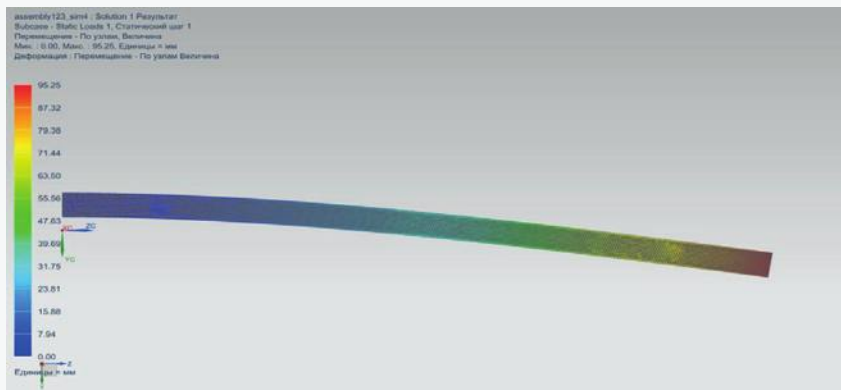
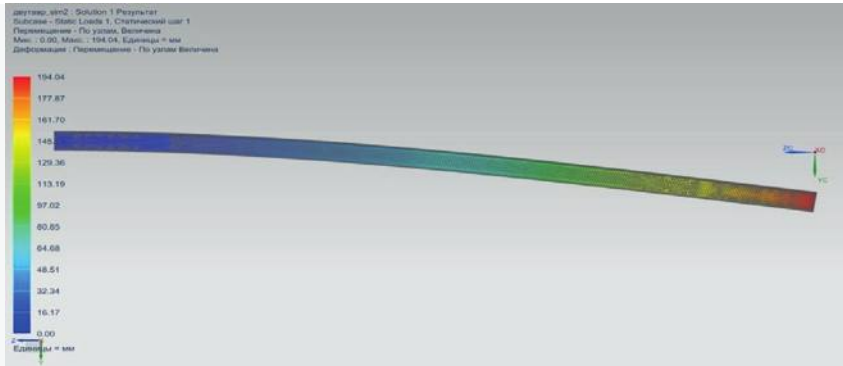


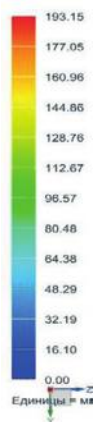
Рис. 1.1. Труба квадратная (Iron cast G40)



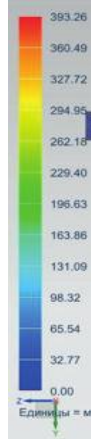
**Рис. 1.2.** Тавровое соединение (Iron cast G40)

На данных рисунках деформация трубы  $\approx$  в 2 раза меньше, чем при тавровом соединении. Смещения распределяются на цветной шкале где: синий цвет – минимальное смещение, красный – максимальное.

Далее будет приведена только диаграмма деформации изделий.



**Рис. 2.1.** Труба квадратная (Aluminium 6061)



**Рис. 2.2.** Тавровое соединение (Aluminium 6061)

Уже на данном этапе видно, что коэффициент, равен  $\approx 2,03$ , он показывает во сколько раз деформация при тавровом соединении меньше, чем у трубы.



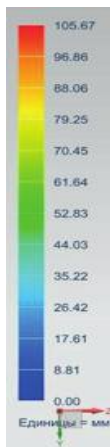


Рис. 3.1. Труба квадратная (Iron 40)

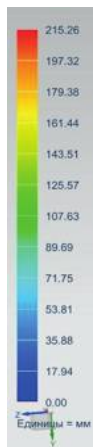


Рис. 3.2. Тавровое соединение (Iron 40)

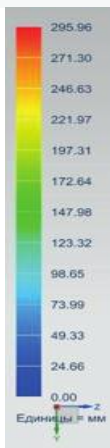


Рис. 4.1. Труба квадратная (Magnesium)

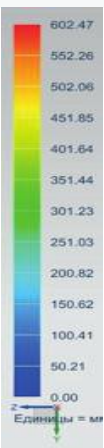


Рис. 4.2. Тавровое соединение (Magnesium)

По данным диаграммам можно сделать следующие выводы:

1. При равных внешних условиях наиболее прочным соединением является труба квадратная и, ее выгоднее использовать при проектировании балок.
2. Наиболее прочными материалами оказались Iron cast G40 Iron 40.
3. Деформация таврового соединения в 2,03 раза больше, чем деформация трубы.
4. Ниже представлена итоговая таблица максимальной деформации:

Марка материала	Деформация балки, мм.	
	Труба квадратная	Тавровое соединение
Iron cast G40	95.25	194.04
Aluminium 6061	193.15	393.26
Iron 40	105.67	215.26
Magnesium	295.26	602.47

### Список литературы

1. Патон Б.Е., Труфяков В.И. О повышении несущей способности и долговечности сварных конструкций // Автоматическая сварка. 1982. № 2. С. 1-6.
2. Миддельдорф К., Д. фон Хофе. Тенденции развития технологии соединения материалов // Автоматическая сварка 2008. № 11. С. 39-47.
3. Походня И. К. Металлургия дуговой сварки конструкционных сталей и сварочные материалы // Сварочное производство. 2010. № 4. С. 3-15.
4. [www.emk24.su/wiki](http://www.emk24.su/wiki)

УДК 621.833

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Айтмухамбетов Ильяс Ерланович  
 ilyas\_1996@mail.ru  
 Абишева Назерке Батырбековна  
 abishabilmazhit@mail.ru  
 Сембаева Алина Сабетовна  
 alina\_s2010@mail.ru  
 КапГТУ

**Аннотация.** В данной статье рассматривается восстановление деталей методами пластической деформации. Особое внимание уделяется на описание трех случаев способа восстановления. Также выявлены преимущества и недостатки данного метода.

**Annotation.** This article discusses the restoration of parts by plastic deformation methods. Particular attention is paid to the description of three cases of the recovery method. The advantages and disadvantages of this method are also identified.

**Ключевые слова:** пластическая деформация, приспособление, наплавка

Восстановление деталей пластической деформацией основано на свойстве металла изменять форму и размеры детали без ее разрушения под действием внешней силы. При восстановлении деталей пластической деформацией (давлением) используют пластические свойства металла,

способность при некоторых условиях деформироваться под нагрузками, не теряя целостности детали.

Восстановление изношенных деталей при помощи пластических деформаций может требовать определённых приспособлений и штампов, поэтому является экономически выгодным только в том случае, когда ремонтируется много однотипных деталей. Данный метод пока находит ограниченное применение. Исходя из этого, практическая ценность заключается в разработке и внедрении в ремонтную практику технологического процесса восстановления деталей машин.

Существует три случая способа восстановления деталей пластической деформацией, которые применяются в практике:

- а) для получения требуемых размеров изношенных поверхностей деталей;
- б) для исправления геометрической формы деформированных деталей;
- в) для восстановления определённых механических характеристик материала деталей.

Способ используют для выправления вмятин, погнутости, скручивания, изменения посадочных размеров изношенных мест деталей (увеличения диаметра изношенных шеек осей, валов, уменьшения диаметра изношенных поверхностей втулок), увеличения прочности деталей (дробеструйный наклеп) и снижения шероховатости механической обработки (накатка роликами шеек валов вместо их шлифования). Этот способ применяется также для восстановления первоначальных свойств деталей и так далее. Для облегчения пластического деформирования деталь предварительно нагревают, что резко увеличивает пластичность металла. Так, при нагреве деталей до  $900^{\circ}\text{C}$  прилагаемую нагрузку необходимо снизить до 0,5...0,6 МПа.

На примере исследования восстановления изношенных зубьев зубчатых колёс методами пластической деформации выполнен анализ специального изобретения. Авторами патента являются: В.А. Павлов, П.Я. Павликов, Б.М. Политов. Данное изобретение относится к обработке металлов давлением и может быть использовано в восстановительных работах, например, при ремонте изношенных зубчатых колёс пластическим деформированием.

Также существует способ восстановления изношенных зубчатых колёс, который включает наплавку электродом изношенного профиля зуба и колеса, частично погруженного в охлаждающую жидкость, обработку зуба и закалку.

Минусами известного способа являются низкая производительность при наплавке металла электродом и низкое качество наплавки в связи с большими трудностями по обеспечению равномерного слоя наплавленного металла.

Наиболее оптимальным решением по технической сущности достигаемому результату к предлагаемому является способ восстановления изношенных стальных зубчатых колёс, который включает нагрев восстанавливаемого колеса до температуры аустенизации материала и его пластическое деформирование.

Минусом данного способа является то, что нужно повторять нагревание закаленных зубьев и всего колеса до температуры аустенизации под

пластическую деформацию, что ведёт к обезуглероживанию поверхностного слоя зубьев и уменьшению твердости и несущей способности колеса.

Цель приспособления – нужно повысить свойства восстанавливаемых зубчатых колёс путем устранения возможности обезуглероживания поверхности зубьев в процессе нагрева.

Указанная цель может быть достигнута тем, что согласно способу восстановления изношенных стальных зубчатых колес, включающему нагрев восстанавливаемого колеса до температуры аустенизации материала и его пластическое деформирование, изношенные зубья колеса последовательно перед нагревом погружают в охлажденную жидкость на глубину, равную высоте зуба. При этом нагреву каждый раз подвергают основание зуба пропусканием электрического тока между противоположными поверхностями основания зуба по кратчайшему между ними расстоянию, а пластическое деформирование основания зуба выполняют в направлении протекания электрического тока.

Маленький уровень специализации ремонтных работ доводит до того, что на производстве 50-60% общего объема капитального ремонта производится децентрализовано в цехах с изготовлением большей части запасных деталей на низком техническом уровне. Децентрализация ремонтного хозяйства доводит до того, что ремонт одномодельного оборудования осуществляется параллельно в нескольких цеховых мастерских одного и того же завода. При этом цеховые механики вынуждены выполнять техническую подготовку одних и тех же работ в различных вариантах. В итоге стоимость изготовления запасных частей намного дороже, чем в станкостроении, а ремонт оборудования в ряде случаев оказывается экономически невыгодным.

Пластическое деформирование выгодно не только при восстановлении поверхностей и форм, но и для улучшения физико-механических свойств поверхностного слоя металла, увеличение класса шероховатости и увеличения коррозионной стойкости. Чаще пластическое деформирование применяют вместе с наращиванием металла разными способами (наплавкой и др.) для увеличения предела выносливости, а значит и долговечности деталей.

#### **Список литературы**

1. Гуляев А.П. «Металловедение», М: Металлургия, 1986 г.
2. Лившиц Б.Г. «Металлография», М.: Металлургия
3. Изобретение для восстановления зубчатых колес методом деформирования, В.А. Павлов, П.Я. Павликов, Б.М. Политов, Государственный комитет СССР по делам изобретений

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Ахмадиев Габдулахат Маликович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет  
GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru

**Аннотация.** Установлено эффективность предлагаемого метода импульсно-циклической электрохимической обработки детали, в том числе металлов и сплавов, который включает обработку детали в растворе электролита импульсами напряжения, в этом случае обработку ведут импульсами напряжения, длительность, которых больше времени заряжения двойного электрического слоя и меньше времени развития короткого замыкания:  $t_{зар} < t_{имп} < t_{ркз}$ , где  $t_{зар}$  - время заряжения двойного электрического слоя;  $t_{имп}$  - длительность импульса напряжения;  $t_{ркз}$  - время развития короткого замыкания в электролите.

**Ключевые слова:** электрохимический метод, раствор электролита, металл, сплав

**Annotation.** The effectiveness of the proposed method of pulsed-cyclic electrochemical treatment of a part, which includes the processing of a part in an electrolyte solution by voltage pulses, is established, while the processing is performed by voltage pulses, the duration of which is longer than the charging time of the double electric layer and less than the development time of the short circuit:  $t_{zar} < t_{imp} < t_{trkz}$ , where  $t_{zar}$  is the charging time of the double electric layer;  $t_{imp}$  - voltage pulse duration;  $t_{trkz}$  - time of development of a short circuit in the electrolyte.

**Введение.** Известны способы размерной электрохимической обработки металлов и сплавов [1].

В разработанных способах описаны теория, физические основы, режимы электрохимической обработки, в том числе в импульсном режиме. Приведены данные о процессах нарушения обработки в результате коротких замыканий. Электрохимическая обработка осуществляется в результате анодного растворения материала заготовки в нейтральных водных растворах солей (электролитах) при приложении внешнего поляризирующего напряжения. Способ является уникальным, так как осуществляется без износа электрода-инструмента, и обеспечивает высокое качество поверхности деталей из труднообрабатываемых материалов (нержавеющих сталей, вязких сплавов и др.)

Известен способ обработки титана и титановых сплавов в электролитах с применением анодных регулируемых прямоугольных импульсов от источника напряжения с постоянной амплитудой [2].

Наиболее существенным недостатком способа является высокая вероятность коротких замыканий между электродом-инструментом (катодом) и заготовкой (анодом). Явление короткого замыкания является причиной радикального разрушения электрода инструмента и заготовки. В результате

громдных токов короткого замыкания (до нескольких тыс. ампер) происходит термическое нарушение геометрии электрода-инструмента, «пригар» на поверхности заготовки, что является причиной невозможности их дальнейшего использования. Особенно актуально эта проблема проявляется при переходе к электрохимической обработке на малых межэлектродных зазорах (МЭЗ) и повышении плотности тока до сотен ампер на см<sup>2</sup>. Дальнейшее уменьшение МЭЗ при микроэлектрохимической обработке привело к повышению плотности тока до 1000-2000 А/см<sup>2</sup>. Известен способ электрохимической обработки, в котором снижение вероятности коротких замыканий достигается за счет сочетания сложных кинематических перемещений и контроля, за ними для исключения нарушения устойчивости системы СПИД [3]. Процесс осуществляется в растворе электролита импульсами напряжения при использовании циклического режима и колебаний электрода-инструмента. Процесс осуществляется в растворе электролита импульсами напряжения при использовании циклического режима и колебаний электрода-инструмента.

**Целью настоящей работы** является оценка и прогноз эффективности электрохимического метода обработки металлов и сплавов.

#### **Материал и методы исследований**

Предлагаемый способ электрохимической обработки осуществляется при использовании длительностей импульсов напряжения и меньшей времени развития короткого замыкания.

Наиболее эффективным путем повышения надежности процесса электрохимической обработки является уменьшение длительности импульсов напряжения ( $t_{имп}$ ). Однако при  $t_{имп} \gg t_{ркз}$ , обеспечить полное исключение коротких замыканий невозможно, где  $t_{ркз}$  - время развития короткого замыкания в рабочей среде (электролите) (время задержки пробоя).

Для исключения коротких замыканий в предлагаемом способе выполняется условие

$$t_{зар} < t_{имп} < t_{ркз}, \quad (1)$$

где  $t_{зар}$  - время заряжения двойного электрического слоя.

#### **Результаты исследований и их обсуждение**

Для осуществления способа производится:

1) расчет минимально допустимой длительности импульса напряжения на основании расчета времени заряжения двойного электрического слоя.

Время заряжения двойного электрического слоя оценочно может быть определено как

$$t_{зар} = CU/J, \quad (2)$$

где,  $C$  - удельная емкость двойного электрического слоя, Ф/м<sup>2</sup>;  $U$  - перенапряжение в двойном электрическом слое, В;  $J$  - плотность тока, А/м<sup>2</sup>.

Из теоретической электрохимии известно, что для традиционных условий размерной электрохимической обработки

$$C=0,2 \text{ Ф/м}^2; U=(0,2 - 0,8) \text{ В}; J=10-2000 \text{ А/см}^2.$$

Авторами для предложенных технологических условий осуществления процесса электрохимической обработки по фактору зависимости (2) выполнен расчет диапазона минимальных величин длительностей импульса напряжения (см. таблица).

Таблица

Плотность тока, $J, \text{ А/см}^2$	Минимальная длительность импульса $t_{\text{имп}}^{\text{мин}}$ , нс		
	Перенапряжение $U, \text{ В}$		
	0,2	0,5	0,8
10	400	1000	1600
100	40	100	160
200	20	50	80

В настоящем частном случае,  $t_{\text{имп}}^{\text{мин}}$  должно быть в диапазоне 2-160 нс.

Для выполнения таких длительностей импульса напряжения стало осуществимо в связи с созданием новой электронной техники, обеспечивающей формирование мощных импульсов напряжения заданной длительности.

2) выбор максимальной длительности импульса напряжения.

Для исключения коротких замыканий необходимо выполнение условия

$$t_{\text{имп}} < t_{\text{ркз}}.$$

Из работ Ушакова В.Я. и Наугольных К.А. [4;5] известно, что при пробое жидкостей в тепловом режиме имеет место задержка пробоя, зависящая от теплоемкости, электропроводности жидкости, напряженности электрического поля. Для оценки времени задержки пробоя используется формула:

$$t_{\text{ркз}} = c \rho / (0,24 a \gamma_0 E^2), \quad (3)$$

где  $c$  - теплоемкость жидкости;  $\gamma_0$  - электропроводность раствора;  $E$  - напряженность электрического поля;  $a$  - коэффициент.

Экспериментальные оценки в названных выше работах дают  $t_{\text{ркз}} < 30$  мкс.

Авторами, для обработки металлов и сплавов установлено время возникновения импульсов, «белого шума» (предвестника короткого замыкания) составляет  $t_{\text{имп}}^{\text{max}} < 30$  мкс[6].

3) осуществление процесса обработки металлов и сплавов происходит с длительностью импульсов напряжения в выбранных пределах.

Предлагаемый способ импульсно циклической электрохимической обработки был экспериментально апробирован в следующих технологических условиях: Межэлектродный зазор - 5-20 мкм.

Длительность импульса:  $t_{\text{имп1}} = 1,0$  мкс;  $t_{\text{имп2}} = 100$  мкс.

Напряжение - 12 В.

Тип электролита - водный раствор 10%  $\text{NaNO}_3$ .

Материал заготовки - нержавеющая сталь 1X18H9T.

Материал электрода- инструмента: латунь Л61.

Диаметр электрода- инструмента - 5,0 мм.

Начальная температура электролита - 23°C.

Коэффициент импульсов напряжения 20, 40, 60%.

Авторами эксперимент выполнялся в два этапа: 1) для длительности  $t_{\text{имп1}} < t_{\text{ркз}}$ ; 2) для длительности  $t_{\text{имп2}} > t_{\text{ркз}}$ .

Установлено, что при использовании импульсов длительностью 1,0 мкс коротких замыканий не наблюдалось, а при использовании импульсов длительностью 100,0 мкс на поверхностях обоих электродов обнаружены следы термических воздействий в виде лунок диаметром около 2 миллиметров и глубиной около 0.2 мм[5].

### **Заключение**

Таким образом, предлагаемый апробированный эффективный метод импульсно-циклической электрохимической обработки детали[6] включает обработку детали в растворе электролита импульсами напряжения, при этом обработку ведут импульсами напряжения, длительность которых больше времени заряжения двойного электрического слоя и меньше времени развития короткого замыкания:

$t_{\text{зар}} < t_{\text{имп}} < t_{\text{ркз}}$ , где  $t_{\text{зар}}$  - время заряжения двойного электрического слоя;  $t_{\text{имп}}$  - длительность импульса напряжения;  $t_{\text{ркз}}$  - время развития короткого замыкания в электролите.

### **Список литературы**

1. Давыдов А.Д., Козак Е. Высокоскоростное электрохимическое формообразование.- М.: Наука. 1990 - 272 с.
2. Патент РФ №2220031 С1, В23Н 3/00, В23Н 3/02, заявлено 05.02.2003, опубл. 27.12.2003
3. Патент RU 2330746 Способ размерной электрохимической обработки металлов В23Н 3/00 10/08/ 2008
4. Ушаков В.Я. Импульсный электрический пробой жидкостей. Томск, изд-во ТГУ, 1975. -258 с.
5. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде.- М.: Наука, 1971. -155 с.
6. Патент RU2701909. Способ импульсно циклической электрохимической обработки. Опубликовано:02.10.2019, Бюл. № 28



## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТЕПЕНЬ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ СТАЛИ**

Ахметзянова Ландыш Хайдаровна, [landysh-1998@mail.ru](mailto:landysh-1998@mail.ru)

Самойлова Анна Сергеевна, [anyasamoylova2000@mail.ru](mailto:anyasamoylova2000@mail.ru)

Куртаева Фарида Наилевна, [fnkurtaeva@kai.ru](mailto:fnkurtaeva@kai.ru)

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

## **INFLUENCE OF HEAT TREATMENT MODES ON THE DEGREE OF HARDENING BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION OF STEEL**

Akhmetzyanova L.Kh., [landysh-1998@mail.ru](mailto:landysh-1998@mail.ru)

Samoylova A.S., [anyasamoylova2000@mail.ru](mailto:anyasamoylova2000@mail.ru)

Kurtaeva F.N., [fnkurtaeva@kai.ru](mailto:fnkurtaeva@kai.ru)

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

**Аннотация:** представлен обзор способов деформационно-термической обработки сталей, на примере стали 9ХС показана эффективность существующих технологий.

**Abstract:** the methods of deformation and heat treatment of steels are given, a new invention of thermomechanical treatment is given on the example of 9XC steel. The use of this method can significantly improve the mechanical properties of steel and reduce the complexity of manufacturing products from it.

**Keywords:** deformation-heat treatment, mechanical-heat treatment, thermomechanical treatment, micro-deformation-thermal treatment, subcritical temperature.

**Ключевые слова:** деформационно-термическая обработка, механико-термическая обработка, термомеханическая обработка, микродеформационно-термическая обработка, субкритическая температура.

Деформационно-термическая обработка рассматривается как один из видов упрочняющей комбинированной обработки, сочетающей в едином технологическом процессе операции пластической деформации и термической обработки.

По современной классификации к деформационно-термической обработке (ДТО) следует относить: механико-термическую обработку (МТО); термомеханическую обработку (ТМО); микродеформационно-термическую обработку (МДТО).

Механико-термической обработкой (МТО) называют такие процессы деформационно-термической обработки, которые заключаются в пластической деформации металлов и сплавов на небольшие степени при температуре выше или ниже температурного порога рекристаллизации и последующем отжиге или старении с целью получения и закрепления полигональной структуры, с целью повышения длительной прочности и жаропрочности металлов и сплавов. Упрочнение, достигаемое в результате МТО, связывают с деформационным

старением. Способ механико-термической обработки сталей и сплавов путем растяжения или прокатки, отличается тем, что, с целью повышения механических свойств и жаропрочности, заготовки после термической обработки подвергаются многократному холодному деформированию до точки окончания текучести с промежуточным старением между циклами деформирования при температуре ниже температуры начала рекристаллизации.

Термомеханическая обработка (ТМО) — это термическая обработка, включающая пластическую деформацию, которая благодаря повышенной плотности дефектов влияет на формирование структуры при фазовых превращениях, происходящих во время термического воздействия.

Различают два основных вида ТМО: высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) и низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО). При ВТМО деформация производится при температуре выше температуры рекристаллизации (при этом сталь имеет аустенитную структуру). Степень деформации 20—30%. Во избежание рекристаллизации вслед за деформацией незамедлительно производится закалка (1150 °С) с последующим низкотемпературным отпуском (100—200 °С). НТМО применяется только для легированных сталей, обладающих значительной устойчивостью переохлажденного аустенита. При НТМО деформация производится ниже температуры рекристаллизации (400—600 °С), степень деформации 75—95 %. Закалку производят сразу после деформации, а затем следует низкотемпературный отпуск (100—200 °С).

Если при обычной термической обработке сталь имеет временное сопротивление при растяжении 2000—2500 МПа, то после ТМО оно достигает 2200—3000 МПа, при этом пластичность увеличивается в два раза (удлинение с 3—4% повышается до 6—8%).[1]

Микродеформационно-термическая обработка, основанная на влиянии чередующихся многократных микродеформаций, развивающихся одновременно с тепловым воздействием на структуру металлов и сплавов, технологически может выполняться с использованием принципиально различных физических воздействий[1].

Известно изобретение (Патент RU№ 2 544 730 С1, опублик. 20.03.2015), результатом которого является разработка нового способа деформационно-термической обработки низколегированных сталей для повышения их прочностных свойств за счет формирования субмикроструктурной структуры. Целью изобретения является повышение твердости, прочности, вязкости разрушения и обрабатываемости стали.

Заготовки нагревают со скоростью 80-100 град/мин до субкритических температур  $A_{c1}$  - 5-15°С, выдерживают при этих температурах 2-2,5 ч и прокатывают со степенью деформации 30-60%. После деформации их нагревают до температур  $A_{c1} + 40-50^{\circ}\text{C}$ , закалывают в масле и отпускают при 200-300°С в течение 2 ч. Для повышения обрабатываемости за счет уменьшения твердости заготовки охлаждают с температур деформации на воздухе и подвергают механической обработке. Готовые изделия греют до температур  $A_{c1} + 40-50^{\circ}\text{C}$ , закалывают в масле и при температуре в течение 2 ч.

Способ заключается в том, что отливку из стали куют и закаливают с температуры ковки в масле. Затем заготовка нагревается до субкритических температур ( $A_{c1}$  - 5-15°C), выдерживается при этих температурах и подвергается пластической деформации со степенью обжатия 30-60%. Затем следует стандартная термическая обработка, включающая в себя закалку и отпуск при температурах 180-200°C. Способ позволяет получить стали с мелкозернистой структурой и высоким уровнем прочностных характеристик.[2]

Отливку из стали 9ХС обрабатывают по предложенному способу, результаты приведены в таблице 1.

Табл.1 Свойства стали 9ХС после обработки по предложенному способу

Способ обработки	Механические свойства		
	$\sigma_{изг}$ , Н/ мм <sup>2</sup>	KCU, Дж/ см <sup>2</sup>	HRC
Известный способ: аустенизация; деформация 10-20% при охлаждении; закалка, промежуточный отпуск при 500°C; охлаждение на воздухе; скоростной нагрев; закалка и отпуск	3050	12	62
Предлагаемый способ: аустенизация; нагрев до температур $A_{c1}$ -(5-15)°C со скоростью 100 град/мин, выдержка 2-2,5 часа; пластическая деформация 30-60%; вторичная закалка с температур $A_{c1}$ +50°C; отпуск 200°C с выдержкой 2 ч.	5100	35	63

Благодаря обработке по предлагаемому способу, наблюдается уменьшение зерна в стали до 2-5 мкм, повышение значений ударной вязкости по сравнению с аналогичными сталями после стандартной обработки, уменьшение склонности сталей к проявлению эффекта обратимой отпускной хрупкости. Это позволит расширить область применения сталей и снизить материалоемкость изделий из них.

### Список литературы

1. Биронт В.С., Гурская В.Ю. Теория термической обработки металлов: Лабораторный практикум / СФУ: ИЦМиЗ. – Красноярск, 2007. – 100 с.
2. Патент RU № 2 544 730 С1, опублик. 20.03.2015

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ

Байгалиев Борис Ергазович, Черноглазова Алевтина Валентиновна,  
Байгалиева Надежда Ивановна  
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.  
Туполева (КНИТУ-КАИ)  
Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10  
E-mail: [alevtinac@mail.ru](mailto:alevtinac@mail.ru)

**Аннотация.** Предложены математические модели полимерных композиционных материалов (КМ) и методика расчета теплопроводности пористых полимерных КМ.

**Abstract.** Mathematical models of polymer composite materials (CM) and a method for calculating the thermal conductivity of porous polymer CMs are proposed.

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы (КМ), наполнитель, порошок, пористость.

Одной из важных эксплуатационных характеристик полимерных КМ является теплопроводность [1, 2]. Известно, что коэффициент теплопроводности большинства полимеров составляет  $0.12 \pm 0.20 \text{ Вт/(мК)}$ . Проблема изменения теплопроводности за счет пористости практически снимается, если использовать полимеры с наполнителями. Причем теплопроводность может уменьшаться (наполнитель – воздух) или увеличиваться (наполнитель – металлы). Экспериментальное определение этой характеристики для полимерных КМ является трудоемкой, долговременной, а значит недешевой операцией. Поэтому важно применение аналитических методов определения теплопроводности полимерных композиционных материалов.

Целью настоящего исследования является расчет теплопроводности, пористых полимерных КМ, и создание модели, которая учитывает одновременное влияние формы элементарной ячейки и наличие граничного слоя.

Процессы теплопереноса в полимерных композиционных материалах зависят от химического состава, физического состояния, их концентрации и распределения в полимерном связующем [3].

Разработка математической модели пористых полимерных КМ использует элементарные ячейки, в которых в качестве наполнителя используются частицы квазисферической формы.

Теплопроводность, теплоёмкость, эффективная теплопроводность полимерных КМ для пористых систем существенно зависит от различных типов наполнителя и специфических свойствах граничного слоя между частицей наполнителя и полимерным связующим.

Как правило, поры прилегают к поверхности частиц наполнителя [4, 5]. Рассмотрим модель квазисферической частицы радиуса  $r_n$ , окруженной

граничным слоем толщиной  $\Delta l$ , с прилегающими симметричными относительно оси  $Ox$  цилиндрическими порами радиуса  $r_p$ , вписанной в параллелепипед сечением  $a^2$  и длиной  $b$  (рис. 1), что позволяет описать эффективную теплопроводность полимерных композиционных материалов.

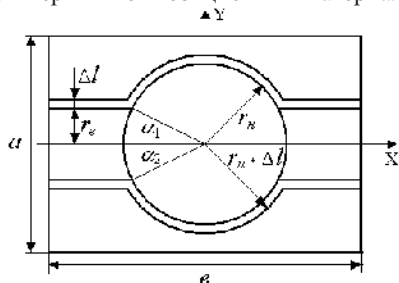


Рисунок 1 – Модель ячейки полимерного КМ с квазисферической формой частицы наполнителя, граничным слоем и порами

Хорошую корреляцию с экспериментом дает простая модель, представительный элемент которой имеет форму частицы длиной  $r$ , сечением  $r_n^2$ , охваченную слоем полимера (рис. 2). Примем площадь сечения такого элемента

$r_n^2 = 1$ . Тогда объемная концентрация наполнителя  $v_n = \frac{r_n^2}{r_n^2}$  и  $r_n = v_n^{-\frac{1}{2}}$ .

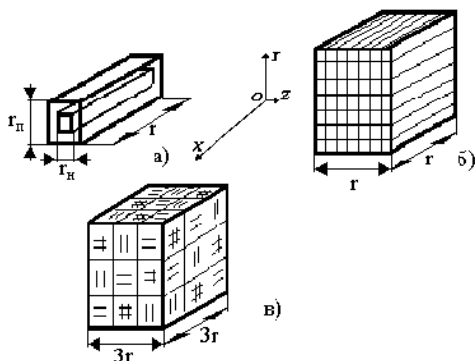


Рисунок 2 – Модель структуры композиции с анизодиаметрической формой частиц наполнителя: а) элементарная ячейка; б) элемент с анизотропией теплопроводности; в) осредненный изотропный элемент

Рассмотренная элементарная ячейка имеет анизотропию теплопроводности, которая в зависимости от направления принимает значения  $\lambda_x$ ,  $\lambda_y$ , и  $\lambda_z$ . Для получения изотропного агрегата составим блок (рис. 3) со стороной  $3a$ , содержащий представительные элементы всех возможных

ориентаций. Тепловое сопротивление такого агрегата в любом направлении определяется:

$$R_{эфф} = \frac{3a}{9\lambda_{эфф}\Omega^2} = \frac{\frac{a}{\lambda_x a^2} + \frac{a}{\lambda_y a^2} + \frac{a}{\lambda_z a^2}}{9},$$

откуда

$$\lambda_{эфф} = \frac{3\lambda_x \lambda_y \lambda_z}{\lambda_x \lambda_y + \lambda_y \lambda_z + \lambda_x \lambda_z}.$$

Для определения тепловых сопротивлений в обеих моделях приведены выражения подынтегральных функций. Расчеты проводятся численными методами интегрирования на ПЭВМ. При этом в программу вводятся не только значения теплопроводности анализируемых компонентов, но и значения их плотностей и плотности композиции. Это позволяет определить концентрацию пустот в связующем и провести перенормировку концентрации наполнителя на концентрацию представительных элементов.

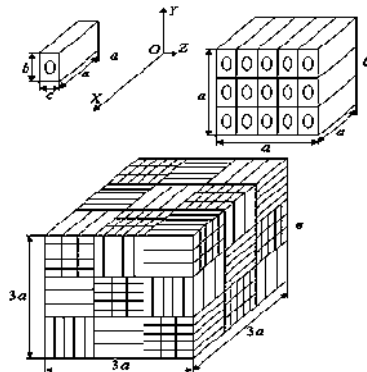


Рисунок 3 – Модель КМ с эллипсоидной формой частиц наполнителя:  
*a* – элементарная ячейка; *b* – кубический элемент с анизотропией теплопроводности; *v* – усредненный изотропный элемент

Оценка возможностей применения рассмотренных моделей для прогнозирования эффективной теплопроводности полимерных КМ проведена на примере пентапласта, наполненного частичками анизодиаметрической формы: рубленым стекловолокном и графитом (рис. 4).

Диаметр частиц рубленого стекловолокна цилиндрической формы равен  $e = f = 10$  мкм, среднеквадратическое значение длины  $d = 200$  мкм. Определяющие размеры частиц графита П-3А:  $d = f = 9$  мкм;  $e = 0,15d$ .

Теплопроводность определена стационарным методом. Толщина граничного слоя бралась равной  $0,1 \cdot e$ , а теплопроводность составила  $0,4$  Вт/(мК) [5]. Значения плотности наполнителей, пентапласта и композиций на его основе определены методом гидростатического взвешивания.

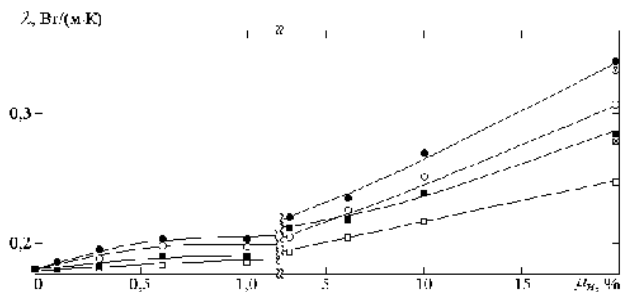


Рисунок 4 – Зависимости теплопроводности пентапласта от массовой концентрации стекловолокна (■ - эксперимент; □, ⊠ - модель эллипсоидной частицы) и графита П-3А (● - эксперимент; ○, ⊙ - модель эллипсоидной частицы)

Проведенные на основании указанных данных расчёты дают заниженные, по сравнению с экспериментом, значения эффективной теплопроводности КМ во всём концентрационном интервале исследований. Однако повышение значений теплопроводности граничного слоя до 0,8 – 0,9 Вт/(мК), что кажется маловероятным, или увеличение его толщины в 5 – 10 раз практически устраняют различия модельных данных и эксперимента. Таким образом, удовлетворительно моделируется структурирующее воздействие частиц наполнителя анизодиаметрической формы на теплофизические характеристики граничного слоя. Поэтому представленная в данной работе модель может оказаться полезной при анализе подобного воздействия на процессы теплопереноса в полимерных КМ.

### Список литературы

1. Эпов М.И., Терехов В.И., Низовцев М.И., Шурина Э.П., Иткина Н.Б., Уколов Е.С. Эффективная теплопроводность дисперсных материалов с контрастными включениями, ТВТ, 53:1 (2015). С. 48–53.
2. Формалеев В.Ф., Колесник С.А., Кузнецова Е.Л., Рабинский Л.Н. Тепломассоперенос в теплозащитных композиционных материалах в условиях высокотемпературного нагружения, ТВТ, 54:3 (2016). С. 415–422.
3. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
4. Байгалиев Б.Е., Темникова С.В., Черенков А.В. Модель эффективной теплопроводности пористых полимерных композиционных материалов с квазисферической формой частиц наполнителя //Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. 2009. №2. С. 10.
5. Байгалиев Б.Е., Темникова С.В., Черенков А.В. Модель эффективной теплопроводности полимерных композиционных пористых материалов//Изв. вузов. Авиационная техника, 2008. № 4. С. 62.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И СПОСОБА СВАРКИ ТРЕНИЕМ НА БАЗЕ ТОКАРНОГО СТАНКА

Бактыбай Ислам Серғазыұлы – магистрант КарГТУ, [isbak94@mail.ru](mailto:isbak94@mail.ru)  
Бузауова Тоты Мейрбековна – к.т.н., доцент [toty\\_77@mail.ru](mailto:toty_77@mail.ru)  
Матешов Арман Кариевич – магистр, старший преподаватель

**Аннотация.** В статье изложены устройство и вид сварки трением на базе токарного станка. Рассмотрен процесс устройства, недостатки и преимущества данного вида сварки.

**Annotation.** The article describes the device and type of friction welding on the basis of a lathe. The process of the device, the disadvantages and advantages of this type of welding are considered.

**Ключевые слова:** сварка, трение, подшипник, шпилька, конструкция.

**Key words:** welding, friction, bearing, hairpin, design.

Сварка трением – разновидность сварки давлением (часто упоминается как «сварка без расплавления»), при которой нагрев осуществляется трением, вызванным — в базовом варианте данного метода — перемещением (вращением) одной из соединяемых частей свариваемого изделия. Сварка трением используется для соединения различных металлов и термопластиков в авиастроении и автомобилестроении. Следует отметить, что окончательное соединение формируется на завершающей стадии процесса, когда к уже неподвижным образцам прикладывается проковочное усилие.

Процесс образования сварного соединения включает такие этапы:

- разрушение и удаление оксидных плёнок под действием сил трения;
- разогрев кромок свариваемого металла до пластичного состояния, возникает временный контакт, происходит его разрушение и наиболее пластичные объёмы металла выдавливаются из стыка;
- прекращение вращения с образованием сварного соединения.

Этой разновидностью сварки можно сваривать длинные и громоздкие детали. При сварке используются промежуточные детали (вставки). Длинные детали закрепляют неподвижно, а вращению подвергается вставка между свариваемыми деталями.

Этот вид сварки имеет высокий КПД, так как тепло выделяется строго в месте сварки и не теряется как в других сварочных процессах для его подведения к свариваемой детали.

Устройство для сварки с трением изобретенный авторами [1, 2] (1-рисунок), позволяет создавать простые приспособления для сборки трением к токарным станкам без опасности снижения ресурса работы подшипникового узла шпинделя станка.



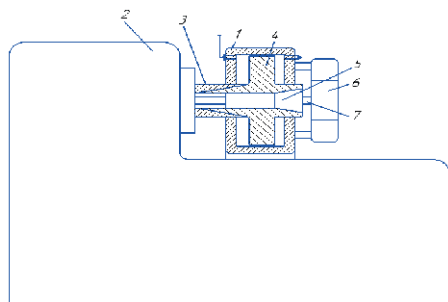


Рисунок 1- Устройство для сварки трением:

состоит из корпуса пневмоцилиндра 1, который установлен с возможностью осевого перемещения на станине 2 станка. На шпинделе 3 закреплен поршень 4 пневмоцилиндра, несущий зажимное устройство 5 одной из свариваемых деталей. Зажимное устройство 6 другой свариваемой детали закреплено на корпусе пневмоцилиндра 1. Сварочный стык обозначен позицией 7.

Устройство работает следующим образом: детали, подлежащие сварке, устанавливаются в зажимных устройствах 5 и 6 и зажимаются. Включается привод вращения станка. Шпиндель 3 вместе с поршнем 4 и зажимным устройством 5 разгоняется до заданных оборотов. Подается давление в пневмоцилиндр 1, при этом корпус пневмоцилиндра перемещается влево относительно шпинделя 3. Создается давление в сварочном стыке. Подшипники шпинделя станка оказываются нагруженными только осевой силой трения между направляющими корпуса пневмоцилиндра 1 и станиной 2 станка (около 5-10 кгс) и не нагружены осевым сварочным давлением.

После заданного времени разогрева (имеется реле времени, которое условно не показано) подается сигнал на отключение привода вращения. За счет трения в сварочном стыке шпиндель тормозится. Включается проковочное давление и по истечении времени проковки сварка заканчивается.

Зажимное устройства разжимается. Сварная заготовка вынимается.

Изобретение относится к сварке, а именно к устройствам для сварки трением.

Недостатком известной конструкции является сложность подшипникового узла шпинделя из-за необходимости установки упорного подшипника.

Способ сварки трением изобретенные авторами [2] (2-рисунок), при котором осуществляется относительно перемещение торцов свариваемых заготовок с приложением осевого давления и проковку, отличающийся тем, что, с целью повышения качества сварного соединения путем повышения соосности свариваемых заготовок, на свариваемые заготовки устанавливают втулки, обращенные одна к другой сопрягаемыми поверхностями, одна из которых имеет углубление в форме усеченного конуса, а другая - выступ той же

формы, и в момент начала проковки сводят втулки до соприкосновения сопрягаемых поверхностей по боковым поверхностям конусов.

Изобретение относится к сварке металлов трением.

Известен способ сварки трением, при котором осуществляют относительное перемещение торцов свариваемых заготовок с приложением осевого давления и проковку. Контроль положения заготовок осуществляется путем замера радиальных напряжений в стыке в течении всего процесса сварки.

Идеальная соосность возникает при нулевых значениях радиальных напряжений.

Целью изобретения является повышение качества сварного соединения путем повышения соосности свариваемых заготовок.

Поставленная цель достигается тем, что согласно способу сварки трением, при котором осуществляют относительное перемещение торцов свариваемых заготовок с приложением осевого давления на свариваемые поверхности, одна из которых имеет углубление в форме усеченного конуса, а другая выступ той же формы, и в момент начала проковки сводят втулки до соприкосновения сопрягаемых поверхностей по боку поверхностям конусов.

Наиболее целесообразно использовать предлагаемый способ при варке обработанных заготовок, имеющих 5-й класс точности поверхности не ниже по ЕСКД и чистоте поверхности не ниже  $R > 40$ . Внутренняя поверхность втулок растачивается так, что обеспечена ходовая посадка втулок относительно концов свариваемых заготовок. Тогда сопряжение колодок во время проковки позволяет осуществить упругое смещение торцов заготовок и исправить несоосность, возникшую при зажиме заготовок и в процессе их нагрева.

На рисунке 2 показана схема, поясняющая суть предлагаемого способа.

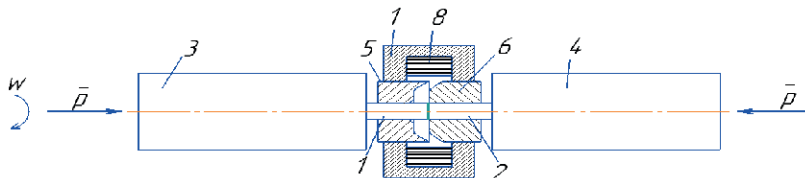


Рисунок 2 - Способ сварки трением

Свариваемые заготовки 1 и 2, имеющие обработанную наружную поверхность, устанавливаются в зажимных устройствах 3 и 4 с вылетом концов, допускающих упругое смещение. На концы заготовок 1 и 2 по ходовой посадке одевают сопрягаемые втулки 5 и 6. На сопрягаемой поверхности втулка 5 имеет углубление в форме усеченного конуса, а втулка 6 имеет выступ той же формы. Втулки 5 и 6 являются одновременно якорями электромагнита 7, катушка 8 которого создает магнитный поток.

В процессе сварки, после разогрева и прекращения взаимного перемещения свариваемых заготовок (во время проковки), включается катушка 8 электромагнита. Втулки 5 и 6 перемещаются навстречу друг другу и

замыкаются между собой, упруго деформируя концы заготовок и тем самым исправляя несоосность сварного соединения, вызванную неточностью изготовления зажимных устройств, Замыкание конусных втулок 5 и 6 необходимо производить сразу же после прекращения относительного перемещения, пока не произошло охватывания металла в сварочном стыке.

Способ опробован при сварке трением длинных метчиков с диаметром хвостовика ф-8 мм. Концы заготовок режущей части метчика и хвостовика выступают из зажимов на 20 мм. Наружная поверхность заготовок имеет класс чистоты R>20. Втулки устанавливаются по ходовой посадке.

В результате серии экспериментов из 100 сварок допуск на несоосность получается в пределах + 0,05 мм, тогда как на той же машине при сварке без втулок допуск на несоосность составляет 2 0,2 мм.

Анализ существующих устройств показал, что имеющиеся устройства имеют следующие недостатки, такие как ограниченность формы свариваемой детали, в свариваемом месте она должна иметь форму круга или кольца, сложность осуществления нагрузки и выгрузки свариваемых деталей.

Разработка устройства сварки трением на базе токарного станка остается актуальным на сегодняшний день, который позволяет решить проблемы на машиностроительных предприятиях, так как эта сварка трением содержит положительные свойства, такие как: высокий уровень КПД из-за локальной генерации минимального объема, нет надобности проводить предварительную зачистку верхней части: данная возможность способствует сокращению времени на сварку, безопасность процесса, так как в ходе работы раскаленный металл не разбрызгивается, не выделяются инфракрасные лучи;

#### **Список использованной литературы**

1. В.И. Дыскин, О.А. Рыков, Л.С. Канель, А.А. Исаев, А.Ф. Вавилов и В.П. Воинов. Сварка трением. М., «Машиностроение», 1964, с. 107.
2. Виль В.И. Сварка металлов трением. «Машиностроение», 1970, с. 131.
3. В.И. Дыскин, О.А. Рыков, А.А.Исаев, В.В.Золотов и Ю.А.Шевцов, Уральский филиал научно-исследовательского института автомобильного транспорта, кл. В 23 К 20/12,1975.

### **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ТАВРОВОГО СОЕДИНЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ЛАЗЕРНОЙ СВАРКОЙ**

Вулпе М.Н.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

God.fd@list.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено тавровое соединение двух заготовок, полученное лазерной сваркой. Во втором случае была применена предварительная термическая обработка. Было замечено положительное влияние термической обработки на качество сварного шва.

**Abstract.** In this article the T-joint of two workpieces obtained by laser welding was considered. In the second case, preliminary heat treatment was applied. The positive effect of heat treatment on the quality of the weld was noted.

**Ключевые слова:** лазерная сварка, аддитивные технологии, термическая обработка

Аддитивные технологии перспективными технологиями производства, которые в перспективе смогут заменить «традиционные» технологии производства деталей. Однако аддитивные технологии имеют ряд преимуществ и недостатков. Основное преимущество аддитивных технологий – это возможность «вырастить» деталь сложной конфигурации, которую либо сложно, либо невозможно получить традиционными технологиями [1]. Таким образом, можно вырастить вентилируемые лопатки турбин, форсунки, детали, содержащие внутри полости либо же детали сложной конфигурации. В это же время на производстве данная технология имеет следующие ограничения: небольшой объем рабочей камеры, длительное время выращивания, высокая стоимость материалов, наличие остаточных напряжений. С рациональной точки зрения следует комбинировать традиционные и аддитивные технологии. Наиболее экономичным вариантом является соединение детали сложной конфигурации, выращенной при помощи аддитивных технологий, с деталью, полученной литьем, штамповкой, прокатом или с использованием других технологий. Ввиду того, что рационально выращивать детали малых размеров, наилучшим выбором способа соединения будет являться лазерная сварка, которая сочетает в себе высокую концентрацию энергии, высокую точность, минимальную площадь нагрева деталей и возможность сваривать разнородные стали.

В данном исследовании речь идет о тавровом соединении двух заготовок, полученном лазерной сваркой. Первая деталь – заготовка, полученная листовым прокатом, вторая – выращенная при помощи SLM технологии, далее обозначаемая как АТ-заготовка. Заготовки соединялись перпендикулярно друг другу: АТ-заготовка приваривалась к заготовке из проката. Для сварки заготовок с одной стороны использовалось лазерное излучение одной мощности, со второй – другой (табл. 1). Длина волны волоконного лазера составляла 1070 нм, фокусное расстояние – 450 мм, диаметр лазерного пятна – 200 мкм. Аргон использовался в качестве защитного газа для защиты верхней части расплавленной ванны. Скорость подачи газа составляла 17 л/мин.

Таблица 2. Параметры лазерной сварки.

	Скорость сварки, мм/с	Мощность излучения, Вт	Угол, °
Левая сторона ПГК	30	1200	45
Правая сторона ТП	30	900	45

До проведения сварочных работ АТ-заготовка была помещена в печь с последующей термической обработкой. Был произведен высокий отпуск:

заготовка была нагрета до 650°С с последующим остыванием на открытом воздухе без дополнительного охлаждения. Термическая обработка проводилась с целью снятия остаточных напряжений, характерных для аддитивно выращенных деталей, повышения пластичности и повышения ударной вязкости.

При проведении эксперимента сварка происходила в 2 различных режимах, соответствующих двум различным мощностям излучения. При мощности излучения в 900 Вт сварка проводилась в режиме ТП – лазерная сварка посредством теплопроводности. Данный режим используется для сварки тонкостенных заготовок и характеризуется постепенным плавлением металла с дальнейшим формированием сварного соединения.

При повышении погонной энергии (количества теплоты, введенного на единицу длины шва) температура расплавленного металла доходит до температуры испарения, в результате чего металл начинает кипеть и испаряться. Тепло поступает слишком быстро и не может рассеиваться достаточно быстро. Образуются металлические пары, глубина сварки резко возрастает, и процесс превращается в сварку с глубоким проплавлением - ПГК. Данный режим наблюдался при мощности в 1200 Вт. Вследствие этого появляется канал, из которого под реактивным давлением исходит факел, состоящий из паров металла. Пары газа в канале поглощают значительную часть энергии (около 95% в цилиндрическом объеме) и нагреваются до высоких температур (может достигать 25000 °С) - благодаря этому возрастает глубина проплава. При перемещении лазера расплавленный металл заполняет часть канала и кристаллизуется. Несмотря на неустойчивое состояние парогазового канала и возможное появление пор [2], режим ПГК позволяет сваривать детали большей толщины из-за своей высокой проплавливающей способности.

Ранее в работе [3] были рассмотрены микроструктура и микротвердость сварного соединения заготовок, не подвергающихся термической обработке. Цель данной работы – узнать, как зависят механические свойства и микроструктура сварного шва от предварительной термической обработки АТ-заготовки.

На рис. 1 заметно большое различие между формой и размерами сварных швов, хотя разность в приращении мощности составляет примерно 30% (300 Вт). У второго образца более заметны подрезы АТ-заготовки, металл с которых пошел на формирование сварного шва. Если рассматривать состав сварных швов, то для обоих образцов шов ТП состоит примерно в равных пропорциях из металлов проката и АТ-заготовка, а шов ПГК – преимущественно из металла заготовки проката. Также стоит отметить наличие пор в сварном шве образца БТО – это свойственно для швов, полученных в режиме с глубоким проплавлением (ПГК). У образца с ТО наличие пор не наблюдалось. В целом, качество сварного соединения обоих образцов хорошее ввиду отсутствия дефектов и трещин.

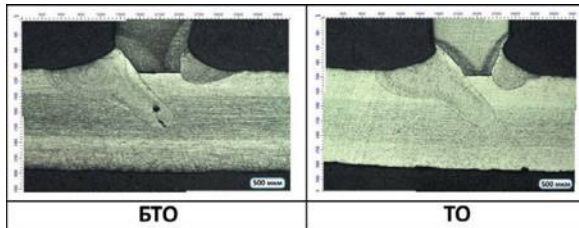


Рис. 1. Микроструктура образцов, полученных без использования термической обработки (БТО) и с использованием термической обработки (ТО).

На границе шва наблюдается направленная столбчатая структура в форме дендритов, перпендикулярная переходу от области сварного шва к АТ-заготовке (рис.2). Данная структура свойственна для структуры сварных швов аустенитной стали и вызвана высокой скоростью охлаждения, характерной для лазерной сварки. При рассмотрении зоны термического влияния (ЗТВ) было замечено, что границы ЗТВ в обоих режимах выражены достаточно резко, однако в режиме ПГК выражена более ярко. Однако стоит отметить, что ЗТВ у образца с применением термической обработки заметно меньше, что должно благоприятно влиять на качество соединения. При рассмотрении структуры было отмечено, что структура шва ТП состоит преимущественно из аустенита, а структура шва ПГК – смесь аустенита и бейнита.

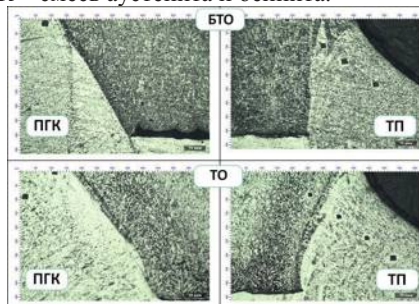


Рис. 2. Микроструктура линии перехода от шва к АТ-заготовке.

Твердость измерялась по диагонали, от заготовки проката до АТ-заготовки, проходя через сварной шов. По измеренным значениям твердости был построен график микротвердости сварного соединения (рис. 3).

По графику видно, что средняя твердость АТ-заготовки без термической обработки составляет 850 НВ, с применением термической обработки – 525 НВ. Произошло снижение твердости АТ-заготовки и повысилась пластичность и ударная вязкость из-за перекристаллизации структуры, вызванной проведением термической обработки. Твердость заготовки из листового проката составляет около 240 НВ. При сравнении микротвердости ЗТВ и шва (область ЗТВ на рис.3) можно отметить, что колоссальной разницы в твердости между образцами ТО и БТО при одном режиме не замечено, однако, как и в работе [3], заметна разница в твердости швов, полученных при разных

мощностях. Стоит отметить бóльшую твердость области ЗТВ у шва, полученного в режиме ТП, у образца с ТО. Это можно объяснить тем, что в этом случае подрезанного металла АТ-заготовки в сварном шве содержится больше, чем у образца БТО.

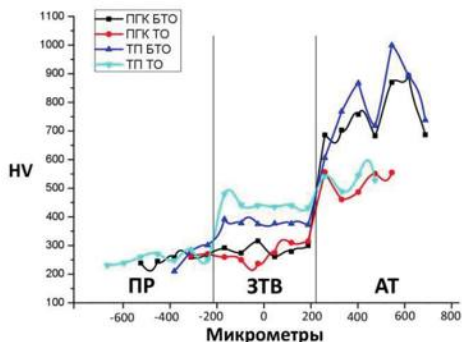


Рис. 3. График микротвердости сварного соединения.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать некоторые выводы. При применении термической обработки твердость АТ-заготовки снизилась, пластичность и ударная вязкость увеличились. Также у образца с ТО наблюдалось меньшее количество пор, а также ЗТВ меньших размеров, что положительно повлияло на качество сварного соединения. По графику микротвердости можно сделать выводы, что твердость сварного шва и ЗТВ выше в режиме ТП из-за более высокого содержания металла с АТ-заготовки в сварном шве, а также за счет более высоких скоростей охлаждения. В случае образца с ТО наблюдалась выше прочность в режиме ТП, что, возможно, связано с большим подрезом АТ-заготовки. В целом, сварные швы получились хорошего качества. Было замечено положительное влияние термической обработки на качество сварного шва.

Авторы выражают благодарность Региональному инжиниринговому центру «КАИ – Лазер» за предоставленную возможность проведения экспериментальных исследований.

### Список литературы

1. Курынцев С.В., Нагулин К.Ю., Горунов А.И. Аддитивные технологии – третья индустриальная революция // Научно-технические в машиностроении. 2016. № 7 (61). С. 39–44.
2. Шиганов И.Н., Курынцев С.В. Современные тенденции лазерной сварки (Обзор. Часть 1) // Научно-технические в машиностроении. 2015. №6. С. 35-41.
3. Вулпе М.Н., Иутин Р.В., Морушкин А.Е. Влияние мощности лазера на качество сварного соединения. // XXIII Тупольевские чтения: Материалы конференции. Сборник докладов: в 4 т. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2017. – Т. 1. – 487-492 с.

## МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

Габидуллин Раниль Райханович

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.

Туполева

[gabidullinranil@gmail.com](mailto:gabidullinranil@gmail.com)

**Аннотация:** основное внимание в обзорной статье уделено методике и способу осуществления лазерной сварки, так же описываются виды лазерных установок. К тому же, говорится о преимуществах и недостатках лазерной сварки и приводятся примеры их применения в промышленности.

**Abstract:** the main attention in the review article is given to the method and method of laser welding; the types of laser systems are described. The article also talks about the advantages and disadvantages of laser welding and provides examples of their application in industry.

**Ключевые слова:** лазерная сварка, твердотельный лазер, газовый лазер.

**Key words:** laser welding, solid-state laser, gas laser.

**Введение.** После того как люди начали добывать металлические руды, промышленность начала стремительно развиваться, а процесс соединения металлов стал важнейшим шагом в развитие машиностроения. На сегодняшний день, сварка используется во многих сферах промышленности, и уже насчитывает более 60 видов, которые классифицируются по основным физическим, техническим и технологическим признакам. Среди данных видов сварки лазерная сварка обладает высокой эффективностью. Так же в лазерной сварке маловероятны такие явления как: появление структурных изменений, приводящих к разупрочнению, образование трещин и деформации.

Лазерная сварка-это процесс соединения материалов (металлов), с помощью сосредоточенного лазерного луча. Этот процесс бесконтактный, следовательно, образованный сварочный шов не загрязнен материалами электрода, флюса и другими специальными материалами. Данный вид сварки осуществляется при помощи высокой концентрации энергии, что значительно увеличивает производительность. Преимущества лазерной сварки состоит в том, что ее производят на воздухе или в среде защитных газов: аргона, СО<sub>2</sub>. Это позволяет сваривать крупногабаритные конструкции. Так же лазерную сварку можно применять в труднодоступных местах, поскольку лазерный луч можно направлять с большого расстояния. Поэтому производить лазерную сварку можно там, где другие способы сварки не эффективны.

Лазерную сварку условно можно разделить на три вида: микросварка (расплавление материалов с толщиной или глубиной проплавления менее 100 мкм), мини-сварка (толщина или глубина проплавления 0,1-1 мм) и макро сварка (толщина или глубина проплавления более 1 мм). Для микросварки и мини-сварки используют импульсные лазеры. Для получения литой зоны материалу необходимо получить определенное количество энергии. Плотность мощности пучка имеет обратную зависимость со временем расплавления материала. Чем выше плотность пучка, тем меньше времени уйдет на образование сварного шва и тем меньше площадь зоны термического влияния.



Преимущества импульсной лазерной сварки заключаются в том, что соединять можно легко деформируемые материалы, поэтому микросварка и мини-сварка широко используются в приборостроении. В настоящее время, макро сварка получило огромную популярность в машиностроение, в авиастроении и во многих других областях. Механизм формирования сварочного шва макро сварке состоит в том, что источник излучает довольно мощное непрерывное излучение и характеризуется это явление в основном газодинамическими явлениями в зоне плавления.

Структурную схему лазерных сварочных установок независимо от типа лазера сварочной установки чаще всего строят из ряда блоков (рис. 1). Лазер 1 генерирует излучение 2, которое формируется в оптической системе 3 в пучок с определенными характеристиками и направляется на свариваемый материал 4. С помощью микроскопа 5 можно наблюдать за процессом сварки и оценивать его результаты. Механизм 6 обеспечивает фиксацию свариваемого образца, в настоящее время существуют установки, для которых фиксация не обязательна. Установка может быть снабжена программным устройством 7, которая управляет параметрами 6 и параметрами лазера. Датчик 8 отвечает за контроль параметров излучения, а датчик 9 контролирует параметры технологического процесса. Некоторые устройства требуют подачи в рабочую зону той или иной технологической среды. Для этого применяются устройства 10 и 11.

Основой установки лазерной сварки является ее источник энергии. К источникам энергии относится энергия излучения, которую поглощает материал в зоне воздействия лазерного пучка. Лазерная сварка принадлежит к термическому классу процессов сварки, для которых получение неразъемного сварного шва достигается путем расплавления кромок материала, то есть лазеры возбуждают световую энергию, которую поглощает материал, преобразуется в тепловую энергию. Лазерные установки делятся на четыре типа: твердотельные, газовые, диодные и волоконные. Разберем первые два из них.

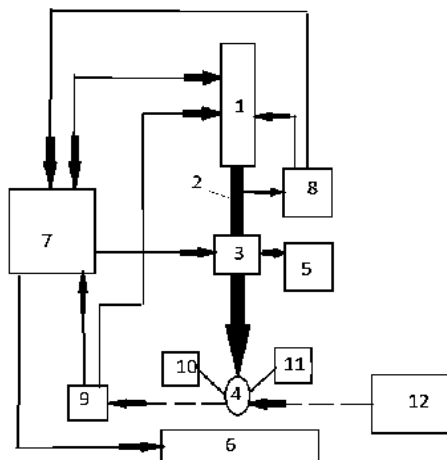


Рис.1 Структурная схема лазерных сварочных установок.

Твердотельные лазеры применяют со специальными электродами (рубин, стекло и т.д.). Установки такого типа чаще всего применяют в приборостроении, так как мощность твердотельной лазерной установки маленькая и не превышает 6КВт.

Важной особенностью газовых лазерных установок является их существенная мощность по сравнению с твердотельными лазерами, поэтому область их применения шире. Мощность таких установок может достигать 20 кВт, поскольку вместо электрода применяется инертный газ. Кроме того средняя скорость сварки газовым лазером 60 метров в час. В крупных производствах применяют газодинамические лазеры, их особенность заключается в том, что требуется нагреть газ до очень высоких температур. В таком случае лазер выдает мощность, достигающую 100 кВт, а скорость сварки доходит до 100 метров час. Помимо преимуществ в газовых лазерах есть свои недостатки. Так как мощность установки достаточно велика, следовательно, луч лазера может рассеиваться. Этот процесс происходит из-за стремительного испарения материала, на который направлен луч. Чтобы этого избежать помимо инертного газа подают газ, подавляющий плазму.

Сегодня применение лазерной сварки можно увидеть во многих известных предприятиях. К примеру: автомобильный концерн «Фольксваген» использует автоматизированные лазерные установки. Применение лазерной техники позволило еще крепче соединять отдельные части кузова, что значительно увеличило жесткость шасси, кроме того, данный вид сварки дал возможность конструкторам создавать различные дизайны автомобилей.

Таким образом, лазерная сварка является одним из самых эффективных видов сварки, поскольку диапазон применения данного вида достаточно широк. Лазерную сварку можно применять, как и в промышленности, так и, к примеру, в медицине. К сожалению, установки, осуществляющие сварку лазером, дорогостоящие, поэтому данный вид сварки могут позволить себе лишь крупные компании.

### **Список литературы:**

1. Применение методов лазерной сварки в современном промышленном производстве (обзор) / Г.В.Москвитин, А.Н.Поляков, Е.М.Биргер// Сварочное производство. 2012. № 6 С. 36-47.
2. Отличительные особенности лазерной сварки с применением оптоволоконных и СО<sub>2</sub>-лазеров / Г.В.Григорьянц, В.А.Грезев // Сварочное производство. 2014. № 12 С. 17-24.
3. Лазерная сварка металлов / А.А. Малашенко, А.В.Мезенов // Машиностроение. 1982. С. 3-25.
4. Основы лазерной техники / К.И.Крылов, В.Т.Прокопенко, В.А.Тарлыков // Машиностроение. 1990. С. 5-34.
5. Лазерная техника для физических исследований и практических применений / В.Е.Черковец, С.А.Казаков, В.Г.Наумов // Учебное пособие. 2006. С. 15-45.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТИРОВАНИЯ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ШЕСТЕРНИ МЕТОДОМ ЗУБОТОЧЕНИЯ

Гильман Виталий Николаевич<sup>1</sup>, Фасхутдинов Айрат Ибрагимович<sup>1,2</sup>,  
Балабанов Игорь Петрович<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008, Российская Федерация

<sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, ул. К. Маркса 10, Казань, 420111, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлен опыт повышения стойкости путем азотирования инструмента для обработки шестерни методом зуботочения, работающий по технологии Скайвинг. Материал инструмента P6M5K5 с твердостью 62-64HRC (аналог: 1.3243, HS6-5-2-5 – Германия, W6Mo5Cr4V2Co5 – Китай). Материал шестерни сталь конструкционная легированная 20CrNiMoH (аналог 1.6523, 21NiCrMo2 – Германия). Азотирование проводилось процессом ионоплазменной азотации, в газовой среде аммиака, при температуре 450 градусов Цельсия, в течение 40 часов, на глубину до 0.6 мм. Дополнительно, было проведено нанесение износостойкого покрытия на основе карбонитридов алюминотитана, с активацией поверхностей гидроабразивной установкой на основе оксида алюминия. Мойка проводилась в среде щелочных поверхностно-активных веществ.

Проведенный опыт привел к быстрому разрушению режущих кромок. Опыт показал, что насыщение инструментальной стали азотом не дали ожидаемые дисперсные нитриды. Материал, стал хрупок. Это обуславливается перенасыщением инструментальной стали легирующими элементами. В продолжении рекомендуется провести новый опыт с нагревом до 500-520 градусов Цельсия и азотации в тлеющем разряде продолжительностью 2-3 часа на ожидаемый слой 20-40мкм. Во избежание потери адгезии износостойкого покрытия для некоторого растравливания азота предполагается внедрение в газовую смесь объема аргона.

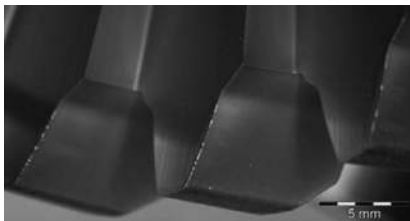
**Abstract.** The article presents the experience of nitriding a tool for processing gears by the method of drilling using the Sciving technology. Tool material P6M5K5 with a hardness of 62-64HRC (analogue: 1.3243, HS6-5-2-5 - Germany, W6Mo5Cr4V2Co5 - China). Gear material steel constructional alloyed 20CrNiMoH (analogue 1.6523, 21NiCrMo2 - Germany). Nitriding was carried out by the process of ion-plasma nitration, in a gaseous environment of ammonia, at a temperature of 450 degrees Celsius, for 40 hours, to a depth of 0.6 mm. In addition, a wear-resistant coating based on aluminotitanium carbonitrides was applied, with the activation of the surfaces by a waterjet based on aluminum oxide. The washing was carried out in an environment of alkaline surfactants.

The experience led to the rapid destruction of the cutting edges. Experience has shown that the saturation of tool steel with nitrogen did not give the expected dispersed nitrides. Material, on the contrary, has become fragile. This is due to the supersaturation of tool steel with alloying elements.

**Ключевые слова.** Зуботочение, азотирование, азотирование в тлеющем разряде.

Повышение эффективности режущего инструмента можно достичь двумя основными способами: сокращение стоимости инструмента, либо улучшение его характеристик. Под характеристиками необходимо принимать способность инструмента работать на более экстремальных режимах (с большей производительностью) при равной стойкости или прямое увеличение стойкости без изменения режимов обработки. И первое, и второе может достигаться подбором оптимальной геометрии режущего клина, состояния структуры и химического состава материала инструмента, его физических характеристик, наличия и типа износостойкого покрытия.

Для обработки внутренней шестерни применяется специальный инструмент для зуботочения работающий по технологии Скайвинг. Инструмент после шлифовки подготавливается по стандартному технологическому процессу, включающему удаление заусенцев, округление режущей кромки, очистки, ионноплазменное нанесение многослойного износостойкого покрытия в вакууме на основе нитридов титана и алюминия, полировку. При сравнении инструментов из порошковой стали ASP2030 с твердостью 65-67HRC и из быстрорежущей стали P6M5K5 с твердостью 62-64HRC выявилось различие в стойкости на 15-20% в пользу первого. Кроме того, анализ износа режущих кромок показал недостаточную прочность режущей кромки связанную, по нашему мнению, с локальным выкрашиванием материала. На рис.1 представлены стадии износа, зафиксированные в ходе жизненного цикла инструмента. Очевидно, что микроскопы постепенно разрастаются (рис. 1а, б, в) и, в определенный момент, происходит лавинообразный процесс критического износа (рис. 1г). Основной проблемой наблюдаемого процесса можно назвать не стабильность возникновения критического износа. То есть переход от стадии допустимого дефекта на режущей кромке инструмента до 0.3мм к критическому более 0.3мм оказывается не прогнозируемым.



а)



б)

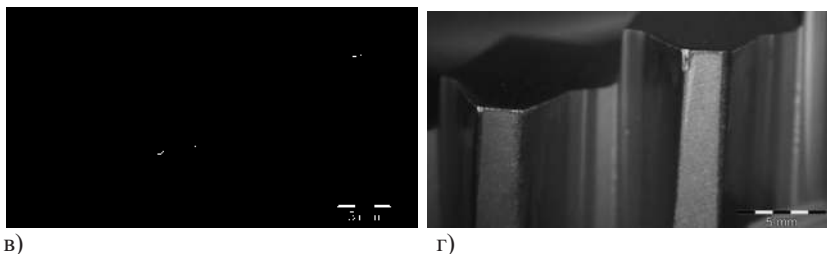


Рис.1 Стадии износа инструмента: 5-10 деталей (а), 20-25 деталей (б), 40-50 деталей (в), 55-70 деталей (г)

Учитывая несколько лучшие показатели стойкости инструмента с большей твердостью, вероятной причиной преждевременного разрушения были рассмотрены физические характеристики инструмента. Для их улучшения было принято решение о проведении опыта упрочнения материала инструмента процессом ионноплазменной азотации.

Известно, что правильно подобранные режимы азотирования позволяют насытить поверхностный слой стали на глубину до 0.6 мм, тем самым изменяя состояние структуры, статическую и динамическую прочность, износостойкость, деформируемость и коррозионные свойства. Азотирование производилось на установке «Клэкер» в газовой среде аммиака при температуре 450 градусов Цельсия в течение 40 часов.

В дополнение к ионноплазменной азотации было проведено нанесение износостойкого покрытия на основе карбонитридов алюмотитана. Вопрос недостаточной адгезии покрытия к материалу инструмента решался глубокой очисткой и активацией поверхностей гидроабразивной установкой, где в качестве рабочего материала использовался оксид алюминия. На заключительном этапе производилась ультразвуковая мойка в среде щелочных поверхностно-активных веществ.

Результаты последующего разрушающего контроля инструмента для зуботочения показали перенасыщение объема азотом до глубины 0.4 мм, экстремально высокую твердость поверхностного слоя. Что в итоге привело к отрицательному результату при испытании инструмента. Разрушение режущих кромок произошло практически немедленно после контакта с материалом заготовки (Рис.2).

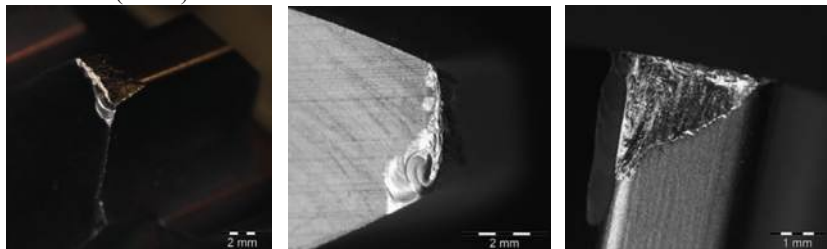


Рис.2 Разрушение режущих кромок инструмента для зуботочения

Очевидно, что выбранные режимы химико-термической обработки совершенно не соответствовали данному материалу и отрицательно повлияли на физические характеристики. По факту мы получили твердый и очень хрупкий металл.

Продолжением работы в данном направлении могло бы быть внедрение процесса ионноплазменной азотации в процесс вакуумного ионноплазменного нанесения покрытий. В процессе чего, после нагрева до 500-520 градусов Цельсия и очистки поверхности инструмента тлеющим разрядом мог бы следовать процесс азотирования в тлеющем разряде продолжительностью 2-3 часа, позволяющий насытить очень тонкий (20-40мкм) поверхностный слой материала инструмента. Во избежание потери адгезии износостойкого покрытия для некоторого растравливания азота предполагается внедрение в газовую смесь объема аргона.

### Литература

1. A.G. Kondrashov, D.T. Safarov, A.I. Faskhutdinov, G.K. Davletshina Single-Turn Worm Mills for Conical Round-Tooth Gears / Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 9, pp. 812–813.

2. ВайссДеннис, Влияние геометрии округления режущей кромки на изнашивание инструмента, Станочный парк №12,2016

3. Kasyanov S.V., Kondrashov A.G., Safarov D.T. Research of characteristics of wearproof coating for cutting tools / INTERFINISH-SERIA 2014: International Conference on Surface Engineering for Research and Industrial Applications. 2014. P. 62.

4. Фасхутдинов А.И., Емельянов Д.В., Блинова А.С. Влияние величины срезаемого слоя на производительность механической обработки / Сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии и процессы» 24-25 сентября 2015 г. в 3-х томах. Курск.: ЗАО Университетская книга. – 2015. С. 111-115.

5. Чаттерджи-Фишер Р., Эйзелл Ф, и др., Азотирование и карбонитрирование, Пер. с нем./под ред. Супова А.В. М.:Металлургия, 1990. 280с.

6. Berend Denkena, Jens Koehler, Michael Rehe, Influence of the Honed Cutting Edge on Tool Wear and Surface Integrity in Slot Milling of 42CrMo4 Steel. Procedia CIPR (2012) 190-195

7. Хусаинов Р.М., Головки А.Н., Петров С.М., Юрасов С.Ю., Балабанов И.П., Гречишников В.А., Романов В.Б., Пивкин П.М. // Определение параметров инструмента в технологических системах обработки резанием / СТИН. 2016. № 10. С. 17-20.

8. S. V. Kasyanov, A. G. Kondrashov, D. T. Safarov Rapid Assessment of Wear-Resistant Tool Coatings / Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 11, pp. 969–973.

9. Khusainov R.M., Khaziev R.R. Modeling of forming technological errors in processing by gear shaping machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol.240, Is.1. - Art. № 012045.

## ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ РЕМОНТ И УСТАЛОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО СИНТЕЗА

Ильинкова Татьяна Александровна, д.т.н., КНИТУ-КАИ, TAlinkova@kai.ru  
Мацаев Антон Александрович, ООО «ТСЗП», КНИТУ-КАИ, a.matsaev@tspc.ru

Рассмотрены основные преимущества восстановительного ремонта методом прямого лазерного синтеза. Выполнен ремонт трех комплектов турбинных рабочих лопаток с проведением комплексных исследований структуры металла и усталостных испытаний деталей.

**Ключевые слова:** рабочие лопатки ТВД ГТУ, источник лазерного излучения, прямой лазерный синтез, порошковый материал, микроструктура и механические свойства.

Advantages of direct laser synthesis feeding technique are reviewed. Fatigue properties were investigated and three sets of turbine blades for gas turbines were restored.

Прямой лазерный синтез – семейство процессов модификации поверхностей и аддитивных технологий, получающее сегодня все большее развитие и распространение. Появившаяся более полувека назад технология-прародитель, благодаря существенному снижению цены владения оборудованием, сегодня применима для создания функциональных слоев (антикоррозионная защита, защита от износа, кавитационная защита, защита от удара), а также для восстановления геометрии таких изделий, как пресс-формы, винты, элементы насосов, сегодня по принятой классификации получило название direct metal deposition (DMD) - прямое нанесение металла. Лазерное излучение в качестве источника энергии определяет ряд технологических преимуществ DMD, основное из которых – незначительное тепловложение. Различным технологиям восстановительного ремонта сфокусированным лазерным излучением посвящен ряд трудов [1-4].

Для обеспечения надежной эксплуатации при высоких технико-экономических показателях газоперекачивающие агрегаты требуют своевременного проведения ремонтов и обеспечения ремонтного производства запчастями. Вовлечение в эксплуатацию поврежденных деталей после их восстановления обеспечивает продление ресурса работы деталей и, таким образом, значительно снижает стоимость эксплуатации ГПА.

Технологический процесс восстановительного ремонта геометрии полки рабочих лопаток ТВД ГТУ методом прямого лазерного синтеза является перспективным способом восстановления деталей из-за ряда отличительных особенностей, таких как:

- полная автоматизация процесса производства с минимальным вмешательством рабочего персонала в технологический цикл производства и ремонта деталей;
- минимизация последующей механической обработки;
- равномерность структуры, малая зона термического влияния, отсутствие

внутренних и внешних дефектов, отсутствие деформаций изделия в процессе восстановления, получение цельнометаллических деталей с уменьшенным размером зерна.

Таким образом, целью данной работы являлась разработка технологии восстановительного ремонта рабочих лопаток ТВД ГТУ турбогруппы ГТК 10-4 методом прямого лазерного синтеза с проведением исследований и усталостных испытаний для подтверждения целесообразности, и эффективности разработанной технологии.

Все проведенные мероприятия в рамках разработанной технологии восстановительного ремонта рабочих лопаток ТВД ГТУ описаны в работе авторов [5]. В результате выполнения работ полностью восстановлены размеры и поверхность лопаток. На рисунке 1 показан внешний вид детали до, во время и после ремонта.

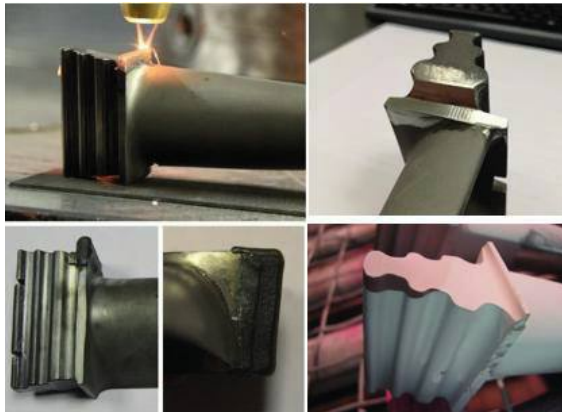


Рисунок 1 – Внешний вид детали до, во время и после ремонта

Усталостные испытания восстановленных лопаток были проведены для подтверждения эффективности разработанной технологии. При этом были осуществлены и проанализированы следующие этапы:

- определение собственных частот колебаний рабочих лопаток по основному тону;
- определение условного предела выносливости.

Усталостные испытания проводились путем возбуждения резонансных механических колебаний профильной части пера лопатки по первой изгибной форме при нормальной температуре при симметричном цикле нагружения, с целью определения условного предела выносливости со ступенчато увеличивающейся нагрузкой на базе  $N=2 \cdot 10^7$  циклов.

Определен условный предел выносливости  $\sigma_{y,1}$  испытанных лопаток ТВД на базе  $2 \cdot 10^7$  циклов. Он находится в диапазоне 240...260 МПа, со средним значением 257 МПа, что соответствует значению  $\sigma_{y,1}$  для новых лопаток 250



МПа. При этом следует отметить, что испытания проведены на лопатках с наработкой, бывших в эксплуатации. Результаты испытания подтверждают отсутствие критичного влияния прямого лазерного синтеза на отремонтированную лопатку.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. M. Brandt, J. Harris and C. Chipperfield. In-situ laser repair of steam turbine blades // Proceedings of the Fourth International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing 2007, Munich, June 2007.

2. М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина. Аддитивные технологии в машиностроении // Издательство политехнического университета, 2013. С. 56-65.

3. B. Dutta, S. Palaniswamy, J. Choi, L.J. Song, J. Mazumder. Additive Manufacturing by Direct Metal Deposition // advanced materials & processes, may 2011. P. 33-36.

4. А.С. Ермолаев, А.М. Иванов, С.А. Василенко. Лазерные технологии и процессы при изготовлении и ремонте деталей газотурбинного двигателя // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2013. № 35. С. 49-63.

5. Л.Х. Балдаев, А.Ф. Телегин, С.П. Мерчев, Д.Н. Фролов, А.А. Мацаев. Опыт ремонта турбинных рабочих лопаток газоперекачивающих агрегатов методом прямого лазерного синтеза // Упрочняющие технологии и покрытия, Том 15, апрель 2019. С. 161-166.

УДК 691.714.018.8

### КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И СВАРИВАЕМОСТИ АУСТЕНИТНО-ФЕРРИТНОЙ (ДУПЛЕКСНОЙ) СТАЛИ SAF 2507

Исламгулова Эвелина Альбертовна, evelinka-99@mail.ru  
науч. рук-ль: Курынцев С.В. кандидат экономических наук,  
kuryntsev16@mail.ru

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань, Россия

**Аннотация:** В статье были представлены механические свойства и характеристики аустенитно-ферритной (дуплексной) стали SAF 2507. А также был рассмотрен вопрос применения данной стали.

**Abstract:** The paper presented mechanical properties and characteristics of SAF 2507 austenitic-ferritic (duplex) steel. The use of this steel was also considered.

**Ключевые слова:** дуплексная сталь, микроструктура, коррозионная стойкость, свариваемость.

Аустенитно-ферритные (дуплексные) стали с содержанием  $\leq 0,03\%$  С,  $\geq 25\%$  Cr,  $\approx 7\%$  Ni,  $\geq 3\%$  Mo, дополнительно легированные N около 0,3% имеют два преимущества, относительно своих аналогов, это предел прочности до 1000 МПа (благодаря содержанию таких легирующих элементов как Mn, Cr, Mo, V,

Ni) и высокая коррозионная стойкость, что позволяет широко применять дуплексные стали в качестве конструкционного материала на потенциально опасных производственных объектах. Так же дуплексные стали содержат гораздо меньшее количество дорогостоящего Ni, чем аустенитные нержавеющие стали, что так же является их преимуществом.

Наиболее технологически освоённой является сталь X2CrNiMoN 25-7-4, в зависимости от страны изготовителя она может маркироваться как: S 32750, SS 2238, SAF 2507 и др. Так как в исследовании [1] использовались заготовки корпорации SANDVIK (Швеция), в данной работе используется обозначение SAF 2507.

Наибольший интерес дуплексной стали SAF 2507 вызывает ее оценка в области свариваемости и коррозионной стойкости для определения возможностей ее применения при изготовлении трубопроводов морской воды энергетических установок атомных станций.

Микроструктура дуплексной стали сильно влияет на ее свойства. Оптимальное соотношение механических и коррозионных свойств достигается, когда ферритная доля не превышает 40-50%. В стали SAF 2507 это достигнуто с помощью легирования Cr, Mo, Ni и N. Азот в свою очередь обеспечивает устойчивую структуру при нагреве, что хорошо влияет на свариваемость. На рис. 1 приведена типичная микроструктура дуплексной коррозионностойкой стали (светлые участки - аустенит, темные - феррит). Во время сварки нужно уделять особое внимание тепловому контролю, т. к. при быстром охлаждении ферритная доля кристаллизуется в гораздо большем объеме, а при медленном отводе тепла преобладает аустенитная. Нужно соотношение фаз аустенита и феррита достигается скоростью охлаждения  $0,25-50\text{Kc}^{-1}$ . [2]



Рис. 1 Микроструктура стали SAF 2507.  $\times 600$ [1]

Для испытаний были выбраны бесшовные трубы (диаметром  $219 \times 8$  мм) и листовой прокат (толщиной 20 мм). Образцы из листового проката были вырезаны как вдоль, так и поперек, однако по результатам испытаний на растяжение можно с уверенностью говорить об отсутствии анизотропии свойств. Поэтому далее будут приведены усреднённые значения данных образцов.

Механические свойства образцов оценивали по пределу прочности  $R_m$ , пределу текучести  $R_{p0.2}$ , относительному удлинению пятикратного образца  $A_5$  и относительному сужению при разрыве  $Z$ . В соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-008–89 [3], определение механических свойств образцов проводили в диапазоне температур от 20 до 400°C с замером параметров не менее чем на трех образцах. Металл испытывали после отжига при 1050 – 1125°C с последующим быстрым охлаждением, что соответствует состоянию поставки. (См. табл. 1)

Таблица 1 Усреднённые механические свойства образцов из стали SAF 2507

Темп., °С	механические свойства стали SAF 2507			
	$R_m$ , МПа	$R_{p0.2}$ , МПа	$A_5$ , %	$Z$ , %
20	883	586	43	44
50	874	571	43	48
100	863	575	43	53
300	727	501	45	48
325	719	496	41	46
350	694	489	47	44
400	687	476	41	46

Температура перехода стали SAF 2507 в хрупкое состояние ниже -50°C, что позволяет рекомендовать ее для изготовления конструкций, эксплуатируемых при низкой климатической температуре [1].

При длительной выдержке при температуре выше 300°C микроструктура стали SAF 2507 изменяется, это влияет на температуру эксплуатации. Для сварных сосудов, работающих под давлением, максимальная рабочая температура ограничена значением 250 °С. Максимальная температура эксплуатации трубопроводов морской воды из стали SAF 2507 не превышает 30 – 50 °С. Данная сталь не склонна к коррозионному растрескиванию в хлоридсодержащих средах. По сравнению с аустенитными и также известными дуплексными сталями, сталь SAF 2507 показывает лучшую стойкость против питтинговой коррозии (см. табл. 2). Как известно, эквивалент стойкости против питтинговой коррозии PRE (Pitting Resistance Equivalent) определяется соотношением легирующих элементов и для дуплексных сталей имеет вид:  $PRE = \% Cr + 3,3 \% Mo + 16 \% N$ .

Так же сталь SAF 2507 обладает высокой стойкостью против стресс-коррозии и не склонна к межкристаллитной коррозии (МКК).

Таблица 2 [1]

Сталь	Содержание, %				Структура стали	PRE
	Cr	Ni	Mo	N		
Аустенитные стали						
304L	18,5	10,0	-	-	А	18
08X18H10T	18,0	10,0	-	-		18
316L	17,5	10,0	2,6	-		26
08X17H15M3T	17,0	13,0	3,0	-		27
Дуплексные стали						
03X21H6	21,0	6,0	-	-	50%A+ +50%Ф	21
SAF2304	23,0	4,5	-	0,1		24
08X21H6M2T	21,0	6,0	2,0	-		27
SAF 2205	22,0	5,5	3,2	0,18		35
03X25H6AM3	25,0	6,0	3,0	0,2		38
SAF 2507	25,0	7,0	4,0	0,3		41

При сварке стали SAF 2507 нет необходимости применять термическую обработку, разве что рекомендуется снять остаточные напряжения. Исследованиями доказано, что разрушение образцов идет по основному металлу.

Испытания на ударную вязкость производились в интервалах температур от -40 до 20°C на образцах с V-надрезом на металле шва и зоне термического влияния, по три образца на каждый диапазон. В табл. 3 представлены усредненные значения образцов стали SAF 2507. При всех температурах излом был вязким.

Таблица 3

Способ сварки	Место V-надреза	Энергия разрушения сварных соединений стали SAF 2507, Дж, при испытаниях при температуре, °C					
		-40	-30	-20	-10	0	20
TIG	Шов	110	111	114	122	128	138
	ЗТВ	86	115	142	155	167	188
MMA	Шов	38	45	52	58	64	68
	ЗТВ	86	114	130	160	175	194
SAW	Шов	62	64	71	79	96	113
	ЗТВ	87	117	125	151	188	191

Сталь SAF 2507 прекрасно подходит в качестве конструкционного материала, в особенности атомной промышленности, так как обладает высокими механическими свойствами, а также хорошей свариваемостью,

несклонна к хрупкому разрушению, устойчива к МКК, питтингообразованиям и стресс-коррозии в концентрированных соленых растворах и морской воде.

#### Список литературы:

1. Комплексные исследования свариваемости и коррозионной стойкости аустенитно-ферритной (дуплексной) стали SAF 2507/ А. С. Зубченко, А. В. Федоров// Сварка и Диагностика 2010 # 2
2. Effect of welding processes and conditions on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of duplex stainless steel weldments— A review/Jagesvar Verma, Ravindra Vasantrya Taiwade// Journal of Manufacturing Processes 25 (2017) 134–152
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов АЭУ ПНАЭГ-7-008–89. М.: Энергоатомиздат, 1990. 110 с.

### ОЦЕНКА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В УСЛОВИЯХ Пониженных Температур

Кабалдин Юрий Георгиевич

Хлыбов Александр Анатольевич

Аносов Максим Сергеевич

Шатагин Дмитрий Александрович

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
[ansv-maksim@rambler.ru](mailto:ansv-maksim@rambler.ru)

**Аннотация.** В работе проведены исследования механизмов разрушения металлов с использованием регистрации и последующей обработки сигнала акустической эмиссии (АЭ). Проведенное исследование позволило выявить особенности механизмов деформации на различных уровнях при испытаниях на растяжение, как при комнатной, так и пониженной температуре. Как показало проведенное исследование, такие показатели, как фрактальная размерность и информационная энтропия сигнала АЭ несут большое количество информации о процессах, происходящих в материале при нагружении, и данные показатели могут быть использованы в качестве диагностирующих.

The paper studies the mechanisms of metal destruction using registration and subsequent processing of the acoustic emission signal (AE). The study revealed the features of the mechanisms of deformation at various levels of deformation during tensile tests at room and low temperatures. As the study showed, such indicators as the fractal dimension and information entropy of the AE signal carry a large amount of information about the processes occurring in the material under loading and can be used as diagnostic indicators.

**Ключевые слова.** Повреждаемость, пониженные температуры, испытания на растяжение, акустическая эмиссия.

**Введение.** Для России ускоренное освоение Севера и Арктики, включая побережье и шельф арктических морей, является важным условием повышения экономического потенциала. Прежде всего, оно означает развитие базовых отраслей промышленности (горнодобывающей, нефтяной и газовой) с созданием соответствующей инфраструктуры, транспорта, связи. В связи с этим задача обеспечения безопасности технических объектов в регионах холодного климата получает новое звучание.

Для обеспечения безопасности функционирования технических объектов в условиях севера необходимо ответственно подойти к выбору материалов, из которых изготавливается технический объект и его отдельные основные узлы, а также в целом обеспечить непрерывное и безопасное функционирование технических объектов за счет средств диагностики.

При функционировании конструкции происходит динамическая локальная перестройка структуры материала, вызывающая испускания акустических волн. Эти упругие волны образуют сигнал акустической эмиссии (АЭ). Сигнал акустической эмиссии представляет собой последовательность импульсов различной энергии, длины, амплитуды и частоты. Параметры импульсов, их количество, форма и частота появления несут информацию о состоянии материала.

Таким образом, оценка повреждаемости металлов с использованием сигнала акустической эмиссии в условиях пониженных температур представляет как научный, так и практический интерес.

#### **Материалы и методы исследования.**

Для проведения исследований были выбраны металлы с различными типами кристаллического строения: ОЦК (сталь 45 (Нормализация 870 °С)), ГЦК (12Х18Н10Т (Закалка 1080 °С) и Д16 (Закалка 500°С, естественное старение)) и ГПУ (ВТ8 (Двойной отжиг 920 °С 2ч + 570 °С 1ч)).

Химический состав металлов приведен в табл.1.

Таблица 1. Химический состав материалов

Материал	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe	Ti	Al	Mg	Mo	Zr
Сталь 45	0,44	0,2	0,71	–	0,011	0,024	0,2	0,05		–	–	–	–	–
12Х18Н10Т	0,11	0,7	0,16	10,2	0,012	0,008	18,16	–		0,6	–	–	–	–
Д16		0,27	0,59	0,08	–	–	0,02	4,15	0,03	0,02	92,6	1,4	–	–
ВТ8	0,02	0,32	–	–	–	–	–	–	0,01	89,35	6,6	–	3,41	0,18

Для определения влияния низких температур и силовых воздействий на процессы деформации и разрушения материала проводились испытания в условиях их растяжения.

Испытания проводились на разрывной машине модели Tinius Olsen Н100КУ. Для испытаний использовались пропорциональные плоские образцы, изготовленные по требованиям ГОСТ 11150.

Для поддержания необходимой температуры в процессе растяжения было разработано устройство для охлаждения образцов с возможностью регистрации

сигнала АЭ. Принципиальная схема устройства и подробное описание принципа его работы приведено в патенте [2].

С использованием разработанной камеры осуществлялось охлаждение образцов до температуры испытания и выдержка в течение 15 минут, после чего образцы испытывали на машине для растяжения. Диапазон рабочих температур криокамеры от  $-196^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ . В качестве хладагента использовалась смесь основной (охлаждаемой) и охлаждающей жидкости, в качестве которой использовался жидкий азот. Температура на образце контролировалась с использованием датчиков температуры (pt100), с погрешностью оценки температуры  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

В процессе испытания на растяжение сигнал с датчика АЭ, который установлен в верхней части образца и датчика температуры поступает на блок преобразования сигнала и обработки на ЭВМ. Также на данный блок поступают сигналы с силоизмерителя и измерителя перемещений (встроены в испытательную машину). С использованием показаний с датчиков строятся в автоматическом режиме диаграмма разрушения и зависимость амплитуды сигнала (импульсов) АЭ, либо ее параметров от удлинения образца или времени испытания [3]. Для регистрации сигнала АЭ применялись широкополосные датчики АЭ фирмы ГлобалТест (GT350) и АЦП фирмы National Instruments модели 6636.

### Экспериментальные исследования и их анализ.

Испытаниям на растяжение подвергались образцы из стали 20, 45 и стали аустенитного класса 12X18H10T. Как показали полученные данные, при уменьшении температуры происходит повышение предела текучести и предела прочности и снижение пластичности металлов, что хорошо коррелирует с литературными данными[1]. Особенно интенсивно изменение этих характеристик наблюдается для стали 45 и стали 20. В связи с этим, исследование механизмов деформации и разрушения с регистрацией сигнала АЭ проводили на стали 45 при температурах  $+20^{\circ}\text{C}$  и  $-30^{\circ}\text{C}$ . В ходе испытаний на растяжение строились зависимости информационной энтропии  $S_{\text{ин}}$ , энергии  $E$  и фрактальной размерности  $D_F$  импульсов сигнала АЭ. Рассчитывалось суммарное значение энергии и накопленной энтропии сигнала АЭ. Полученные зависимости приведены на рисунке 1.

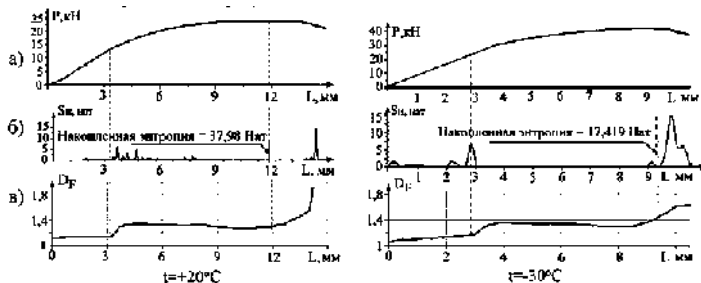


Рисунок 1 а) диаграммы растяжения, б) информационная энтропия импульсов АЭ, в) фрактальная размерность аттрактора сигнала АЭ для стали 45

Для удобства анализа сигнала АЭ на разных уровнях деформации, приведены особенности изменения характера сигнала АЭ и анализируемых показателей в таблице 2.

Анализ (табл. 2) показывает, что суммарная энергия импульсов при температуре  $t=-30^{\circ}\text{C}$  в 3 раза меньше, чем при температуре  $t=+20^{\circ}\text{C}$ . Накопленная энтропия в 2 раза меньше при  $t=-30^{\circ}\text{C}$ , относительно  $t=+20^{\circ}\text{C}$ .

На стадии деформационного упрочнения наблюдается колебательный характер как  $D_F$ , так и  $S_u$ , что свидетельствует об изменении структурного состояния в процессе дальнейшего нагружения. Резкое увеличение  $D_F$  и  $S_u$  перед разрушением образца (рис.1) связано с образованием критических структур и, по-видимому, сменой механизма деформации.

Таблица 2 Анализ сигнала АЭ и исследуемых параметров на разных стадиях деформации (сталь 45)

Т <sub>исп.</sub> , °С	Стадия	Интенсивность сигнала АЭ	Параметры сигнала АЭ		Суммарные показатели	
			E	Si	ΣE, Дж	ΣSi, нат
+20	упругой деформации	Низкая	Незнач-ые колебания	Небольшие колебания (до 2 нат)	1,46	37,98
	текучести	Высокая	Резкое возрастание			
	деформационного упрочнения	Низкая	Низкие (колебательный характер изменения)			
	шейкообразование	Резкое возрастание	Начало резкого роста		-	
	предразрушения	Всплеск сигнала	Значения максимальны			
-30	упругой деформации	Отсутствие импульсов	~0	Небольшие колебания (до 0,5 нат)	0,44	17,42
	текучести	Высокая	Резкое возрастание			
	деформационного упрочнения	Низкая	Низкие (колебательный характер изменения)			
	шейкообразование	Резкое возрастание	Начало резкого роста		-	
	предразрушения	Всплеск сигнала	Значения максимальны			

Как следует из вышеизложенного, результаты испытания на растяжение с регистрацией сигнала АЭ позволяют получить большое количество информации о процессах, происходящих в материале и оценивать энергоёмкость, устойчивость происходящих процессов на различных стадиях деформации металла.

*Исследование выполнено по гранту РФФ № 19-19-00332 «Разработка научно обоснованных подходов и аппаратно-программных средств мониторинга поврежденности конструкционных материалов на основе подходов искусственного интеллекта для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов в арктических условиях».*



### Список литературы

1. Красовский А.Я. Хрупкость металлов при низких температурах. -Киев: Наукова думка, 1980. -340 с.
2. Автоматизированное устройство для охлаждения образцов при испытании на растяжение при пониженных температурах. Патент RU 177639 U1. Приоритет от 23.11.2016 г.
3. Семашко Н.А., Шпорт В.И., Марьин Б.Н. и др. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении, М: Машиностроение, 2002. - 240 с.
4. Оценка и диагностика структурной устойчивости металлов при низких температурах на основе подходов нелинейной динамики и искусственного интеллекта / Ю.Г. Кабалдин и [др].; Под ред. Ю.Г. Кабалдина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2017.-210 с.

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССАХ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Кесель Б.А., АО «Уральский завод гражданской авиации» г. Екатеринбург (филиал в г. Казани) 420034, Россия, Татарстан, Казань, ул. Вахитова 10

Кесель Л.Г. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, Россия, Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса 10

Терентьев Н.Д. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, Россия, Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса 10

**Аннотация:** В работе показаны особенности и возможности применения электрогидравлических технологий при ремонте газотурбинных двигателей авиационного и наземного применения.

**Ключевые слова:** Электрогидравлический эффект, эффект Юткина, ударная волна, эксплуатационные загрязнения, эксплуатационная наработка, межремонтный ресурс

**Abstract.** The paper shows the features and possibilities of application of electrohydraulic technologies in the repair of gas turbine engines for aviation and ground applications

**Key words:** Electrohydraulic effect Yutkina, shock wave, operational pollution operational time between-repairs resource.

Электрогидравлические технологии, основанные на эффекте Юткина, применяются в машиностроении широко. Достаточно отметить, что среди указанных технологий используются: штамповка, очистка заготовок от стержневых материалов при литье, дробление технологических материалов, упрочнение сварных швов и ряд других [1, 2, 3]. По принятой классификации

технологии, основанные на применении электрогидравлического эффекта (ЭГВ - эффекта) относятся к технологиям обработки материалов давлением.

Цель работы – расширение технологических возможностей электрогидравлического процесса для процессов ремонта газотурбинных двигателей авиационного и наземного применения. В частности, для процессов очистки трудно доступных полостей, таких как внутренние охлаждаемые каналы лопаток турбин или удаление продуктов «коксоотложения» (продуктов коагуляции низкой термостабильности жидкого топлива и смазочных материалов) из форсунок и топливных коллекторов камер сгорания и маслосканалов коробок самолётных и моторных агрегатов.

Основной особенностью применения ЭГВ – процессов в технологии ремонта является тот факт, что обрабатываемые импульсным давлением материалы имеют допустимый уровень эксплуатационных повреждений и пониженные характеристики прочности и долговечности, обусловленные наработкой в эксплуатации. Данное обстоятельство требует нового подхода при управлении характеристиками ЭГВ – процесса. При этом перенастройка оборудования, связанная с изменением режимов и оборудования контура «заряда конденсаторов» крайне нежелательна, так как снижает производительность и ведёт к простоям оборудования.

Суть предлагаемого метода заключается в том, что за счет воздействия электрического поля постоянного тока на рабочую среду разрядной камеры установки для ЭГВ-очистки, изменяется низковольтная проводимость -  $\sigma_n$  в указанной среде и, соответственно меняются параметры силовых факторов, воздействующих на очищаемую деталь.

Основным силовым фактором, определяющим процесс ЭГВ-очистки, является давление на фронте ударной волны, возникающей, как следствие пробоя разрядного промежутка. Согласно [3], величина давления на фронте ударной волны определяется выражением:

$$P_m = (6.4 \div 8) \cdot (\gamma/l_0)^{0,5}, \quad (1)$$

где  $\gamma=0,23U^2L^{-1}\eta_p$  - обобщенный энергетический параметр,  $l$  - величина межэлектродного промежутка [м],  $U$  - напряжение на батарее конденсаторов разрядного контура [в],  $L$  - индуктивность цепи разрядного контура [г],  $\eta_p$  - к.п.д. процесса (доля энергии, накопленной в конденсаторной батарее, перешедшая в энергию ударной волны), на практике  $\eta_p=0,6\div 0,85$ ;

С учетом предположения, что процесс ЭГВ-очистки происходит в области упругих деформаций, выражение, ограничивающее значения величины давления на фронте ударной волны можно записать в следующем виде:

$$P_m \leq k_n k_g \sigma_{0,2} \quad (2)$$

$\sigma_{0,2}$  - статический предел текучести материала обрабатываемой детали, без наработки, [МПа],  $k_n$  - коэффициент, учитывающий влияние наработку на величину  $\sigma_{0,2}$  (для деталей без наработки  $k_n=1$ ),  $k_g$  - коэффициент динамичности материала детали при импульсном нагружении. При

реализации ЭГВ процесса для очистки щелевых отверстий на выходных кромках лопаток сопловых аппаратов, исследование материала загрязнений показало, что данный материал имеет большое сродство к стеклу. Согласно [4], условия откола материала загрязнений под действием импульсной нагрузки, обусловленной давлением на фронте ударной волны -  $P_m$ , можно представить следующим образом:

$$\frac{P_m}{\sigma_p} \geq 2, \quad (3)$$

где  $\sigma_p$  - напряжения разрушения материала загрязнения за счет откола, [МПа]. С учетом выражений (2) и (3), для соответствующего выбора параметров режима ЭГВ-очистки деталей, имеющих наработку в эксплуатации, необходимо величину давления на фронте ударной волны обеспечить в следующих пределах:

$$2\sigma_p \leq P_m \leq k_n k_g \sigma_{0,2} \quad (4)$$

Из условия (4) следует, что для реализации процесса ЭГВ-очистки деталей, имеющих эксплуатационную наработку, необходимо осуществлять, в достаточно широких пределах, управление силовыми факторами ЭГВ-процесса.

Согласно [4], при условии затрат энергии на пробой разрядного промежутка не более 25%, связь между основными параметрами установки может быть представлена в следующем виде

$$CU^2 = 8k \sigma_{ив} I_o (S_s + S_o) \quad (5)$$

где  $C$  - емкость конденсаторной батареи установки, [ф],  $S_s$  - поверхность неизолированной части положительного электрода (стержня), [м<sup>2</sup>],  $S_o$  - поверхность, обрабатываемой детали, в сечении перпендикулярном оси положительного электрода, [м<sup>2</sup>],  $k = 10^8 \text{ В}^2 \text{ с/м}^2$  - постоянный коэффициент.

Анализ выражения (5) показывает, что управление энергией, запасенной в конденсаторной батарее, можно осуществлять за счет изменения величины  $\sigma_{ив}$  - низковольтной проводимости рабочей среды в разрядном промежутке. Чаще всего в установках для ЭГВ-обработки в качестве рабочей среды используется вода (дистиллят, водопроводная, морская).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.П.Изотов, В.В.Шашкин и др., Авиационные ГТД в наземных установках. Л., Машиностроение. 1984г., 228с.
2. В.М.Акимов, Основы надежности газотурбинных двигателей. М., Машиностроение. 1981г., 207с.
3. Б.В.Мериин, Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий. Л., Машиностроение, 1985г., 119с.
4. Г.А.Гулый, П.П.Малюшевский и др., Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. М., Машиностроение 1977г., 320с.

УДК 621.791.05:620.193

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ И КОСВЕННЫМ ОБРАЗОМ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Колесников Дмитрий Николаевич, магистрант  
Данилов Евгений Вадимович, руководитель отдела  
(университет ИННОПОЛИС, г. Казань)

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10  
(Научный руководитель – доцент, Муратаев Фарид Исхакович)

**Аннотация:** Рассматриваются: методики определения значений остаточных напряжений в стыковых сварных соединениях хорошо и ограниченно сваривающихся сталей с продольными и поперечными швами по результатам измерения твердости, данным построения диаграммы деформирования и по результатам тензометрирования участков сварных соединений. Определяется эффективность снижения остаточных напряжений СС высокотемпературным отпуском после сварки.

**Annotation:** The following methods are considered: methods for determining the values of residual stresses in butt welded joints of well and limited welded steels with longitudinal and transverse welds according to the results of hardness measurements, data on the construction of a deformation diagram and the results of strain gauging of sections of welded joints. The efficiency of reducing the residual stresses of the SS by high-temperature tempering after welding is determined.

**Ключевые слова:** прямое и косвенное определение сварочных напряжений

При сварке плавлением конструкционных и специальных нержавеющей сталей наряду с прочими ограничениями свариваемости [1-3] требует своего решения проблема возникновения высоких остаточных напряжений [4-6]. На кафедре МСиПБ внедрен цикл лабораторных работ по практическому определению сварочных напряжений и деформаций стальных образцов путем измерения твердости, по данным построения диаграммы деформирования и по результатам тензометрирования участков сварных соединений (СС). Выявлены достоинства и недостатки 3-х рассмотренных методов по вариантам адекватности и возможности определения сварочных напряжений и деформаций различных участков СС.

В работе № 1 «Определение эффективности снижения сварочных напряжений в сталях различной свариваемости методом измерения твердости» студенты, измеренные значения твердости на участках: сварного шва, ЗТВ и основного металла образцов сварных соединений стали 20 №1Т и №1-( рис.1,а) и стали 35 №2 и №2Т- ( рис.1,б), соответственно с продольными и поперечными швами; образцов СС стали 09Г2С, выполненных РДС №3 и №3Т – (рис.1,в) и механизированной сваркой №4 и №4Т- ( рис.1,г) представляют в виде временного сопротивления пользуясь шкалами таблицы переводов HRB - HB -  $\sigma_b$  (Причем «тёмные» образцы СС - №№1Т, 2Т, 3Т и 4Т - термически

обработаны высокотемпературным отпуском (ВТО), светлые №№1, 2, 3 и 4 – без ВТО). Далее они определяют и сравнивают разность соответствующих значений  $\sigma_{\text{в}}$  на отдельных участках СС: основного металла, шва и ЗТВ, полученных в образцах подвергнутых и не подвергнутых ВТО:  $\Delta\sigma = \sigma_{\text{в}} - \sigma_{\text{вТ}}$ .

При выполнении условия  $\Delta\sigma_{\text{в}} > 0$  значения сварочных напряжений (СН) данного участка СС  $\sigma_{\text{СВ}} > \sigma_{0,2}$ , (т.е. выше условного предела текучести). При выполнении условия  $\Delta\sigma_{\text{в}} = 0$  значения СН данного участка СС  $\sigma_{\text{СВ}} < \sigma_{0,2}$ . Сварочные напряжения определяются по выражению:

$\sigma_{\text{СВ}} = \Delta\sigma_{\text{в}} + \sigma_{0,2}$ , - где условный предела текучести ( $\sigma_{0,2}$ )- определяется опытным путем, либо берется по НД. Значения  $\Delta\sigma_{\text{в}}$ , кроме того, могут определяться сравнением результатов измерений данных шва и ЗТВ после сварки с данными основного металла СС в том числе после ВТО.

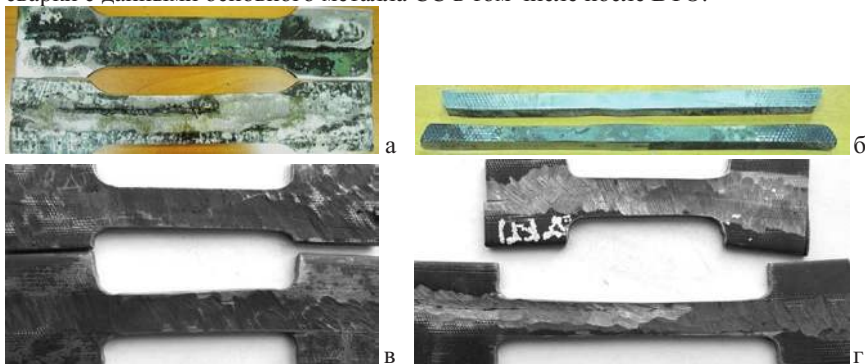


Рис.1 Образцы сварных соединений стали 20 №1Т и №1-(а) и стали 35 №2 и №2Т- (б), соответственно с продольными и поперечными швами; образцы СС стали 09Г2С, выполненные РДС №3 и №3Т – (в) и механизированной сваркой №4 и №4Т-(г). Тёмные - №№1Т, 2Т, 3Т и 4Т - термически обработаны, светлые №№1, 2, 3 и 4 – без термической обработки.

В работе № 2 практически изучается методика определения значений остаточных напряжений в стыковых сварных соединениях хорошо и ограниченно сваривающихся сталей с продольными и поперечными швами по данным построения диаграммы деформирования. Определяется эффективность снижения остаточных напряжений СС высокотемпературным отпуском после сварки на основе определения фактических значений условных пределов текучести. Для этого студенты определяют значения условных пределов текучести  $\sigma_{0,2}$  на установке «Шимадзу» (рис.2) образцов сварных соединений сталей №№1, 2, 3, 4 и сравнивают их с данными образцов СС сталей №№1Т, 2Т, 3Т, 4Т – после ВТО (рис.1) используя диаграммы деформирования (пример испытаний образцов СС стали 35 рис.3). Значение  $\sigma_{0,2}$  определяется по условию: допуск на не упругость металла  $\Delta l_{0,2} = 0,2 \times l_0 \times M$ , - М - масштаб по удлинению.

Превышение значений  $\sigma_{0,2}$  образцов СС №№ 1, 2, 3, 4 над аналогичными данными образцов СС сталей №№ 1Т, 2Т, 3Т, 4Т свидетельствует о наличии  $\sigma_{\text{СВ}}$

превышающих уровень  $\sigma_{0,2}$ . Равенство значений  $\sigma_{0,2}$  образцов СС №№1, 2, 3, 4 и образцов СС сталей №№ 1Т, 2Т, 3Т, 4Т – после ВТО свидетельствует о наличии  $\sigma_{СВ}$  по уровню ниже условных пределов текучести. Таким образом, значения сварочных напряжений определяются по выражениям:

$$\sigma_{СВ} = \Delta\sigma_{0,2} + \sigma_{0,2},$$

где  $\Delta\sigma_{0,2} = \sigma_{0,2} - \sigma_{0,2Т}$ ; т.е. - по результатам сопоставления данных образцов СС без термической обработки и при наличии ВТО.



Рис.2 Машина для проведения испытаний на растяжение, сжатие или изгиб

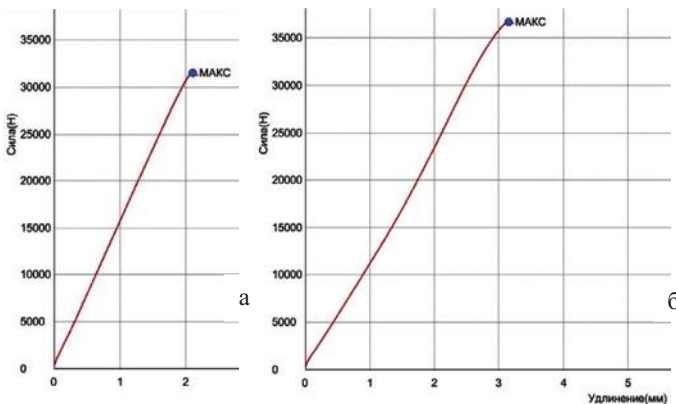


Рис.3 Условные диаграммы деформирования образцов СС стали 35 № 2Т после ВТО (а) и № 2 без ВТО (б).

В работе № 3 практически изучается методика определения остаточных напряжений и деформаций трубчатых образцов, после РДС в стык методом тензометрирования. Для этого студенты собирают схему для измерения перемещений, соединив клеммы 1 и 2 образца (рис.4) с тензометрической станцией. Проводят калибровку значений сигнала ( $U$  и  $V$ ) с тензометрических датчиков и испытывают образцы СС с ВТО и без термической обработки, растягивая при заданных нагрузках  $P=1,0$  и  $1,5тс$  для фиксации сигналов датчиков удлинения металла шва в продольном ( $U$ ) и поперечном ( $V$ ) направлении (рис.5). По данным перемещения датчиков определяют

абсолютные ( $\Delta l_x, \Delta l_y$ ) и относительные деформации ( $\epsilon_x, \epsilon_y$ ), затем  $\sigma_{ост} = E\epsilon$ , где  $\sigma_{ост} = \sigma_{\Sigma} = \sigma^T + \sigma_{св} + \sigma^I$  – сумма технологических, сварочных и действующих напряжений. Учитывая, что после ВТО сумма  $\sigma^T + \sigma_{св} = 0$  получим величину напряжений:  $\sigma_{св} = \sigma_{\Sigma} - \sigma_{\Sigma} (ВТО)$  в: ЗТВ, металле, шве по направлениям (x, y). Возможность определения сварочных напряжений и деформаций различных участков СС подтверждена в работах №№ 1 и 3.



Рис.4 Образцы с датчиками тензометрии

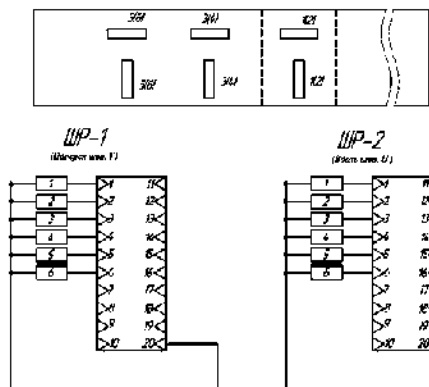
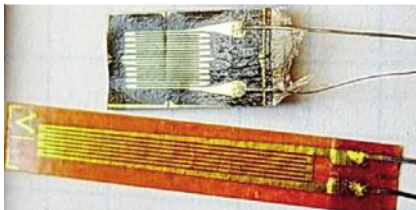


Рис.5 Схема расположения и обозначения датчиков вдоль и поперек шва (U, V) по участкам СС: металл, ЗТВ и сварной шов

№ п/п	Значения перемещений, U и V при калибровке	Результаты измерений и расчетов перемещений, деформаций и напряжений							
		по долевым датчикам				по поперечным датчикам			
		U	$\epsilon_x$	$\sigma_{\Sigma}$	$\sigma_{св}$	V	$\epsilon_y$	$\sigma_{\Sigma}$	$\sigma_{св}$
1									
2									

### Использованные литературные источники

1. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчёт и проектирование. Учебник для вузов.- М.: Высшая школа 1990.-446с.
2. Муратаев Ф.И. Типовые и деградационные признаки микроструктуры сварных соединений конструкционных и специальных сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 2. Выпуск. 3. С. 84–89.
3. Муратаев Ф.И., Загидуллин А.Д. Обеспечение стойкости сварных соединений аустенитных сталей к межкристаллитной коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2019. №2. С. 45-50.

4. F I Murataev et al Substantiation of domestic material and welding technology for improving properties and competitiveness of pyrolysis furnace coils 2019 IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering 570 012071.

5. Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф. Адаптация состава, структуры, свойств металла и сварных соединений теплообменников к сопротивлению высокотемпературной газовой коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2015 №3. С. 119-125.

6. Ф.И. Муратаев, А.Ф. Муратаев Структура и свойства конструкционной стали после длительного перегрева // ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2016, №3. С. 82-86.

## РАСЧЕТ СИЛ В РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Кочин Анатолий Николаевич  
Аносов Максим Сергеевич

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
[ansv-maksim@rambler.ru](mailto:ansv-maksim@rambler.ru)

**Аннотация:** В работе представлен подход к расчету сил в рычажных механизмах и подходы к оптимизации конструкций рычагов. Результаты исследований могут использоваться при конструировании рычажных механизмов с целью обоснования выбора конструкции рычажных механизмов, а именно оптимального выбора угла  $\alpha_0$  между направлениями плеч рычага.

The paper presents an approach to the calculation of forces in linkage mechanisms and approaches to optimizing the design of levers. The research results can be used in the design of linkage mechanisms in order to justify the choice of linkage design, namely the optimal choice of the angle between the directions of the lever arms.

**Ключевые слова:** рычажные механизмы, силовой расчет, станочные приспособления.

**Введение.** В современной технике широко используются различные механизмы, составными частями которого применяются простейшие механические устройства, среди которых видное место занимают рычаги. Рычаг – это твердое тело (стержень), вращающийся вокруг точки опоры. Стороны стержня, по бокам от точки опоры, называют плечами рычага. Рычаги в конструкциях механизмов станочных приспособлений применяются с целью получения выигрыша в силе по сравнению с исходной, или изменения направления силы, действующей на объект, также по сравнению с направлением исходной силы

Выигрыш в силе, в общем случае, зависит от длин плеч рычага и определяется соотношением (прямолинейное расположение плеч рычага):

$$W/N = a/b, \quad (1)$$



где:  $W$  и  $N$  – силы, действующие на плечи рычага;  $a$  и  $b$  – плечи рычага.

Изменение направления полученной на другом плече силы, по сравнению с исходной силой, достигается за счет конструктивного изменения рычага. В основном изменение направления силы достигается за счет применения рычагов, у которых одно плечо расположено под некоторым углом « $\alpha_0$ » по сравнению с направлением другого плеча (угловое расположение плеч рычага). При необходимости, такие рычаги также могут обеспечить одновременно и выигрыш в силе.

В общем случае, величина силы на одном плече рычага может определяться расчетом по зависимости (1) по найденной ранее другой известной силе. Такой расчет приближенный и не всегда может удовлетворить условия работы механизма или производства. Необходимость в более точном расчете механизма, в том числе и сил, действующих на рычаг приспособлений, возникает при закреплении деталей из хрупких или высоко пластичных материалов. В этом случае, недостаточная сила закрепления может вызвать выброс детали из приспособления от действующих на неё сил резания, а завышенная величина силы закрепления может привести к разрушению или деформации обрабатываемой детали.

**Методика расчета. Анализ.** Расчет сил, действующих на рычаг при зажиме заготовки на приспособлении необходим также для определения размеров деталей соединений рычага с его опорой и с звеном, от которого будет передаваться усилие на рычаг для зажима заготовки с заданной силой  $W$ . Расчет выполняется при соблюдении следующих условий:

1. Выполнена эскизная проработка конструкции приспособления;
2. Определены основные размеры рычага и его задачи при зажиме обрабатываемой заготовки;
3. Расчет сил ведется от рассчитанной в зависимости от условий обработки силы зажима  $W$ ;
4. Рычаг в расчете принимается за «абсолютно жесткий стержень»;
5. Расчет ведется в условиях статического положения рычага при зажиме;
6. Направления всех сил, действующих на рычаг при зажиме, сходятся в одной точке пространства, образуя полюс сил;
7. Все силы, действующие на рычаг при зажиме, образуют замкнутый многоугольник сил;
8. Особенность расчета сил в рычагах станочных приспособлений - постоянство силы на правом плече рычага (постоянство силы зажима  $W$ ).

В прямолинейном рычаге величины силам, действующие на его конструктивные элементы определяются из зависимости: 
$$\frac{R_W}{\sin \beta} = \frac{R_N}{\sin \alpha} = \frac{S}{\sin \gamma};$$

Где:  $R_W$ ,  $R_N$  и  $S$  - соответственно, равнодействующие сил в местах контакта рычага с заготовкой, с соединяемым звеном механизма зажима и в опоре рычага;

$\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  - углы в многоугольнике сил (рис.1).

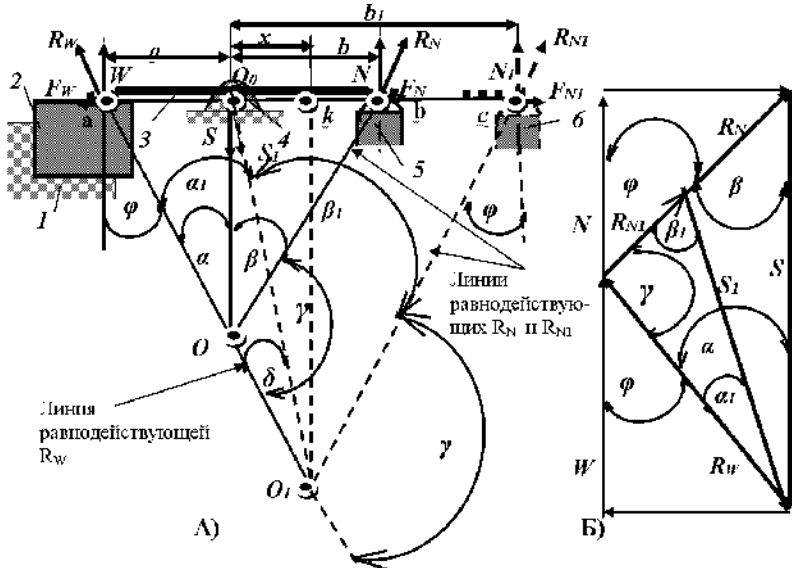


Рисунок 1 Схема сил и многоугольник сил, действующих на «прямой» рычаг: 1-опора заготовки; 2- заготовка; 3- рычаг, 4- опора рычага, 5- плунжер, 6- положение удлиненного левого плеча рычага

При равенстве длин плеч прямолинейного рычага ( $a = b$ ) и углов трения  $\varphi$ , линии равнодействующих  $R_W$  и  $R_N$  пересекаются в точке «О», образующей полюс сил. Равнодействующая из опоры рычага  $S$  пересекает полюс сил практически вертикально, в результате чего угол  $\alpha$  получается равным углу  $\beta$  (рис.1 а). В результате чего получается  $R_N = R_W$ , а  $N = W$ .

Если длина правого плеча рычага больше длины плеча левого рычага, при тех же условиях образования полюса сил, то полюс сил сместится по линии равнодействующей  $R_W$  вверх или вниз, в зависимости от того больше или меньше длина правого плеча по сравнению с длиной плеча левого рычага. При увеличении длины правого плеча полюс сил сместится вниз по линии действия силы  $R_N$  в точку « $O_1$ » до линии пересечения силы  $R_{N1}$ . Соответственно, сила  $S_1$  будет действовать по прямой  $O_0 O_1$ , т.е. направление действия силы  $S$  изменится на некоторый угол  $\delta$  (рис.1 «А»). Величину этого угла можно определить по зависимости:

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \varphi \frac{K - 1}{K + 1}; \quad (2)$$

где:  $\varphi$  - угол трения;

$K$  - коэффициент, определяющий соотношение длин плеч рычага

$$K = \frac{b}{a}.$$

Изменение положения полюса сил, связанное с увеличением длины правого плеча приводит к изменению углов в многоугольнике сил, при этом угол между равнодействующими силами  $R_W$  и  $R_N$  не изменяется, т.е.  $\gamma = 180^\circ - 2\varphi$ , (рис.1 б).

Углы  $\alpha$  и  $\beta$  изменяются и тот и другой на величину угла  $\delta$  и принимают следующие значения для случая, когда  $a < b = b_1$ :

$$\alpha_1 = \varphi - \delta; \quad \beta_1 = \varphi + \delta$$

Таким образом, увеличение длины плеча прямолинейного рычага приводит к пропорциональному уменьшению сил  $N$  и  $S$ , действующим на рычаг при закреплении заготовки на приспособлении.

В аналогичной последовательности выполняется расчет сил, действующих на рычаг с непрямолинейным расположением плеч. Отличие состоит в том, что направление силы  $W$ , действующей на заготовку, и направление силы  $N$ , действующее на свободное плечо рычага, не параллельны между собой. Образовавшееся несовпадение направлений плеч (угол  $\alpha_0$ ) влияет на величину сил  $N$  и  $S$  и изменяется в зависимости от величины угла (рис.2). Неизвестные силы  $N$  и  $S$  определяются из анализа соотношения углов и сторон многоугольника сил в зависимости от силы  $W$ , плеч рычага  $a$  и  $b$  и угла  $\alpha_0$  (рис.2 в):

$$\frac{R_W}{\sin \beta} = \frac{R_N}{\sin \alpha} = \frac{S}{\sin \gamma} :$$

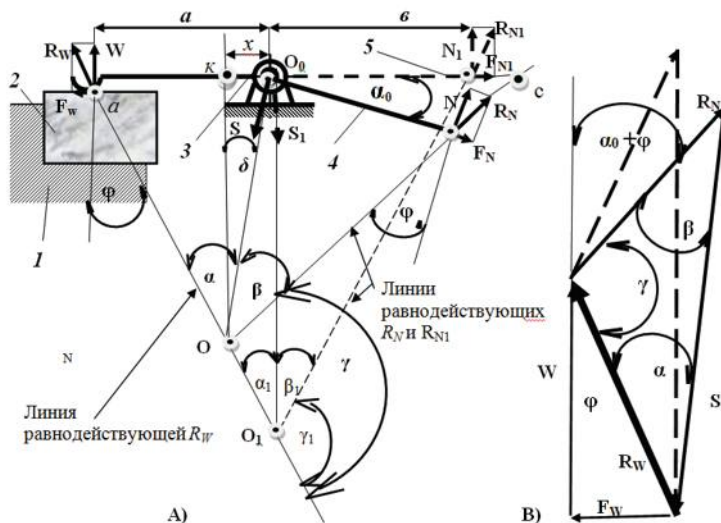


Рисунок 2 Схема сил (А) и многоугольник сил (В), действующих на непрямолинейный рычаг при зажиме заготовки

Полнос сил, т. О, как и в первом случае будет находится на линии равнодействующей  $R_W$ , но по сравнению с положением полюса сил прямолинейного рычага т.  $O_1$  смещена на расстояние  $O_1O$ . Очевидно, что чем больше угол  $\alpha_0$ , тем больше изменяются углы в многоугольнике сил. Параметром, характеризующим изменение углов многоугольника, а следовательно и сил, является угол  $\delta$ . Величина этого угла определяется по зависимости:

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \varphi \frac{1 - K \cos \alpha_0}{1 + K \cos \alpha_0}; \quad (3)$$

$K$  - коэффициент, определяющий соотношение длин плеч рычага  $K = b/a$ ;

Исходя из найденного значения угла  $\delta$  и анализа многоугольника сил, для рассматриваемого рычага рис.2, получаются следующие значения углов:

$$\alpha = \varphi + \delta, \quad \beta = \varphi + \alpha_0 - \delta, \quad \gamma = \alpha_0 + 2\varphi.$$

Выполненные на основании полученных зависимостей исследования показали, что с увеличением угла  $\alpha_0$  происходит соответствующее изменение (уменьшение) действующей на правое плечо силы  $R_N$  и силы, возникающей в опоре рычага  $S$ . Результаты исследований могут использоваться при конструировании рычажных механизмов с целью обоснования выбора конструкции рычажных механизмов, а именно оптимального выбора угла  $\alpha_0$  между направлениями плеч рычага.

#### Список литературы

1. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений, 1983 г.

УДК 629.113.004.67

### ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ СОЗДАНИЕМ ТОНКОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ В СОПРЯЖЕНИИ

Кулаков Александр Тихонович, Барыльникова Елена Петровна  
Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский  
(Приволжский) Федеральный университет», г. Набережные Челны, пр.  
Сююмбике, д. 10А

Снарский Сергей Владимирович, Гафиятуллин Асхат Ассадуллович,  
Назаров Федор Леонидович  
Завод двигателей ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, пр. Автозаводский, 2  
Малаховецкий Андрей Федорович

АО «Ремдизель», г. Набережные Челны, Мензелинский тракт, 40

В работе представлен технологический процесс латунирования гильзы цилиндра. Применение покрытия позволяет повысить эксплуатационную

надежность деталей цилиндро-поршневой группы и технический ресурс всего двигателя.

The paper presents the technological process of brass plating of the cylinder bore. Application of the coating allows to increase the operational reliability of parts of the cylinder-piston group and the technical life of the entire engine.

**Ключевые слова:** цилиндрико-поршневая группа, двигатель, гильзы, кольца поршневые, задиры, латунирование, интенсивность изнашивания

Отказы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в эксплуатации проявляются в виде натиров и задиров цилиндрико-поршневой группы (ЦПГ). На условия работы ЦПГ существенно влияет овальность гильзы, обусловленная конструктивными особенностями крепления головки к блоку цилиндров и газового стыка [1]. Овальность и нецилиндричность гильзы образуется в процессе сборки и сохраняется при эксплуатации ДВС.

Гильза цилиндра доводится при изготовлении на заводе двигателей ПАО «КАМАЗ» до нормативных параметров по цилиндричности, овальности, конусности, но форма ее искажается после установки в блок цилиндров и затяжки болтов головок цилиндров, отклонения достигают  $\pm 0,02 \dots 0,05$  мм от номинального размера. Овальность гильзы усугубляется в процессе монтажа (рис. 1) из-за нарушения порядка затяжки болтов, а также несимметричным расположением болтов крепления головки блока. При затяжке четырех болтов с одинаковым моментом из-за неравномерности расположения большая ось овала находится в секторах *A* и *B*, а меньшая – в секторах *B* и *Г* [2, 3].

Физико-химические, противоизносные и противозадирные свойства смазочных материалов, свойства поверхностей гильз и колец зачастую не могут предотвратить интенсивное изнашивание и разрушение трущихся поверхностей, выражающихся в виде натиров, задиров, прижогов на гильзах и кольцах (рис. 2).

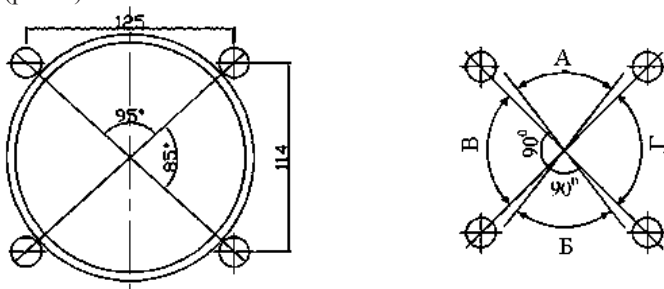


Рис. 1 Несимметричность расположения болтов крепления головки цилиндров и секторов отклонения формы (максимального (*A* и *B*) и минимального (*B* и *Г*))

Для улучшения приработки внутренняя поверхность гильзы смазывается разбрызгиванием и масляным туманом, иногда может покрываться фосфатированием или пористым хромом.

Положительно сказывается эффект избирательного переноса при трении, когда на трущихся поверхностях в зоне контакта самопроизвольно образуется металлолакирующая пленка[4].

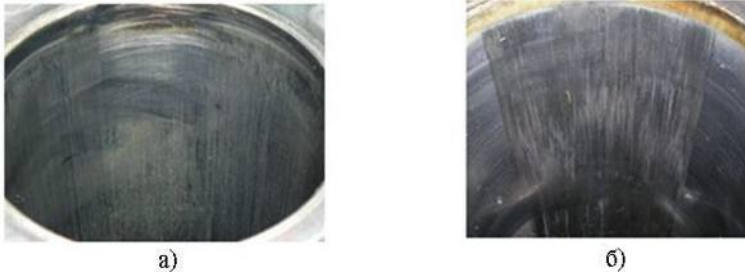


Рис. 2 Натеры (а) и задиры (б) на рабочей поверхности гильзы

Благодаря созданию металлолакирующей пленки, разделяющей трущиеся поверхности даже при высоких нагрузках, износ деталей в условиях избирательного переноса может быть снижен до нуля (эффект безызносности), а коэффициент трения - до значений при жидком трении.

Условия избирательного переноса для снижения износа трущихся поверхностей обычно создают, применяя простые методы:

- введением медьсодержащих присадок в масла;
- нанесением на рабочие поверхности деталей слоя цветного металла (латуни, бронзы, меди);
- установкой вставок из цветных металлов в детали машин.

В ДВС КАМАЗ с неразгруженным газовым стыком по гильзе цилиндров, целесообразно производить нанесение самоприрабатывающегося покрытие, которое хорошо пристает к поверхности цилиндра (рис.3), а при работе за счет съема кольцами создает форму обеспечивающую полное прилегание всей поверхностью колец к гильзе, и таким образом, обеспечивает хорошие характеристики приработки и работу в паре с компрессионными кольцами и поршнем без натиров и задигов [5].



Рис.3 Гильза до (а) и после (б) латунирования

Совместными исследованиями ПАО «КАМАЗ», ВНПО «Ремдеталь», НИИАТ и КФУ получены результаты по оценке влияния финишной антифрикционной безабразивной обработки латуни в виде триблатунирования (ФАБО) и поверхностно-пластического деформирования (ППД ФАБО) на износо- и задиростойкость пары гильза цилиндра-поршневое кольцо двигателя КамАЗ-740 [6].

Покрытие получено применением латуни марки ЛМц 58-2-2 (Cu 57-60%, Mn 1,5-2,5%, Pb 1,5-2,5%, остальное цинк) [7]. Из латунных прутков изготавливаются ролики для установки в доработанную хонинговальную головку (рис.4).



Рис. 4 Процесс латунирования на хонинговальном станке СС6101, переоборудованном для процесса латунирования гильз цилиндров (а), приспособление для установки гильзы (б), хонинговальная головка с установленными роликами для латунирования гильз цилиндров (в)

В качестве активизирующего раствора используется технологическая жидкость, которая представляет собой смесь глицерина с хлоридами металлов и в одном литре содержит следующие компоненты (г/л): цинк хлористый ( $ZnCl_2$ ) 24 г; медь хлорная ( $CuCl_2$ ) 10 г; олово двуххлористое ( $SnCl_2$ ) 16 г; железо хлорное ( $F_2Cl_3$ ) 14 г; мочевины ( $Co(NH_2)_2$ ) 4 г; глицерин технический ( $C_3H_5(OH)_3$ ) 200 г; вода питьевая. Применяемые материалы стандартизированы, выпускаются промышленностью в массовых количествах, относительно дешевы.

Слой наносимого металла при ФАБО (8-10 мкм) оказался весьма эффективен в начальный период работы и позволил исключить случаи неудовлетворительной приработки ЦПГ при приёмо-сдаточных испытаниях.

Особым преимуществом ДВС с такой обработкой гильзы цилиндра является то, что слой не требует завершающей обработки и может осуществляться при монтаже в любых условиях при сборке нового и ремонте ДВС.

При стендовых испытаниях двигателей на безотказность в течение 1000 ч получено, что средний износ латунированных гильз в зоне верхней мертвой точки на 30 % меньше, износа гильз без покрытия.

Интенсивность изнашивания при испытаниях на машине трения необработанными методами ППД-ФАБО и ФАБО сырой гильзы на два порядка

выше ( $2 \cdot 10^{-10}$ ) по сравнению с гильзой, обработанной методами ППД-ФАБО и ФАБО ( $1 \cdot 10^{-12}$  и  $4 \cdot 10^{-12}$ ) (табл. 1).

Таблица 1- Интенсивность изнашивания гильз и хромированных колец

Метод латунирования сырой гильзы	Интенсивность изнашивания	
	гильза	кольцо
Сырая	$2 \cdot 10^{-10}$	$8 \cdot 10^{-11}$
ППД-ФАБО	$1 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^{-11}$
ФАБО	$4 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-11}$

Применением покрытия гильз на ЗАО «Ремдизель» удалось исключить натир и задиры в процессе приработки и получить улучшение эксплуатационных параметров [8].

Полученные результаты образцов с латунными покрытиями, нанесенными двумя разными способами (методом ППД ФАБО и ФАБО) при лабораторных и стендовых испытаниях позволяют рекомендовать обработку при производстве гильз цилиндров ДВС КАМАЗ.

#### Литература

1. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. - М.: Машиностроение, 1984 г. –384 с.
2. Кулаков А.Т. Особенности конструкции, эксплуатации, обслуживания и ремонта силовых агрегатов грузовых автомобилей : учеб.пособие / А.Т. Кулаков, А.С. Денисов, А.А. Макушин. – М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 448 с.
3. Кулаков, А.Т. Оценка работоспособности и остаточного ресурса поршневых колец двигателей КамАЗ, бывших в эксплуатации / А.Т. Кулаков, М.И. Мистриков//Автомобильная промышленность. -1995. - № 12 - С. 16-20.
4. Гаркунов Д.Н., Поляков А.А. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов. М.: Машиностроение, 1978.–234 с.
5. Кулаков А.Т., Мистриков М.И. Фрикционное латунирование гильз//Автомобильная промышленность. -1990. №3. – С. 33.
6. Кулаков А.Т. Безмоторные стендовые испытания сопряжений гильза-кольцо двигателя КамАЗ-740 / А.Т. Кулаков, Х.Ф. Бурумкулов, А.Г. Андреева, М.И. Мистриков, И.В. Глазова, А.А. Хотенко // Вестник машиностроения. - 1992. № 3. - С. 13-16.
7. Патент № 2570683 Российская Федерация, МПК С23С 26/00. Способ обработки гильзы блока цилиндров с созданием антифрикционного покрытия / Кулаков А.Т. Якубович И.А., Якубович А.Н., Малаховецкий А.А., Макушин А.А., Малаховецкая А.Н., Лужбин Д.С.; патентообладатели Кулаков А.Т. Якубович И.А., Якубович А.Н., Малаховецкий А.А., Макушин А.А., Малаховецкая А.Н., Лужбин Д.С.; - № 2013111140/02; заявл. 13.03.2013; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34–6 с.
8. Кулаков А.Т. Повышение износостойкости и ресурса дизелей созданием тонкослойных покрытий в сопряжении «гильза-кольцо» при ремонте / А.Т. Кулаков, А.А. Макушин // Автотранспортное предприятие. – 2008. - № 7. - С.40-41.



## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА ЦИНКЗАМЕЩЕННОГО ФТОРАПАТИТА

Маркелова Ольга Анатольевна, Пичхидзе Сергей Яковлевич  
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

**Аннотация:** В статье изложены технологические режимы формирования покрытия на основе порошка цинкзамещенного фторапатита методом плазменного напыления и результаты сканирующей электронной микроскопии и спектрального анализа полученного покрытия.

**Abstract:** The article describes the technological conditions for the formation of coatings based on zinc-substituted fluoroapatite, the method of plasma spraying and the results of scanning electron microscopy and spectral analysis of the resulting coating.

**Ключевые слова:** плазменное напыление, покрытие, замещенный трикальцийфосфат, кальцийфосфаты

В современном машиностроении, электронной техники и медицине стоит проблема разработки материалов и покрытий (в том числе композиционных), отличающихся высокой эффективностью и позволяющей добиться дополнительных эффектов для каких-либо деталей и узлов [1, 2].

Предлагается формировать на поверхности деталей методом плазменного напыления [3, 4] композиционные покрытия на основе порошка цинкзамещенного фторапатита (Zn-FA).

Порошок Zn-FA получали из растворов при pH на уровне 8-9. После 24 ч старения осадок прокаливали при 200...600 °С [5].

Рентгенофазовый анализ образца порошка Zn-FA полностью соответствует структуре соединения в форме  $Ca_{5-x}Zn_x(PO_4)_3F$  (рис.1). Возможными примесями к основному веществу являются:  $Ca_5(PO_4)_3F$ ,  $CaZn_2(PO_4)_2$ ,  $Ca_2P_2O_7$ .

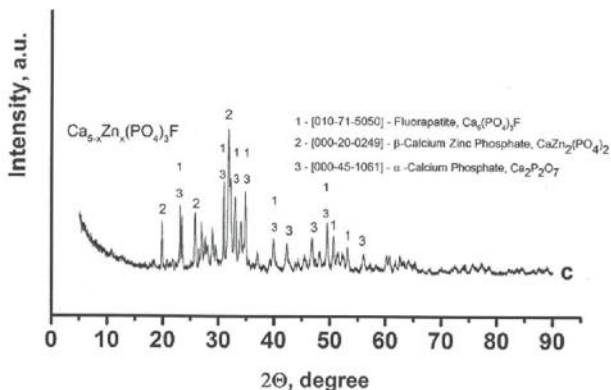


Рис.1. Результаты РФА порошка Zn-FA при температуре прокаливания 600 °С

Плазменное напыление порошка Zn-FA производилось на полуавтоматической установке плазменного напыления УПН-28 по следующим технологическим режимам: ток дуги плазмотрона –  $350 \pm 5$  А, дистанция напыления –  $80 \pm 5$  мм, дисперсность порошка Zn-FA – до 90 мкм, расход плазмообразующего газа –  $25 \pm 2$  л/мин.

Исследование морфологии поверхности покрытия производилось на настольном сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) «Aspex EXplorer».

Покрытие сформировано преимущественно частицами круглой формы размером 70-90 мкм, на поверхности которых закреплены частицы-капли размером 5-20 мкм (рис.2). Данная морфология поверхности достаточно характерна для плазмонанесенных кальцийфосфатных покрытий и свидетельствует о достаточном прогреве частиц порошка в плазменной струе.

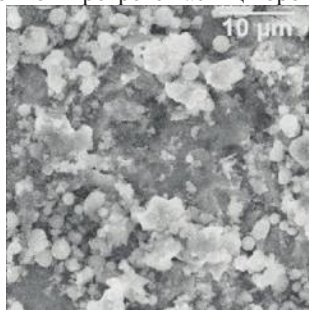


Рис.2. СЭМ поверхности покрытия на основе Zn-FA

Спектральный анализ образца с покрытием Zn-FA обнаруживает частицы цинка в покрытии, что служит доказательством сохранения внедренных частиц цинка после плазменного напыления (рис. 3).

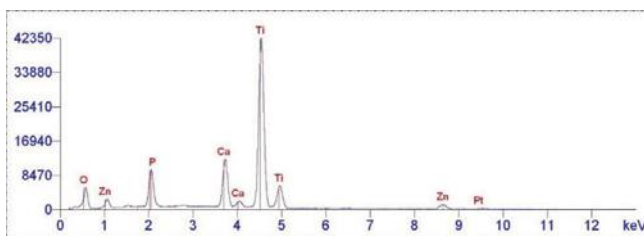


Рис.3. Спектральный анализ образца с покрытием Zn-FA

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о перспективности применения покрытий на основе порошка Zn-FA благодаря наличию в их составе частиц цинка, что будет придавать дополнительные эффекты, что в совокупности с развитой морфологией поверхности будет способствовать повышению функциональных характеристик изделий различного назначения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-63.2019.4.*

### Литература

1. Оковитый В.А., Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.В., Асташинский В.М. / Получение композиционного керамического материала для газотермического напыления // Наука и техника, №. 3, 2017, С. 181-188.

2. Руденская Н.А., Швейкин Г.П., Соколова Н.В., Руденская М.В., Новоселов А.В. / Новые плазменные керамические покрытия // Доклады академии наук, 2013, Т. 449, № 2, С. 180-184.

3. Структура и микротвердость оксидных покрытий, сформированных плазменными процессами на титане / Кошуру В.А., Фомин А.А., Родионов И.В. // Prospects of world science-2015 Materials of the XI International scientific and practical conference. 2015. С. 22-26.

4. Технология повышения функциональных характеристик плазмонапыленных покрытий за счет их импрегнации активными компонентами / Ляникова А.В., Маркелова О.А., Таран В.М., Дударева О.А., Бессонов Д.А. // Юность и знания - гарантия успеха Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор: Разумов М.С.. 2014. С. 211-214.

5. Викулова М.А., Костин К.Б., Горшков Н.В., Пичхидзе С.Я., Ляникова А.В., Дударева О.А. / Синтез и идентификация фтор-магний-апатита // Сб. тр. V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий», Балаково: БИТУ МИФИ, 2019. – с.108-109.

## МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Мордасов Денис Михайлович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106

Мордасов Михаил Денисович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106

**Аннотация:** Исследована микроструктура сварного соединения стали 32Г2 после различных режимов отпуска. Феррито-перлитная структура основного металла, отличающаяся большой долей блочного феррита, сформированная в процессе заводской термической обработки труб, не является оптимальной. Проведены исследования влияния отпуска на структуру шва и зоны термического влияния сварного соединения труб из стали 32Г2. Установлено, что отпуск при 700°C не устраняет структурную неоднородность

основного металла, но позволяет исправить видманштеттову структуру в зоне термического влияния и получить зернистый перлит.

**Abstract:** The microstructure of the welded joint of steel 32Г2 was studied after various tempering conditions. The ferrite-pearlite structure of the base metal, characterized by a large fraction of block ferrite, formed during the factory heat treatment of pipes, is not optimal. Investigations were made of the effect of tempering on the weld structure and the heat-affected zone of the welded joint of 32Г2 steel pipes. It was established that tempering at 700° C does not eliminate the structural heterogeneity of the base metal, but allows correcting the Widmanstätten structure in the heat-affected zone and obtaining granular perlite.

**Ключевые слова:** термообработка, видманштеттова структура, сварное соединение.

Для изготовления труб нефтегазовой промышленности широко применяется конструкционная легированная сталь 32Г2. Основной областью применения стали является изготовление высокопрочных обсадных, бурильных и насосно-компрессорных труб.

Существуют различные способы соединения труб в колонну: резьбовое соединение, сварка, соединение в раструб и с помощью муфты.

При использовании технологии неразъемного соединения трубных конструкций с помощью сварки плавлением, возможно их разрушение из-за резких различий структуры металла в зоне термического влияния.

В практике сварочного производства известны случаи разрушения сварных соединений непосредственно в процессе сварки в области температур, близких к температуре плавления. Причиной таких разрушений являются горячие трещины.

Другим типичным дефектом сварных соединений среднелегированных сталей являются холодные трещины. Они образуются в сварных соединениях при охлаждении их до относительно невысоких температур, как правило, ниже 200°С. Отличительной чертой холодных трещин является их задержанное зарождение и замедленное развитие.

При разработке сварочных технологий необходимо учитывать склонность металла к образованию горячих и холодных трещин и принимать адекватные меры по их предупреждению.

При проведении исследований изучены образцы сварного соединения стали 32Г2 проволокой 1.2Св-08Г2С в защитной газовой среде 80%Ar+20%CO<sub>2</sub>.

Оценка группы свариваемости стали 32Г2 осуществлялась по формуле, применяемой для углеродистых и марганцовистых сталей, приведенной в EN 10025-1:2004 и рекомендованной Международным институтом сварки (International Institute of Welding)

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15},$$

где  $CE$  – углеродный эквивалент.

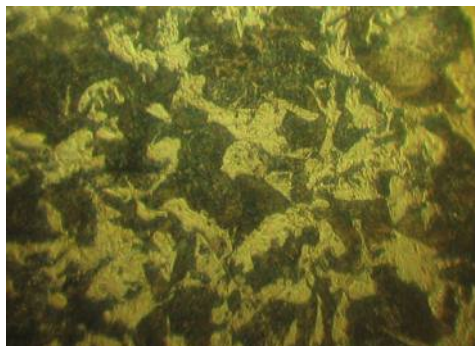
В результате расчета получено значение углеродного эквивалента  $CE = 0,6$  %. При таком значении  $CE$  в металле шва сварного соединения возможно

образование закалочных структур, что, в случае насыщения металла водородом и при условии наличия высоких сварочных напряжений, может привести к образованию холодных трещин. Одним из способов борьбы с образованием холодных трещин является проведение операции отпуска (высокого или низкого) сварного соединения [1, 2].

Исследуемые образцы были подвергнуты отпуску при температуре 500°C в течение 30 мин и 700°C в течение 30 мин. Охлаждение после отпуска в целях предотвращения отпускной хрупкости осуществлялось в воде.

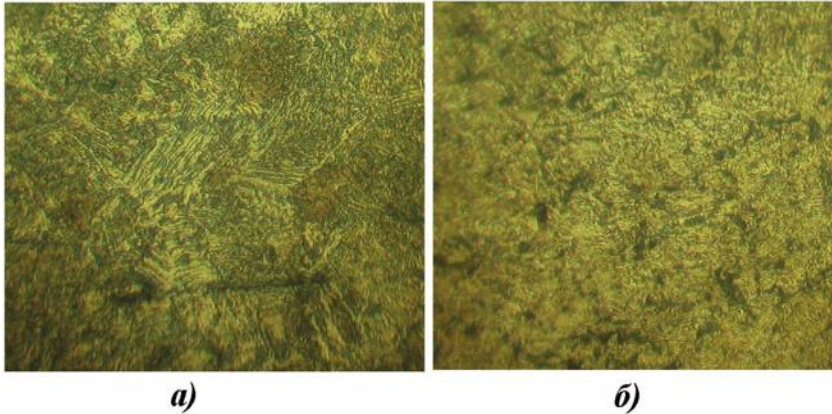
Выявление микроструктуры образцов на специально подготовленных шлифах осуществлялось путем их химического травления в 2% спиртовом растворе йода.

На рис. 1 показана феррито-перлитная структура основного металла, отличающаяся большой долей блочного феррита. Зерна феррита имеют криволинейную форму. Такая структура не является оптимальной, так как чем острее и криволинейнее границы зерен, тем хрупче сталь. Независимо от режима отпуска структура основного металла сохраняется, что связано с особенностями производства труб: недостаточно эффективное охлаждение после термической обработки.



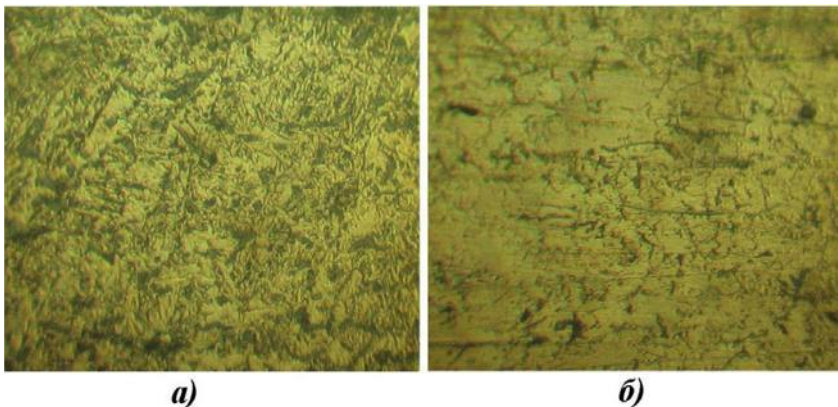
**Рис. 1. Структура основного металла (1440<sup>x</sup>)**

При нагреве сварного соединения до температуры отпуска 500°C начинается процесс первичной рекристаллизации, в результате которого происходит увеличение доли равновесных зерен, возрастает пластичность и незначительно снижается твердость (рис. 2). Наиболее интенсивно этот процесс протекает на участках перегрева, неполного расплавления и в теле шва, где структура имеет ярко выраженную неоднородность.



**Рис. 2.** Структура околошовной зоны сварного соединения без термообработки (а) и после отпуска при 500°C (б) (1440<sup>х</sup>)

Отпуск при 700°C в течение 30 мин. позволяет исправить структуру участков, где сформировался видманштетт. Наличие видманштетта нежелательно в сварных швах, так как игольчатый феррит, выделяющийся по границам аустенитных зерен, снижает механические свойства. При нагреве стали 32Г2 до температуры 700°C избыточный феррит в металле шва и зоне термического влияния переходит в аустенит, а пластинки цементита в перлите принимают округлую форму, вследствие чего образуется зернистый перлит (рис. 3), обладающий немного меньшей твердостью но повышенной пластичностью.



**Рис. 3.** Структура шва сварного соединения без термообработки (а) и после отпуска при 700°C (б) (1440<sup>х</sup>)

Таким образом, в результате проведенного микроструктурного анализа установлено, что при сварке стали 32Г2 в зоне термического влияния на участке перегрева формируется структура игольчатого феррита (видманштетт), ухудшающая механические свойства сварного соединения. В результате отпуска путем нагрева до 500°C происходит исправление структуры переходной зоны, а нагрев до 700°C позволяет полностью избавиться от видманштеттовой структуры.

#### Список использованных источников

1. Мордасов Д.М. Особенности термической обработки сварных соединений из стали 10Х17Н10М2Т / Д.М. Мордасов, С.В. Зотов, Д.А. Черных // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах: Тезисы докладов 3-ей Международной конференции с элементами научной школы. - Тамбов. 2016 - С. 181 - 183.
2. Мордасов Д.М. Термоциклическая обработка штампов для работы в условиях горячего деформирования из стали Х12МФ / Д.М. Мордасов, С.В. Зотов // Вестник ТГТУ. 2016. Т. 22. № 3. - С. 481-490.

УДК 621.65

### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВИХРЕВЫХ НАСОСОВ

Муллаярова Рима Ришатовна, Болдырев Алексей Владимирович,  
Карелин Дмитрий Леонидович

Набережночелнинский институт КФУ  
423810, РТ, г. Набережные Челны, пр. Мира, 13

**Аннотация.** В статье рассматриваются варианты улучшения энергетических характеристик вихревых насосов. Приведены результаты исследований, полученных с использованием современных численных методов. Приводится оценка влияния изменения различных геометрических параметров насосов на их энергоэффективность.

**Abstract.** The article discusses options for improving the energy characteristics of vortex pumps. The results of studies obtained using modern numerical methods are presented. The impact of changes in various geometric parameters of the pumps on their energy efficiency is estimated.

**Ключевые слова:** вихревой насос, численное моделирование, энергоэффективность.

Гидродинамические насосы вихревого типа имеют ряд преимуществ перед лопастными насосами, например, возможностью перекачивать сложные гидравлические смеси с высоким процентным содержанием твердых и грубых включений, низкой склонностью к засорению и высокой гидроабразивной стойкостью (в два-три раза больше, чем стойкость к истиранию центробежных насосов, работающих с одним и тем же материалом), высокими

антикавитационными характеристиками, простотой формы проточного тракта, низкой стоимостью изготовления и ремонта основных частей насоса (рабочее колесо, лопасти, корпус) и длительным сроком службы. Благодаря этим преимуществам, вихревые насосы широко используются в различных отраслях промышленности, особенно для откачки сильно загрязненных жидкостей.

Однако сложный характер течения жидкости обуславливает существенно низкую энергоэффективность вихревых насосов по сравнению с лопастными насосами. Это связано с постоянным интенсивным смешением двух потоков в камере насоса – высокоэнергетического вихревого потока и низкоэнергетического основного потока – что приводит к большим потерям энергии. С.С. Рудневым был сделан вывод [1], что теоретически достижимая эффективность вихревого насоса не превышает 50%. В опубликованной литературе обнаружены противоречивые данные о влиянии различных геометрических и кинематических параметров на напор, КПД и кавитационные характеристики вихревого насоса.

Таким образом, исследование течения жидкости в каналах вихревого насоса, механизма передачи энергии от рабочего колеса жидкости, влияния формы неподвижных рабочих каналов и их относительных размеров на энергетические характеристики насоса является актуальной задачей. Полученные результаты могут быть использованы для повышения напора, КПД и всасывающей способности данных агрегатов, для расширения диапазона их работы.

С развитием инструмента – численного моделирования – получили развитие работы, посвященные моделированию течений внутри вихревых насосов и направленные на повышение энергоэффективности гидромашин данного типа.

В публикациях [2-5] авторы исследовали влияние геометрии ротора вихревого насоса на его характеристики. Объектом исследования [2] была вихревая гидромашина с цилиндрическим ротором 1 и выполненными на нем сферическими глухими отверстиями, на периферии которого располагается винтовой канал 2, закрепленный в корпусе (рис. 1а). Целью работы был анализ течения несжимаемой жидкости в проточной части, образованной спиральным направляющим аппаратом и ротором вихревой гидромашины (рис. 1б).

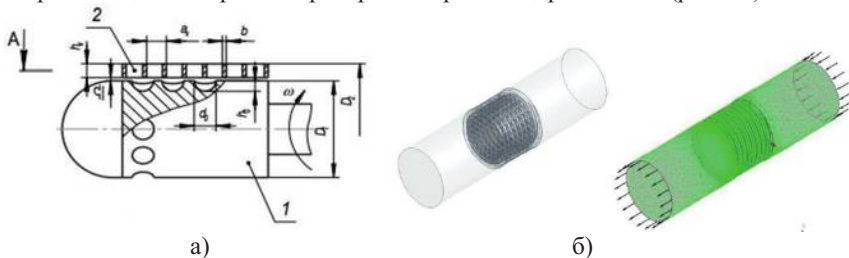


Рис. 1. Схема вихревого насоса (а) и геометрия расчетной модели (б)



В работах [3-5] авторы продолжили и развили исследования [2]. В частности, рассматривалась параметрическая модель вихревой гидромашины с цилиндрическим ротором и неподвижными винтовыми каналами с различным соотношением глубины глухого отверстия к его диаметру [3], модель течения жидкости в проточной части вихревого насоса с коническим ротором, на поверхности которого выполнены глухие сферические отверстия [4], модель обтекания конического ротора вихревого насоса с различным отношением глубины к диаметру глухих отверстий на поверхности ротора [5].

Результаты моделирования показали, что применение конического ротора более целесообразно, чем использование цилиндрического, так как при одинаковом входном сечении и скорости на входе, в коническом роторе на выходе создается больший скоростной напор. Наличие на поверхности конического ротора глухих сферических отверстий позволяет повысить скорость потока на выходе. Анализ результатов также показал, что при наличии отверстий, глубина которых равна или больше диаметра, увеличение скорости в выходном сечении остается практически одинаковым, что свидетельствует о том, что дальнейшее увеличение глубины отверстий нецелесообразно.

В работе [6] рассматривалось влияние геометрических параметров рабочего колеса свободновихревого насоса типа «Туро» (рис. 2) на его энергетические и кавитационные характеристики. Авторы спроектировали и провели численное исследование 6 вариантов рабочих колес с различным числом  $Z$  и шириной  $b$  лопаток.

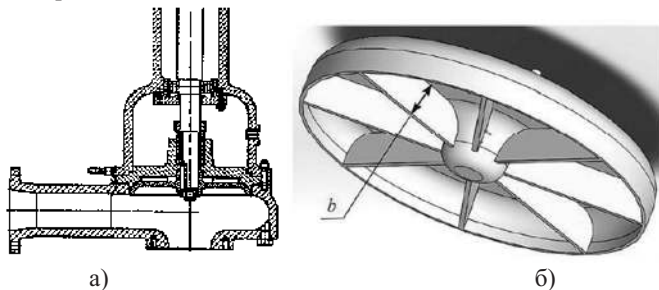


Рис. 2. Конструкция насоса (а) и геометрия рабочего колеса (б)

Результаты расчетов показали, что приращение энергии в свободновихревом насосе мало зависит от обтекания потоком рабочей жидкости лопастей рабочего колеса, поэтому оно может иметь упрощенную конструкцию (простые формы лопастей и межлопастных каналов). Увеличение ширины профиля лопаток приводит к увеличению напора и КПД насоса. Это объясняется тем, что рабочий процесс в данном типе динамических насосов в значительной степени зависит от угловой частоты вращения потока рабочей жидкости в камере насоса. Изменение числа лопастей рабочего колеса в диапазоне  $Z = 8-10$  практически не влияет на энергетические характеристики свободновихревого насоса. Кавитационные характеристики имеют пологий характер, то есть кавитация в проточной части развивается постепенно. Таким

образом, свободновихревой насос можно эксплуатировать в широком диапазоне входных давлений, вплоть до срыва его энергетических параметров.

В работе [7] была создана трехмерная модель потока с симметрично изменяемым размером зазора разделительных выступов для изучения его влияния на гидравлические характеристики двухпорного вихревого насоса (рис. 3).

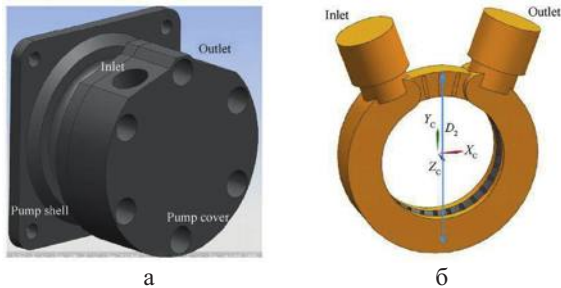


Рис. 3. Общий вид насоса (а) и геометрия расчетной области (б)

Результаты численного моделирования показали влияние величины зазора с двумя видами сечений (равномерным и неравномерным сечениями) на характеристики потока в вихревом насосе. Во-первых, изменение сечения канала изменяет распределение вихревой структуры в канале окружного потока. В частности, спиральная передняя вихревая структура в круговом направлении смещается в сторону большого радиуса с увеличением ширины зазора. Во-вторых, градиент окружной скорости, градиент осевого давления, а также перепад давления между входом и выходом уменьшаются с увеличением сечения канала перегородки. Наконец, для вихревого насоса с неравномерным сечением канала напор уменьшается и КПД остается примерно постоянным с увеличением ширины зазора, в то время как для равномерного сечения канала и напор, и КПД уменьшаются.

Таким образом, исследования показали существенное влияние ряда геометрических параметров рабочего колеса и отвода на энергоэффективность вихревых насосов. Поиск оптимальных соотношений этих параметров, является сложной и трудоемкой задачей и может способствовать разработке новых и улучшению существующих конструкций насосов данного типа с улучшенными параметрами энергетических характеристик. Причем для снижения материальных и временных затрат целесообразно совмещать экспериментальные исследования с использованием численных методов при условии обеспечения адекватности математической модели течения.

### Литература

- [1] Руднев С.С. Основы рабочего процесса вихревых насосов / С.С. Руднев // Труды ВНИИГидромаша. – 1972. – № 43. – С.3-9.
- [2] Пащенко В.В. Моделирование течения жидкости в проточной части вихревого нагнетателя с цилиндрическим ротором / В.В. Пащенко, О.Г.

Шитохина, О.И. Зиновьева // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2018. – № 1. – С.21-26.

[3] Пашенко В.В. Исследование влияния геометрии цилиндрического ротора на характеристики вихревого нагнетателя / В.В. Пашенко, О.Г. Шитохина, О.И. Зиновьева // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2018. – № 2. – С.6-11.

[4] Шитохина О.Г. Исследование влияния геометрии ротора вихревого насоса на скорость потока жидкости в выходном сечении / О.Г. Шитохина, Н.А. Ананьев // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2018. – № 2. – С.5-9.

[5] Шитохина О.Г. Исследование влияния размеров отверстий на поверхности ротора вихревого насоса на скорость жидкости в выходном сечении / О.Г. Шитохина, Н.А. Ананьев // Электронный журнал: наука, техника и образование. – №1. – 2019. – С. 6-9.

[6] Svoboda D.G. Influence of the geometric parameters of the impeller of a free-vortex pump on the energy and cavitation characteristics of the pump / D.G. Svoboda, A.A. Zharkovskii, E.A. Ivanov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Vol. 54, Nos. 9-10. – p.673-680. DOI: 10.1007/s10556-019-00532-w.

[7] Xiang-yang Li. Effect of tongue clearance on hydraulic performance of double support vortex pump / Xiang-yang Li, Wan-qiang Chen, Sheng-dun Zhao // Defence Technology. – 2019. – Vol. 15. – P.645-654. DOI: 10.1016/j.dt.2019.04.009.

УДК 621.791/.792

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ЗОНЫ СПЛАВЛЕНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ВЫПОЛНЕННОГО ТЕРМИТНОЙ СВАРКОЙ**

Мухамадеев И.М.

*ilshatv09@yandex.ru*

Научный руководитель: Максимов В. К., кандидат технических наук, доцент (Казанский национальный исследовательский технический университет им.

А.Н. Туполева-КАИ)

Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул.К. Маркса,10

Барсукова Е.А.

(ООО "Аттестационный научно-технический центр сварочного оборудования и технологий")

Республика Татарстан, Россия, 420012, г. Казань, ул. Волкова, 79

**Аннотация:** Исследована микроструктура, состав и микротвердость различных зон сварных соединений разнородных металлов, выполненных термитной сваркой с применением разовой и многоразовой тигель-формы.

**Abstract:** The microstructure, composition and microhardness of various zones of welded joints of dissimilar metals made by thermite welding using a single and reusable crucible form are investigated.

**Ключевые слова:** термитная сварка, микротвердость, элементный состав.

Исследованию подвергались приварки катодных выводов электрохимической защиты (ЭХЗ), выполненные термитной сваркой с применением разовой тигель-формы (РТФ) и многоразовой тигель-формы (МТФ).

Приварка выводов осуществлялась к пластине размером 80x80 мм из стали 09Г2С толщиной 10,0 мм. В качестве вывода ЭХЗ использовался медный провод диаметром 3,0 мм марки М1.

Предварительная подготовка поверхности производилась согласно [1].

В данной работе исследован образец с предварительным подогревом основного металла до температуры 20 °С.

При изготовлении образцов для металлографических микроисследований сварные соединения разрезали на две половинки на отрезном станке ТН-100 (фирма Remet, Италия) с водяным охлаждением и запрессовывали в полимерный материал на прессе IPA 30 (фирма Remet, Италия). Шлифование, грубое и тонкое полирование проводили на станке LS2 (фирма Remet, Италия). Травление микрошлифов выполнили раствором Васильева[2].

Исследования структуры проводились методом оптической микроскопии на универсальном металлографическом микроскопе «Axiovert 200MAT» (фирма CarlZeiss, Германия) на поперечных срезах образцов при различных увеличениях.

Внешний вид металлографических образцов и наблюдаемая микроструктура наплавов приведена на рисунке 1.

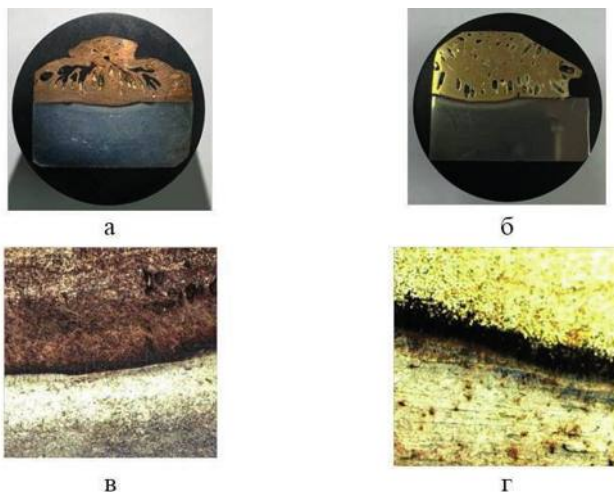


Рисунок 1 – Внешний вид металлографических образцов и микроструктуры наплавов для образца РТФ (а, в) и образца МТФ (б, г)

На срезе образца РТФ наблюдается внутренняя пористость, сосредоточенная в верхней части рассматриваемого среза с размерами пор до 2,0 мм в диаметре и длиной от 0,5 мм до 8,0 мм.

Сечение образца МТФ имеет трапецевидную форму. На срезе наблюдается внутренняя пористость сосредоточенная по всему объему меди. Размер пор составляет до 1,0 мм в диаметре и длиной до 3,0 мм.

Анализ микроструктур показал, что в каждом образце сплавление приварки с основным металлом составляет 100 % (рисунок 1).

Структура меди литая, поскольку сформирована из жидкой фазы. Структура стали соответствует структуре стали 09Г2С в отожженном состоянии.

Медь и сталь образуют зону сплавления толщиной от 10 до 20 мкм. Структура перехода между сталью и медью мелкозернистая и вероятнее всего состоит из кристаллов интерметаллидов FeMn [3].

Элементный состав зоны сплавления был определен на универсальном аналитическом комплексе сканирующей автотомиссионной электронной микроскопии Merlin (фирма CarlZeiss, Германия) с энерго-дисперсионным спектрометром, который позволяет проводить элементный анализ. На рисунке 2 приведены фото поверхности образцов с указанием мест анализа и поэлементный состав спектров в весовых процентах.

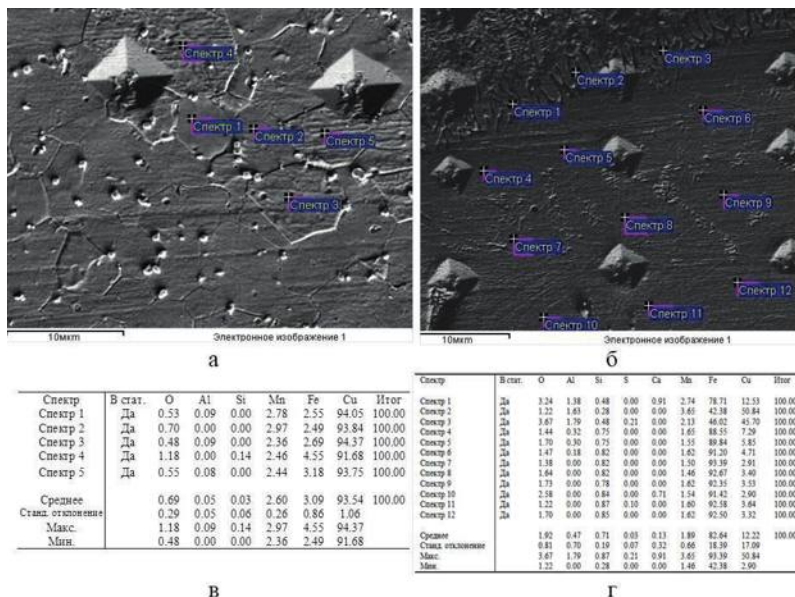


Рисунок 2 – Фото поверхности образцов с указанием мест анализа и поэлементный состав спектров для РТФ (а, в) и МТФ (б, г)

Элементный состав зоны сплавления показан на рисунке 2, в – со стороны меди и г – со стороны железа. В обоих спектрах отсутствует углерод. Очевидно это связано с его малым содержанием в основном металле.

Микротвердость определяли на твердомере-микроскопе НХ1000ТМ (фирма Remet, Италия) с использованием индентора Виккерса при нагрузке 100г и времени нагружения 10 с. Общее количество измерений в каждом образце составляло не менее 5.

Результаты измерения микротвердости двух образцов в разных зонах представлены на рисунке 3.

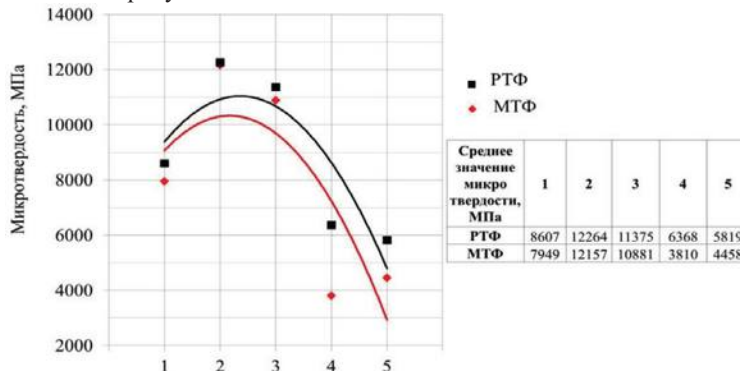


Рисунок 3– Изменение микротвердости по сечению шва:

- 1 - сталь; 2 - переходная зона (сталь - зона сплавления); 3- зона сплавления;  
4 - переходная зона (зона сплавления - медь); 5 - медь

В [3] было предположено, что такую твердость дают интерметаллиды, алюминий – медь. Однако после результатов СЭМ мы имеем, что такую твердость даёт образование интерметаллида ферромарганец (FeMn), который входит в состав термитной смеси, что видно из представленных спектров (рисунок 2 в, г). Линия железа и марганца общая (по две линии на каждом спектре). А более высокая микротвёрдость в зоне сплавления со стороны железа, чем со стороны меди, вероятнее всего объясняется его более высоким содержанием с этой стороны, что и отражает интенсивность спектров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 СТО Газпром 2-2.2-136-2007. «Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных трубопроводов. Часть Ъ». Руководящий документ. [Текст]: – Утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «ГАЗПРОМ» от 28 июня 2007 г. № 171.

2 Максимов В.К., Клабуков М.А., Мухамадеев И.М. Структура и свойства сварного соединения, выполненного термитной сваркой // Материалы IX Международной научно-технической конференции Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2018 (мнтк "имтом-2018"). Казань. 05-07 декабря 2018 г. Сборник докладов. с. 91-92.

3 Мухамадеев И.М., Максимов В.К. Сравнение некоторых характеристик разнородных соединений, полученных двумя способами сварки // «Гагаринские чтения – 2019»: Сборник тезисов докладов. – М.: МАИ, 2019. –с. 911-912.

УДК 621.791.05:620

## ДИАГНОСТИКА МАССИВНОГО ДИФфуЗИОННОГО АППАРАТА RT-5 И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА СВАРКОЙ ПРОБЛЕМНОГО ЛЮКА

Мухамадеев Ильшат Мансурович - магистрант

Загидуллин Айдар Дамирович - магистрант

Максимов Владимир Кузмич - доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н.Туполева, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

(Научный руководитель – доцент, Муратаев Фарид Исхакович)

**Аннотация:** Выявлены многочисленные трещины в диффузионном аппарате RT-5. Причинами послужили ошибки проектирования и некачественный ремонт проблемного люка прямоугольной формы с пересекающимися сварными швами. Разработаны и внедрены два варианта технологии заварки трещи и проблемного люка, исключающие возможность образования сварочных напряжений.

**Abstract:** Numerous cracks were detected in the diffusion apparatus RT-5. The reasons were design errors and poor-quality repair of a problematic rectangular manhole with intersecting welds. Two versions of the technology for welding the crack and the problem hatch were developed and introduced, eliminating the possibility of the formation of welding stresses.

**Ключевые слова:** диагностика и ремонт сваркой массивного аппарата.

Диффузионный аппарат RT-5 в виде сварного цилиндрического сосуда длиной 41,63м диаметром Ø5,6м, вращающийся на 2-х опорах (расстояние между опорами 24,63м), изготовлен из стали 10. Работает под воздействием собственного веса и продуктов переработки свеклы в условиях кислого раствора при температуре 80<sup>0</sup>С. В процессе эксплуатации пластины шнека, расположенные внутри обечайки подверглись электрохимической коррозии и полностью деградировали. При ремонте шнека к обечайке из стали 10 были приварены пластины из аустенитной стали 10X18N10. Последующая относительно непродолжительная эксплуатация привела к образованию 3-х сквозных поперечных трещин разной протяженности, которые возникли в углах прямоугольного люка, находящегося в центре между опорами, кроме того были разрушены 3 шпильки крепления люка. В условиях эксплуатации, трещины, обозначенные «А», «В» и «D» (приведены на схеме рис.1) были заварены. Поперек трещины «В» был приварен уголок, а поперек трещины «D» приварены 3 уголка к обечайке корпуса аппарата RT-5. В ремонтных швах трещин (РШТ) возникли трещины, требующие повторного ремонта (см. рис. 1).

Разрушению заводских и ремонтных сварных швов люка и уголков аппарата RT-5: послужил ряд ошибок: проектных и предшествующих ремонтных работ. Причинами разрушений являются: прямоугольная форма люка, совпадение конструктивного не провара и стыка РШТ [1-4], короткие накладки усиления люка, совпадающие с плоскостью максимальных растягивающих напряжений от деформации изгиба, высокий уровень сварочных напряжений [5-7], в т.ч., связанных с не качественным ремонтом трещин сваркой (РШТ) и наличие пересекающихся швов [8-12] (рис.1).

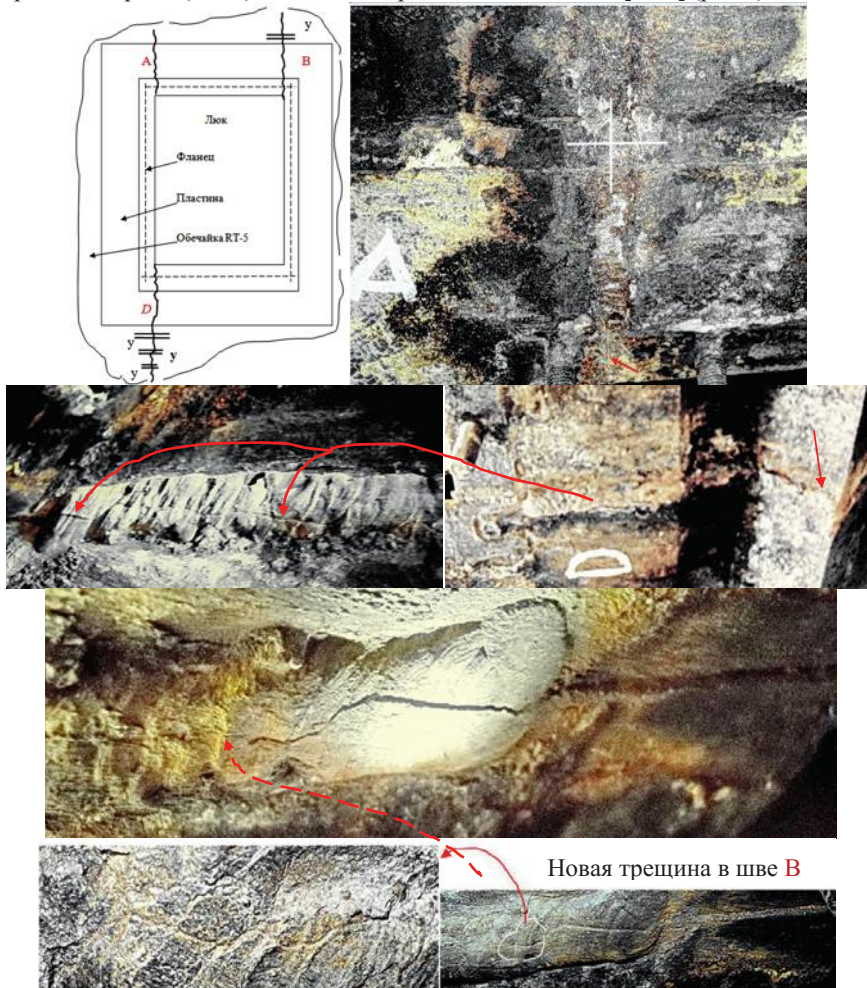
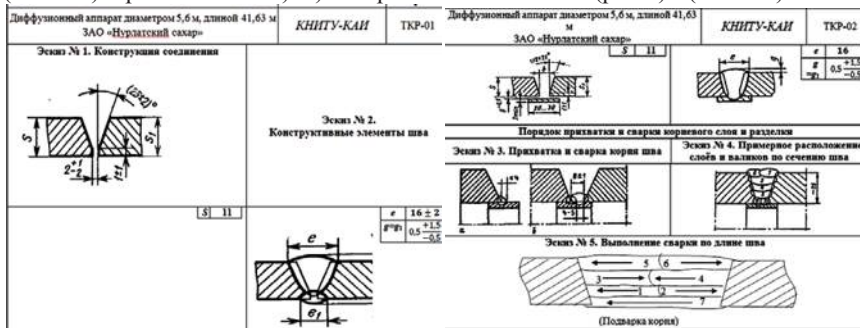


Рис.1 Схема разрушения аппарата RT-5 и фрагменты новых трещин в РШТ проблемного люка и подкрепляющих уголках; пересекающиеся сварные швы

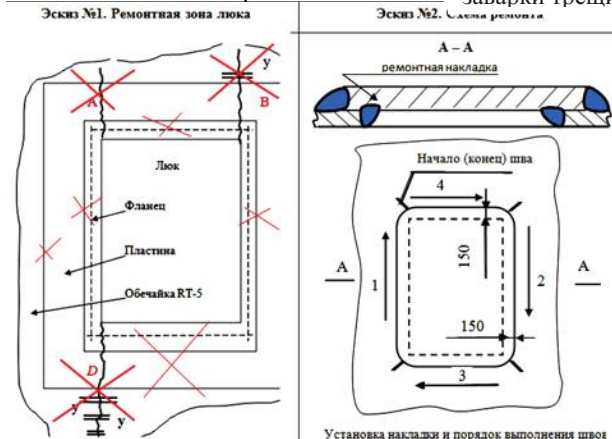
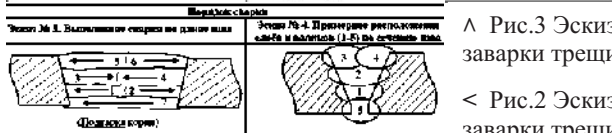


Разработана технология ремонта люка диффузионного аппарата RT-5, состоящая из трех этапов (трех самостоятельных технологий). 1) Удаление поврежденных проектных и старых ремонтных сварных швов 2) Заварка трещин корпуса обечайки по 2-м предложенным вариантам технологии (рис.2 (ТКР-01) и рис.3 /ТКР-02/). 3) Заварка люка заплаткой (рис.4) - (ТКР-03).



▲ Рис.3 Эскизы сборки и порядок заварки трещин по вар.№2 (ТКР-02)

< Рис.2 Эскизы сборки и порядок заварки трещин по вар.№1 (ТКР-01)

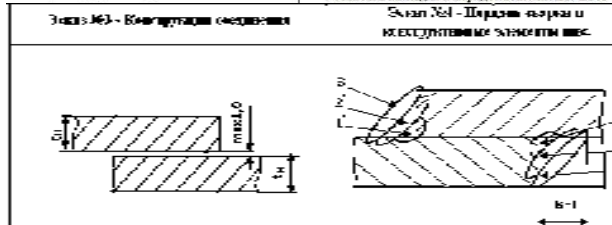


электрод УОНИ-13/45, тип Э 42А

Род тока постоянный, полярность обратная  
Диаметр электрода 3мм  
Сварочный ток:  
- в нижнем положении шва 80÷100А,  
- шов в вертикальном положении 60÷80А,  
- шов в потолочном положении 70÷90А,

Рис.4 Этапы работ по заварке люка (ТКР-03)

1. Удаление рамы люка с внутренней стороны обечайки.
2. Изготовление ремонтной заплатки.
3. Зачистка внутренней поверхности обечайки под заплатку.
4. Монтаж и закрепление заплатки.
5. Сварка и контроль: качества ремонтных швов и герметичности.



## ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ РЕМОНТЕ ТРЕЩИНЫ В ОБЕЧАЙКЕ по вариантам ремонтной сварки швов (РСШ): ТКР-01 и ТКР-02

1. Зачистка дефектной зоны и определение границ трещин в обечайке; с внутренней стороны обечайки обеспечить выжигание газовой горелкой пектиновых веществ свеклы.

2. Подготовка трещины к заварке (засверлить концы и разделить трещины).

3. Заварка трещины: способ сварки РД, положение при сварке: нижнее (Н1), Тип соединения: С21, прихватка: длина 30...50 мм, шаг 250-300 мм, высота 3...4 мм, вид соединения: двухстороннее, направление сварки: от середины к краям обратно - ступенчатым способом.

4. Требования к РСШ: чешуйчатость гладкая и равномерная, глубина и высота впадин <1мм, плавное сопряжение с металлом, не допускаются: трещины, не сплавления, наплывы, прожоги, свищи, подрезы>0,5, наружные поры, цепочки.

### Использованные литературные источники

1. *Муратаев Ф.И.* Типовые и деградационные признаки микроструктуры сварных соединений конструкционных и специальных сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 2. Выпуск. 3. С. 84–89.

2. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчёт и проектирование. Учебник для вузов.- М.: Высшая школа 1990.-446с.

3. *Муратаев Ф.И., Загидуллин А.Д.* Обеспечение стойкости сварных соединений аустенитных сталей к межкристаллитной коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2019. №2. С. 45-50.

4. F I Murataev et al Substantiation of domestic material and welding technology for improving properties and competitiveness of pyrolysis furnace coils 2019 IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering 570 012071.

5. Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф. Адаптация состава, структуры, свойств металла и сварных соединений теплообменников к сопротивлению высокотемпературной газовой коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2015 №3. С. 119-125.

6. *Ф.И. Муратаев, А.Ф. Муратаев* Структура и свойства конструкционной стали после длительного перегрева // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2016, №3. С. 82-86.

7. Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф. Адаптация состава, структуры, свойств металла и сварных соединений теплообменников к сопротивлению высокотемпературной газовой коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2015 №3. С. 119-125.

8. Murataev F.I., Gorbunov A.V. / Consistency of interlayer formation in welded bimetal copper-aluminum // European Researcher, Series A. 2012. № 11-1 (33). P. 1838-1842

9. Ф.И.Муратаев АДАПТАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ» К

ТРЕБОВАНИЯМ ФГОС ВПО 3+ // В сборнике Профессиональные коммуникации в научной среде – фактор обеспечения качества исследований. – М.: Издательство «Перо», 2017.С. 6-21

10. Ф.И. Муратаев, А.Ф. Муратаев Структура и свойства конструкционной стали после длительного перегрева // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2016, №3. С. 82-86.

11. Муратаев Ф.И., Клабуков М.А., Муратаев А.Ф. Деградация состава и структуры сталей и сварных соединений змеевиков парообразования в условиях химической и электрохимической коррозии.// ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2016, №4. С. 44-49.

12. Ф.И. Муратаев, А.Ф. Муратаев РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ДИСЦИПЛИНАХ ВАРИАТИВНОГО МОДУЛЯ МАГИСТРАТУРЫ // В сборнике Профессиональные коммуникации в научной среде – фактор обеспечения качества исследований. – М.: Издательство «Перо», 2017. С.11-16

## **ВЛИЯНИЕ НАЛОЖЕНИЯ ВИБРАЦИЙ НА КАЧЕСТВО УПРОЧНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИДРОЦИЛИНДРОВ**

Никонова Татьяна Юрьевна<sup>1</sup>, Кузьминова Надежда Юрьевна<sup>2</sup>  
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан  
<sup>1</sup>nitka82@list.ru, <sup>2</sup>nadeyak@gmail.com

В статье авторами проводится анализ традиционных существующих методов поверхностного пластического деформирования в сочетании с вибрационной обработкой. Применение вибрационного воздействия обеспечивает комбинирование статического и динамического нагружения очага деформации и позволяет более полно использовать энергию ударного импульса, что обеспечивает лучшее упрочнение поверхностного слоя, в именно, больше глубину и степень упрочнения материала.

In the article, the authors analyze the traditional existing methods of surface plastic deformation in combination with vibration processing. The use of vibration exposure provides a combination of static and dynamic loading of the deformation zone and allows more fully use the energy of the shock pulse, which provides better hardening of the surface layer, in particular, more depth and degree of hardening of the material.

**Ключевые слова** – вибрации, качество, деформирование, поверхностный слой.

Одними из наиболее эффективных способов создания упрочненной структуры в поверхностных слоях деталей являются способы поверхностного пластического деформирования (ППД). Они обеспечивают деформирование поверхностного слоя с показателями качества упрочнения, изменяющимися в довольно широком диапазоне. При использовании ППД глубина упрочнения может варьироваться в пределах 0,1...10мм; повышение твердости упрочненного слоя достигает до 20...120%; сжимающие остаточные

напряжения находятся на уровне 200...1000МПа.

Известные статические способы ППД (обкатывание, раскатывание, выглаживание и др.) предполагают воздействие инструмента на зону деформации неизменным во времени потоком энергии при непрерывном контакте инструмента с поверхностью детали [1, 2]. Статические способы обработки позволяют снижать исходную шероховатость поверхности и получать упрочнение поверхности на небольшую глубину: от нескольких микрон до 1-3 мм [3].

Динамические способы ППД (центробежной, дробеструйной и виброударной обработки, чеканки и др.) используют ударное деформационное воздействие на обрабатываемую поверхность рабочих тел или инструмента в условиях динамического, т.е. прерывистого контакта. Динамические способы могут применяться как для получения неглубокого упрочненного поверхностного слоя толщиной до 0,5 мм и снижения шероховатости (обработка металлическими щетками, центробежная обработка), так и в случаях, когда необходимо получать большую глубину упрочнения до 5...10 мм с формированием шероховатости превышающую исходную (чеканка). К преимуществам основных динамических способов можно отнести возможность упрочнения труднодоступных участков деталей и сложнопрофильных поверхностей [4, 5].

Многочисленные работы в последние годы посвящаются проблемам создания прогрессивных технологических процессов на основе использования импульсного волнового деформационного воздействия. Значительный интерес к виброволновым явлениям в процессах металлообработки обусловлен их широким применением в физике деформационных процессов и все большим распространением волновых и виброволновых методов обработки.

В процессах, основанных или использующих вибрационное воздействие, энергия колебаний сообщается порциями (квантами) по принципу наименьшего действия, имеет нелинейные основные и приводные связи и может рассматриваться как квантовая. Процесс вибрационной обработки характеризуется рядом механо-физико-химических явлений, использование и управление которыми открывает возможности новых технологических применений. Также вибрационные методы обработки способствуют интенсификации целого ряда процессов, повышают уровень механизации и автоматизации многих трудоёмких работ. Методы вибрационной обработки является весьма перспективным особенно на упрочняющих технологических операциях. Вибрационная обработка является новым и прогрессивным направлением в технологиях машиностроения, возможности которого и область применения ещё не полностью выявлены.

Известно, что в процессах волнового воздействия, в контакте инструмента с обрабатываемой поверхностью (материалом, средой) возникают усилия, в сотни раз превышающие усилия, исходящие от источника ударного импульса. Вибрационное ударное воздействие на тела и среды различных характеристик также сопровождается волновыми явлениями (процессами), роль которых при решении технологических задач весьма ошутима. Использование

ударно-волновых процессов для интенсификации упрочняющей и стабилизирующей обработки – одно из направлений вибрационных технологий.

Профессор А.П. Бабичев (Донской ГТУ) является основоположником и руководителем научного направления «Вибрационная технология», автором разработок комплексной научной программы «Вибротехнология». Теоретические экспериментальные исследования А.П. Бабичева и руководимого им коллектива аспирантов, докторантов и сотрудников обеспечили разработку теоретических основ методов виброволновой обработки, основанных на использовании колебаний широкого спектра частот. При этом разработаны пути развития комбинированных процессов обработки. Практическая реализация научных разработок выражена в виде созданных и применяемых в производстве технологических процессов, оборудования и инструментов [6].

Профессор Ю.Р. Копылов (Воронежский ГТУ) является одним из первых разработчиков и исследователей технологии виброударного упрочнения деталей сложной формы поверхностным пластическим деформированием. Научное направление связано с повышением технологической надежности изделий авиационной и ракетной техники при максимальном ограничении массы и ограниченном запасе прочности за счет упрочнения поверхностным пластическим деформированием [7].

Исследования данных ученых выявили, что вибрационное упрочнение является универсальным методом отделочной и упрочняющей обработки деталей различного назначения, особенно для деталей, работающих в абразивных средах. Также известно, что износостойкость поверхности деталей, подвергнутых вибрационному упрочнению, в значительной мере определяется глубиной упрочнённого слоя.

Также, авторами [8] произведена оценка качества поверхностного слоя при поверхностном пластическом деформировании малоуглеродистых стальных и бронзовых образцов в условиях обычного и вибрационного нагружения. Качество обработки оценивали по относительному изменению твердости HV и микротвердости по глубине упрочненного слоя. Было установлено, что глубина деформированного слоя (наклепа) составила при обычном деформировании в 1,49 раза меньше, чем при вибрационном нагружении.

Кроме того, в работе [9] выполнена оценка влияния вибрационной упрочняющей обработки на изменение абразивного и гидроабразивного износа материалов, применяемых для изготовления подшипниковых опор шарошечных долот. Автором установлено, что абсолютный износ образцов, подвергнутых виброобработке, примерно в 2 раза меньше, чем после традиционной цементации. Относительная износостойкость виброупрочненных образцов по отношению к цементованным, составила 210-216%. Отмечено также уменьшение износа в период приработки, что дает возможность сократить период приработки долота и уменьшить число отказов в этот период. Статистическая оценка распределения износа образцов показала уменьшение разброса значений после вибрационного упрочнения почти в 3 раза.

Исследования возможности повышения ресурса работы винтов погружных насосов виброобработкой их поверхности, описанные в [10], также показали, что при использовании вибрации степень упрочнения в 1,1...1,3 раза выше. Кроме того, при виброобработке в упрочненном поверхностном слое создаются значительные сжимающие остаточные напряжения. Также, данный способ ППД придает поверхностному слою ориентированную мелкозернистую текстуру и позволяет образовать микрорельеф, близкий к оптимальному.

Так как оптимизация микрорельефа трущихся поверхностей – наиболее эффективный способ улучшения их прирабатываемости, уменьшения прирабочного и нормального износа, улучшения их противозадирных свойств, то таким образом, два последних рассмотренных способа доказывают эффективность и перспективность использования вибрационной обработки практически во всех областях металлообрабатывающей промышленности

В ходе экспериментов различных ученых с ударными волнами также отмечены искажения структуры или изменение состояния материала при одностороннем нагружении не только на обрабатываемой (нагружаемой) поверхности, но и свободной (тыльной), не воспринимающей нагружение и ударные импульсы, проявление так называемых откольных явлений [11, 12].

В технологии упрочняющей обработки динамическими методами ППД цилиндрических деталей или деталей с другими закрытыми поверхностями обычно упрочнению подвергаются отдельно внешняя поверхность, или при необходимости также отдельно обрабатывается внутренняя. Таким образом, с учетом откольных явлений представляет интерес какие изменения происходят на противоположной стороне, которая подвергается воздействию отраженных волн (волн разгрузки).

Так, например, в работе [12] представлены результаты экспериментальных исследований изменения состояния материала при виброволновом нагружении цельных и составных стальных образцов, в том числе представляющих собой пакет из образцов различных размеров при различном их расположении в пакете. Форма образцов предусматривала возможность нагружения одной стороны и изоляцию противоположной стороны при обработке. В результате было выявлено превышение в 1,5...4 раза микротвердости тыльной поверхности по сравнению с аналогичным значением показателя на лицевой поверхности, что является следствием взаимодействия отраженных и прямых волн. В то же время наиболее заметное повышение микротвердости отмечено у образцов больших размеров и массы.

### Литература

1. A. Rodríguez, L.N. López de Lacalle, A. Celaya, A. Lamikiz, J. Albizuri Surface improvement of shafts by the deep ball-burnishing technique / Surface & Coatings Technology 206 (2012) pp2817–2824.
2. Stefan Dzionk and Bogdan Ścibiorski Hardened Steel Surface Waviness Created by Rolling Burnishing Process/Solid State Phenomena Vols.220-221(2015) pp. 790-795
3. L. Laouara, H. Hamadachea, S. Saadb, A. Bouchelaghema, S. Mekhilefa

Mechanical surface treatment of steel-Optimization parameters of regime / Proceedings of the JMSM 2008 Conference. Physics Procedia 2 (2009) pp1213–1221.

4. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Новые технологии обработки поверхностью пластическим деформированием // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – №8(92). – С.36-42.

5. Gheorghe Nagîț, Laurențiu Slătineanu, Oana Dodun, Margareta Coteață, Irina Beșliu, Vasile Merticaru Surface roughness at vibroburnishing / Proceedings of the 20th International ESAFORM Conference on Material Forming, Published by the American Institute of Physics, AIP Conference Proceedings 1896, 050011 (2017)

6. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.

7. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение: монография. – Воронеж: Изд-во ВГУ МВД, 1999. – 386 с.

8. Дудников А.А., Дудник В.В., Келемеш А.А., Горбенко А.В., Лапенко Т.Г. Повышение надежности деталей машин поверхностным пластическим деформированием / Вібрації в техніці та технологіях, №3 (86), 2017. – С.74-78.

9. Симисинов Д.И. Сравнительная оценка эффективности упрочнения элементов опоры шарошечных долот // Известия УГТУ. 2003. №16. – С.15-18.

10. Ахмедпашаев М.У., Ахмедпашаев М.М., Бегов Ж.Б. Повышение ресурса работы винтовых погружных насосов виброобработкой их поверхностей // Вестник ДагГТУ. Технические науки. Том 43, №4, 2016. – С.17-24.

11. Баскаков В. А. Анализ распространения и динамического воздействия ударных волн на деформируемое твердое тело / В.А. Баскаков // Автореферат дис. д-ра физ.- мат. наук. – Чебоксары. – 1991 г. – С. 37.

12. Бабичев А.П., Мотренко П.Д., Бирюков Д.Д., Максимов Д.В., Твердуха А.О. Распространение ударных волн в сплошной и слоистой среде металлических образцов при виброволновой обработке / Вібрації в техніці та технологіях, №1 (81), 2016. – С.5-10.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ БИМЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ**

Пермяков Д.Н., Пуртова Е.В., Лунёв А.Н.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Набережные Челны, д.68/19 (1/18)

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, г. Набережные Челны, ул. Академика Королева, дом 1

**Аннотация:** В статье рассматриваются материалы и технологии упрочнения распределительного вала путём нанесения биметаллических тонкопленочных износостойких покрытий для уменьшения износа и повышение эксплуатационной надежности.

**Abstract:** The article discusses materials and technologies for hardening the camshaft by applying bimetallic thin-film wear-resistant coatings to reduce wear and increase operational reliability.

**Ключевые слова:** износ, физико-механические свойства, тонкопленочные биметаллические износостойкие покрытия.

**Введение.** Повышение надежности деталей машин и увеличение их ресурса имеют огромную значимость в современных экономических условиях. Взаимодействие трущихся поверхностей проявляется в формировании пятен контактов, в котором участвуют не только поверхности с покрывающими их пленками, но и прилегающие к этим поверхностям материалы. В процессе контакта происходит деформирование материала трущихся поверхностей.

Поэтому проблема разработки и выбора материалов и технологий, позволяющих не только восстанавливать изношенные поверхности деталей, но и улучшать их механические характеристики, является важной задачей машиностроения.

**Цель работы:** изучение возможности восстановления ремонтпригодных деталей путём нанесения тонкопленочных биметаллических износостойких покрытий.

Одним из основных направлений повышения износостойкости распределительного вала является увеличение его ресурса за счет применения тонкопленочных износостойких покрытий, состоящих, например, из различных тугоплавких соединений: TiN, TiCN, TiAlN, ZrN, ZrCN, ZrHfN, CrN. Свойства данных покрытий хорошо изучены, а сами покрытия активно применяются в промышленности. Одновременно в мировой практике используются многокомпонентные и композитные нанопокртия, уникальность которых заключается в высокой объемной доле границ раздела фаз и их прочности. Это обеспечивает улучшенные физико-механические свойства покрытий, такие как твердость, упругость, усталостная прочность, жаро и коррозионная стойкость.

Исследование влияния карбонитридов титана TiC<sub>x</sub>N<sub>y</sub>, введенных в состав наплавочного материала, представляет интерес в связи с тем, что наличие твердой составляющей в формируемой наплавке определяет их механические свойства, стойкость к абразивному износу, структуру и свойства покрытий в целом. Соотношение количеств тугоплавких компонентов и твердого раствора зависит от концентрации этих компонентов и толщины слоя. Необходимым условием получения твердых износостойких покрытий с высокими прочностными характеристиками – образование прочного твердого раствора с мартенситно-карбидной или дендритной структурой, упрочненной твердыми износостойкими фазами. Для получения износостойкого сплава необходимо также достаточное количество избыточных тугоплавких соединений карбидного типа.

Определяющим фактором максимально допустимого содержания твердой фазы TiC<sub>x</sub>N<sub>y</sub> в связке является качество покрытия. Введение в состав наплавочного материала (C – от 2,9 до 3,5; Si – от 2 до 2,5; Mn – от 1 до 1,5; Cr – от 22 до 27; S – не более 0,035; P – не более 0,04.) не более 7%мас. TiC<sub>x</sub>N<sub>y</sub>



(HV0.06 –3000) не было выявлено трещин и расслоений ни на границе раздела «покрытие-подложка», ни на поверхности наплавки. Структура слоя характеризуется мелкодисперсностью, высокой однородностью, равномерным распределением в металлической связке частиц карбонитридов титана, отсутствием трещин, пор и отслаивания от основного металла [1, с.210].

Использование современных технологий для нанесения тонкопленочных износостойких покрытий для повышения износостойкости деталей газораспределительного механизма является актуальной задачей. При этом использование сложного, требующего высокой квалификации обслуживающего персонала, дорогостоящего оборудования для PVD (англ. physical vapour deposition, напыление конденсацией из паровой (газовой) фазы) или CVD (англ. Chemical vapor deposition — химическое парофазное осаждение) процессов не позволяет наносить тонкопленочные покрытия на крупногабаритные детали. Для этого наиболее рационально использовать без вакуумное, малогабаритное, недорогое и простое в обслуживании оборудование, похожее на известные и широко применяемые сварочные установки. В соответствии с этой концепцией в России разработаны два новых метода без вакуумного нанесения тонкопленочных износостойких покрытий, а именно: высокочастотное плазменное напыление кремний содержащего покрытия и финишное плазменное упрочнение (ФПУ) путем нанесения покрытия на основе карбида, нитрида и оксида кремния [2].

Сравнительные характеристики основных методов нанесения тонкопленочных износостойких покрытий для процессов CVD, PVD и ФПУ приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительные характеристики основных методов нанесения тонкопленочных износостойких покрытий

Характеристика	Метод нанесения покрытия		
	CVD	PVD	ФПУ
Характер непрерывности режима осаждения покрытия	Прерывистый (с обязательными остановками на загрузку (выгрузку), охлаждение и чистку камеры)	Прерывистый (с обязательными остановками на загрузку (выгрузку), охлаждение и чистку камеры)	Непрерывный
Рабочее давление при нанесении покрытия на инструмент	Атмосферное (для CVD) или вакуум (для PECVD)	Вакуум	Атмосферное
Температура инструмента при нанесении покрытия, °С	700-1100 (при CVD-процессах) 400-500 (при PECVD процессах)	200-500	100-120

Максимальные габариты и форма обрабатываемого инструмента	Габариты ограничены размерами реакционных и вакуумных камер. Возможно нанесение на разнотипный инструмент	Габариты ограничены размерами вакуумных камер. Сложность нанесения покрытий на разнотипный инструмент, паяный инструмент, инструмент из разнородных материалов, сложнопрофильный инструмент, на внутренние поверхности, протяженные и глухие полости, отверстия.	Без ограничений
Предварительная подготовка инструмента	Многооперационная подготовка (обезжиривание, виброабразивная обработка, ультразвуковая мойка, промывка, сушка, обезвоживание)	Тщательная многооперационная подготовка (мойка, сушка, обезвоживание, подогрев)	Достаточно является обезжиривание и подогрев до 60-80°C
Толщина наносимого покрытия, мкм	2-10 (покрытия увеличивают радиус округления режущей кромки)	0.1-6 (покрытия толщиной 3-6 мкм увеличивают радиус округления режущей кромки)	0.01-2
Состав наносимого покрытия	NC, TiN, TiCN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiN, TiC, TiCN, TiAlN, ZrC, HfN, HfC, CrN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и др.	На основе карбида, нитрида и оксида кремния
Микротвердость наносимого покрытия, ГПа	20-24	21-35	52
Коэффициент трения	0.4-0.6	0.1-0.5	0.07-0.15
Температура окисления, °C	400-600	400-1100	1100
Остаточные напряжения в поверхностном слое металла	Высокие растягивающие	Растягивающие	Сжимающие
Необходимость проведения термической обработки после нанесения покрытия	Требуется дополнительная термическая обработка для снятия остаточных напряжений	Не требуется	Не требуется

При использовании финишного плазменного упрочнения с нанопокрывтием толщиной 10...200 нм на основе карбонитрида титана TiC<sub>x</sub>N<sub>y</sub> нанесённого без использования вакуума при атмосферном давлении из низкотемпературной плазмы электродугового плазмотрона с генератором плазмохимических реакций.

При котором локальная плазменная струя, содержащая аргон, кремний, углерод, водород, азот и кислород с оптимальными параметрами перемещается вдоль обрабатываемой поверхности по заданной программе, обеспечивая формирование непосредственно на упрочняемой поверхности тонкопленочного износостойкого покрытия требуемой толщины.

Значительным преимуществом новой без вакуумной технологии плазменного нанесения упрочняющего нано покрытия является простота и минимальное время предварительной подготовки обрабатываемых поверхностей – только обезжиривание и подогрев до температуры 50-100°C.

Условия формирования покрытия при без вакуумном плазменном нанесении нано покрытия характеризуются также повышенной адгезией нано покрытия к основе за счет активных хемосорбционных процессов.

**Вывод:** В результате рассмотрения материалов и технологии упрочнения распределительного вала установлено, что нанесение различных биметаллических тонкопленочных износостойких покрытий на основе карбонитрида титана методом финишного плазменного упрочнения (ФПУ) оказывает ключевое влияние на износостойкость изделия. Путем моделирования состава твердых сплавов, наносимых на изношенную поверхность можно добиться существенного увеличения износостойкости распределителей вышедших за пределы последнего ремонтного размера.

#### **Список использованных источников**

1) Пухова И.В. Влияние карбонитридов титана на структуру и свойства сварочных электродов марки Т590 // Пухова И.В., Гальченко Н.К., Колесникова К.А. // Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции. под редакцией А.Ю. Арляпова, А.Б. Кима; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2013. С.209-213

2) Тополянский П.А. Технологии и оборудование для нанесения тонкопленочных износостойких покрытий на режущий инструмент // Научно – технический журнал: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 3 (299) 2013

3) Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986.

### **ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ НАПЛАВКА С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА СВАРОЧНУЮ ВАННУ**

Прияткин Д.В., аспирант кафедры «Оборудование и технология сварочного производства»

Соколов Г.Н., профессор кафедры «Оборудование и технология сварочного производства»

Артемьев А.А., доцент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства»

Лойко П.В., студент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства»

400005, г. Волгоград, пр. В.И. Ленина, д.28 ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

**Аннотация.** В работе рассмотрен процесс электродуговой наплавки с введением ультразвуковых колебаний в сварочную ванну. Представлена схема процесса и предложены оптимальные параметры ввода ультразвуковых колебаний в расплав ванны.

**Abstract.** The paper considers the process of electric arc surfacing with the introduction of ultrasonic vibrations into the weld pool. A process diagram is presented and optimal parameters for introducing ultrasonic vibrations into the molten bath are proposed.

**Ключевые слова:** электродуговая наплавка, ультразвуковые колебания, присадочная проволока, волновод, сварочная ванна.

**Key words:** electric arc surfacing, ultrasonic vibrations, filler wire, waveguide, weld pool.

Электродуговая наплавка – основной процесс восстановления изношенных и упрочнения новых деталей различного оборудования (энергетического, металлургического, нефтехимического и т.д.), позволяющий радикально улучшить свойства рабочей поверхности (повысить износостойкость, коррозионную стойкость и т.д.) [1]. Обработка расплава сварочной ванны колебаниями ультразвукового (от 18 кГц и выше) диапазона – один из технологических приемов, позволяющих повысить эксплуатационные и механические свойства наплавленного металла за счет интенсификации физико-химических процессов: дегазации, диспергирования структуры металла, коагуляции упрочняющих фаз и др.[2].

Несмотря на то, что положительное влияние УЗК на кристаллизующийся металл сварочной ванны известно, данный процесс не нашел широкого применения в промышленности. Это связано как с несовершенством используемых колебательных систем, так и отсутствием эффективных способов введения ультразвука в сварочную ванну.

В работах [3,4] показано, что ввод УЗК в низкотемпературную (вблизи фронта кристаллизации) область сварочной ванны посредством присадочной проволоки позволяет достичь наибольшего эффекта от ультразвуковой обработки металлического расплава. При использовании с этой целью присадочной порошковой проволоки также возможно дополнительное легирование металла и упрочнение его тугоплавкими твердыми частицами.

При ультразвуковой обработке сварочной ванны в различных термических зонах кристаллизующегося расплава могут протекать также разне процессы: диспергирование кристаллов происходит в двухфазной – твердожидкой зоне, а акустические потоки и перемешивание – в жидкой фазе [5].

Цель работы – исследование процесса дуговой наплавки с воздействием УЗК и определение наиболее оптимальной области в сварочной ванне для ввода колебаний.

На рисунке 1 представлена разработанная схема наплавки с введением УЗК в сварочную ванну через присадочную проволоку.

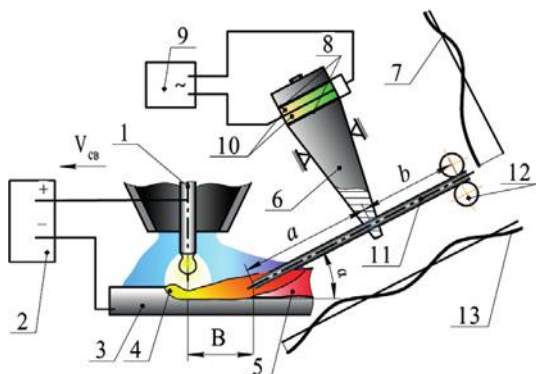


Рис. 1. Принципиальная схема электродуговой наплавки в среде защитных газов с УЗК:

1 – электродная проволока; 2 – сварочный источник тока; 3 – основной металл; 4 – сварочная ванна; 5 – наплавленный металл; 6 – УЗ-концентратор; 7 – распределение амплитуды продольных колебаний; 8 – электроизоляция; 9 – УЗ-генератор; 10 – пакет пьезокерамических УЗ-преобразователей; 11 – присадочная проволока; 12 – ролики подающего механизма; 13 – распределение амплитуды изгибных колебаний;  $B$  – расстояние между присадочной и электродной проволоками;  $a$  – вылет присадочной проволоки;  $b$  – расстояние от места подвода УЗК до роликов подающего механизма;  $\alpha$  – угол наклона присадочной проволоки.

Для снижения потерь УЗК вылета присадочной проволоки должен быть кратен половине длины изгибных волн, а подающие ролики должны крепиться в узле колебаний проволоки.

Угол наклона присадочной проволоки  $a$  составлял  $30^\circ$ . На основании проведенных ранее исследований [6] показано, что при данном угле ввода присадочной проволоки в сварочную ванну обеспечивается эффективное ее плавление в сварочной ванне в широком диапазоне скоростей ее подачи.

Расстояние между электродной и присадочной проволоками  $B$  выбирали из диапазона  $(0,34 \dots 0,47)L$ , где  $L$  – длина сварочной ванны. При таком расстоянии присадочная проволока успевает полностью расплавиться под воздействием тепла металлического расплава ванны, а введение УЗК вблизи фронта кристаллизации оказывает наибольшее воздействие на кристаллизующийся металл.

По данной схеме была выполнена наплавка металла типа 150X15P3T2. Анализ микроструктуры наплавленного металла показал, что под влиянием колебаний происходит диспергирование карбоборидной эвтектики, что снижает вероятность хрупкого разрушения при этом твердость металла изменяется незначительно.

Таким образом, предложенные параметры ввода УЗК посредством присадочной (волноводной) проволоки позволяют наиболее эффективно

воздействовать на микроструктуру наплавленного металла. Данный процесс представляет практический интерес поскольку позволяет получать наплавленный металл с повышенной износостойкостью.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-48-340010*

### Список литературы

1. Капралов, Е. В. Структура и свойства композиционных износостойких наплавов на сталь / Е. В. Капралов, Е. А. Будовских, В. Е. Громов, С. В. Райков, Ю. Ф. Иванов. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – 109 с.
2. Получение износостойких металлопокрытий электродуговой наплавкой плавящимся электродом при воздействии на него ультразвуком / А. В. Кудина, В. В. Кураш, И. В. Редин, В. В. Хроленок // Агропанорама. – 2013. – № 3. – С. 34–38
3. Анализ способов введения в сварочную ванну ультразвуковых колебаний в процессе дуговой наплавки и разработка устройства для его осуществления / Д. В. Прияткин, А. А. Артемьев, Г. Н. Соколов, В. И. Лысак, Р. М. Одногулов, П. В. Лойко // Известия ВолгГТУ. Сер. Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. - Волгоград, 2019. - № 4 (227). - С. 68-75
4. Tao, Y. Grain refining by ultrasonic stirring of the weld pool / Y. Tao, K. Sindo, L. Zhen // Acta Materialia. – 2016. – Vol. 106, № 4. – P. 144-154
5. Пархимович, Э. М. Сварка и наплавка в ультразвуковом поле / Э. М. Пархимович. – Минск : Наука и техника, 1988. – 206 с.
6. Исследование процесса аргонодуговой наплавки плавящимся электродом с подачей присадочной проволоки / А. А. Антонов, А. А. Артемьев, Г. Н. Соколов, В. И. Лысак // Известия ВолгГТУ. Сер. Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – Волгоград, 2016. – 2016. – № 2 (181). – С. 132-135

## ВИБРАЦИОННОЕ ТОЧЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ВВЕДЕНИЯ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ ОДИНОЧНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

Синько Александр Николаевич - к.т.н., доцент

Никонова Татьяна Юрьевна – к.т.н., доцент

Марченко Илья Алексеевич - магистрант кафедры “Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация”

Карагандинский Государственный Технический университет

**Аннотация.** В настоящей статье рассматривается вопрос применения вибрационного воздействия на режущий инструмент в процессе обработки металла с помощью введения в зону резания одиночных акустических импульсов. Авторами статьи разработано устройство для введения в зону резания вынужденных колебаний. Разработанная технологическая оснастка

удовлетворяет ряду технологических и конструктивных требований.

**Abstract.** This article discusses the use of vibrational effects on a cutting tool during metal processing by introducing single acoustic pulses into the cutting zone. The authors of the article developed a device for introducing forced oscillations into the cutting zone. The developed technological equipment satisfies a number of technological and design requirements.

**Ключевые слова:** Вибрационное точение; Акустические импульсы; Колебательный контур; Вибрационная резка.

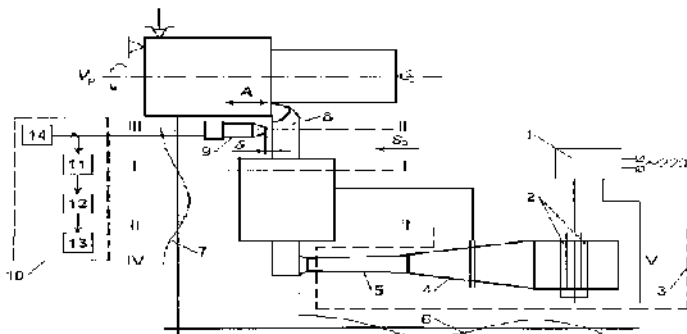
Изыскание новых методов обработки металлов резанием ведется путем изменения характера приложения механического воздействия на срезаемый слой (например, на вибрационное, сверхскоростное), использования качественно новых видов воздействия на материал срезаемого слоя (химического, электрического), применения комбинированных методов обработки, построенных на совмещении равномерного механического воздействия с вибрационным, тепловым, химическим, электрическим воздействиями. Сочетание каждого из этих процессов с другими, а также комбинации из трех или четырех элементов определяют известные к настоящему времени новые методы обработки металлов резанием. Комбинированные методы обработки отличаются наибольшей эффективностью. Значительное место среди них занимает механическая обработка с вибрациями в специальных средах, совмещающая равномерное движение резания с вибрационным воздействием на материал срезаемого слоя в химически активной среде [3].

Для выполнения экспериментальных исследований влияния параметров колебаний на процесс формирования и дробления стружки разработано устройство для введения в зону резания направленных одиночных акустических импульсов с регулируемой скважностью. Импульсное возбуждение акустических колебаний осуществлялось следующим образом. Генератор 1 (рисунок 1) формирует одиночные импульсы, период следования и скважность которых изменяются элементами регулировки, предусмотренными в электрической схеме генератора. При прохождении электрических импульсов возбуждения через пьезокерамические элементы 2 акустического преобразователя 3 происходит изменение их линейных размеров с амплитудой 2-4 мкм. Для усиления амплитуды механических колебаний разработан составной двухступенчатый концентратор, состоящий из конической ступени 4 и экспоненциальной ступени 5. Конструкции ступеней обеспечивают условия, при которых акустическая энергия концентрируется в сужающейся части концентратора и тем самым амплитуда колебаний увеличивается. Расчет конструктивных параметров ступеней концентратора выполнен по методике [1]. Волна сжатия-растяжения 6 частиц среды преобразователя 3 передается частицам среды режущего инструмента 8, по которому начинает распространяться изгибная ударная волна 7. Максимальной амплитуды изгибная волна достигает на вершине режущего инструмента. Изменение амплитуды подводимых импульсов осуществляется посредством замены

ступеней концентратора 4 и 5. Режущий инструмент 8 устанавливается в резцедержателе станка и закрепляется в сечениях I-I и II-II (в этих сечениях амплитуда колебаний равна нулю). Для обеспечения требуемого акустического контакта концентратор 3 жестко соединен с режущим инструментом 8 в сечении ввода акустических колебаний IV-IV. Для контроля амплитуды задаваемых одиночных акустических импульсов была разработана измерительная система, состоящая из бесконтактного индуктивного трансформаторного преобразователя (БИТП) 9, соединенного с измерительным блоком 10. Преобразователь БИТП 9 устанавливается вблизи режущей кромки резца 8 с зазором равным 0,1-0,2 мм на участке амплитуда колебаний которого функционально связана с амплитудой колебаний вершины режущей кромки (сечение III—III). С помощью внутреннего шунта производится его настройка. При вводе акустических импульсов на выходе БИТИ получает электрический сигнал, пропорциональный изменению зазора  $S$ , который модулируется изгибными колебаниями контролируемого участка резца. Выходное напряжение с БИТИ выпрямляется амплитудным детектором 11. На фильтре 12 отфильтровывается несущая частота, и сигнал, пропорциональный амплитуде колебаний, регистрируется на экране электронного осциллографа 13. Использование электронного осциллографа позволило значительно упростить измерительную систему, поскольку он имеет встроенный усилитель, полосу пропускания до 1 МГц, и все метрологические параметры зависят только от параметров входного сигнала.

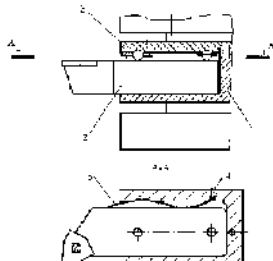
Для экспериментальных исследований влияния интенсивности возбуждаемых в зоне резания колебаний на технологические параметры обработки, разработано специальное устройство (рисунок 2), состоящее из державки 1, закрепляемой в резцедержателе токарно-винторезного станка, в которую устанавливается стандартный упорно-проходной резец 2. Колебания возбуждаются и поддерживаются посредством упругого элемента 5, создающего в направлении движения подачи наименьшую регулируемую жесткость и размещенного между резцом 2 и корпусом державки 1. Ограничение амплитуды колебаний достигается за счет нелинейной характеристики упругих элементов 5 (рисунок 2) и регулируется посредством изменения их жесткости (заменой упругих элементов 5 и винтом 4). При этом колебания возбуждаются в заданном направлении вполне автономно и независимо через несколько секунд с начала процесса резания.





1 - генератор импульсов; 2 - пьезокерамические элементы; 3 - акустический преобразователь; 4 - конический концентратор; 5 - экспоненциальный концентратор; 6 - волна сжатия растяжения, распространяющаяся по длине преобразователя; 7 - акустическая изгибающая волна, распространяющаяся по инструменту; 8 - режущий инструмент; 9 - БИТП; 10 - измерительный блок; 11 - амплитудный детектор; 12 - электрический фильтр; 13 - электронный осцилограф; 14 - генератор 3Г12

Рисунок 1 - Схема устройства для возбуждения одиночных акустических импульсов и измерения параметров колебаний



1 - державка; 2 - резец; 3 - крышка; 4 - винт; 5 - упругий элемент

Рисунок 2 - Принципиальная схема устройства для вибрационного точения

Параметры упругих элементов рассчитываются по методике проектирования кантилеверных рессор [2]. Расчетная схема, соответствующая этой методике, представлена на рисунке 3.

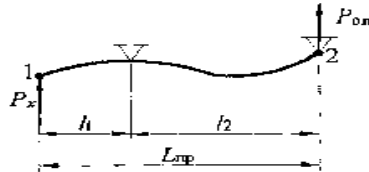


Рисунок 3 Схема для расчета упругого элемента

Технологическая оснастка для осуществления вибрационного точения удовлетворяет ряду требований.

1. Технологические требования:

- обеспечивает надежное стружкодробление;
- обеспечивает заданные параметры точности и качества обрабатываемых поверхностей;
- обладает повышенной стойкостью режущей части инструмента.

2. Конструктивные требования:

- устанавливается и закрепляется в резцедержателе станка без каких-либо изменений конструкции последнего;
- в качестве режущего инструмента используются стандартные токарные резцы с незначительной доработкой державок;
- установка инструментов на станке не изменяет геометрию режущей части;
- содержит минимальное количество мест регулирования [4].

Таким образом, разработанная технологическая оснастка отличается простотой конструктивного исполнения, универсальностью, взаимозаменяемостью и обеспечивает высокую надежность при эксплуатации. Конструкции инструментов для вибрационного точения технологичны по материалоемкости и трудоемкости изготовления, удобны в эксплуатации и обслуживании. Основные комплектующие изделия оснастки унифицированы, режущий инструмент стандартизирован.

**Список использованных источников:**

1. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. «Наука», 2014.
2. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона режущей кромки на процесс резания. Машгиз, 2015.
3. Вибрационное резание металлов. Сборник под ред. Камалова В.С. ЦИНТИМАШ, 2013.
4. Динамика процесса резания. Сборник ЭНИМС. Машгиз, 2016.

## СОВРЕМЕННЫЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ В АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ

Сироткина Лилия Витальевна,  
Казанский государственный энергетический университет  
420066, РТ, г. Казань, Красносельская 51

**Аннотация.** В работе выполнен обзор противокоррозионных методов защиты авиационной техники.

**Annotation.** The review of anticorrosion protection methods for aircrafts performed.

**Ключевые слова:** лакокрасочные и металлические покрытия, ингибиторы.

В авиастроении, при изготовлении конструкций летательных аппаратов используются неметаллические материалы, стали, а также алюминиевые, магниевые, титановые сплавы.

Круглогодичное использование транспортной авиации в различных климатических условиях приводит к возникновению коррозионных поражений, причинами которых являются наличие влаги в замкнутых полостях грузовой кабины, блуждающих токов и локальных напряжений в силовых элементах каркаса [1].

Атмосфера, насыщенная соединениями хлора, сероводорода, в сочетании с высокой относительной влажностью создают благоприятные условия для образования коррозионно-активных электролитов, воздействие которых приводит к развитию биоповреждений и коррозионных поражений в процессе эксплуатации воздушного судна [2].

Анализ коррозионного состояния конструкций, изучение количественных и качественных закономерностей развития коррозионных процессов в различных условиях эксплуатации являются актуальными вопросами [3].

В данной работе представлен обзор работ по антикоррозионным методам защиты авиационной техники.

Наибольшая часть исследований в области авиационной посвящена разработке и анализу новых противокоррозионных покрытий, а разработке новых коррозионностойких сплавов практически не уделяется внимания.

В настоящее время для профилактики возникновения коррозионных поражений ведущие мировые производители авиатехники рекомендуют различные антикоррозионные покрытия на полимерной основе (Cor Van 35 (производство фирмы Zip-Chem Products, США), Dinitrol AV-40 (производство фирмы Dinol, Швеция), ПИНС АТ по ТУ38.401-58-120-95 (производство ОАО НК «Роснефть»–МЗ «Нефтепродукт», Россия) [4].

Для защиты от коррозии изделий авиационной промышленности на стадии изготовления используются различные лакокрасочные, неметаллические неорганические покрытия, однако, опыт эксплуатации воздушных судов, особенно в жестких климатических условиях в районах с морским и тропическим климатом, показал, что эти меры являются недостаточно эффективными. [5].

Распространенным методом защиты является применение ингибиторов, позволяющих снизить скорость коррозии металлов и сплавов, которые контактируют с агрессивной средой в производственных условиях.

Применение ингибиторов не требует принципиального изменения существующих технологических схем, позволяет защищать узлы и детали, находящиеся в эксплуатации длительное время, и наиболее выгодно с экономической точки зрения [5].

Ингибиторы коррозии должны проявлять высокий защитный эффект, сохранять технологический режим в условиях конкретного производства, а также исключить возможность нанесения экологического ущерба [6].

Преимущественно находят применение органические ингибиторы, поскольку они способны образовывать защитные пленки на поверхности металлов.

В ВИАМ [2] на основе инновационной технологии проводилась работа с целью создания профилактического ингибированного состава вместо снятого с производства состава НГ 222АФ. В настоящее время разработана рецептура опытных партий состава, полностью основанного на отечественном сырье.

В работе [7] представлен обзор зарубежных исследований коррозии и средств защиты от коррозии различных металлов и сплавов. Наиболее актуальными направлениями европейских исследований коррозии являются: «зеленые» методы защиты материалов, супергидрофобные покрытия, модифицированные покрытия при добавлении ингибиторов коррозии, самозалечивающиеся покрытия и др.

Таким образом, для защиты металлических поверхностей летательных аппаратов применяются различные антикоррозионные покрытия (металлические, лакокрасочные), композиционные материалы, наноматериалы. Проведенный анализ литературы показывает актуальность вопроса создания и разработки антикоррозионной защиты.

### Литература

1. Аникин И.В., Забелин Д.А. Обеспечение коррозионной защиты силовых элементов транспортной авиации // Инновационная наука. 2018. №2, с.6-7.
2. Чесноков Д.В., Авдюшкина Л.И., Ефимова Е.А. Применение профилактических ингибированных составов для дополнительной защиты самолетов от коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2016. №S2 (44), с.11-14.
3. Рыбков А.В., Герасимова Д.С. Оценка влияния коррозионных повреждений на характеристики длительно эксплуатируемых летательных аппаратов // Решетневские чтения. 2013. №17, с. 375-377.
4. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 412–423.

5. Козлова Л.С., Сибилева С.В., Чесноков Д.В., Кутырев А.Е. Ингибиторы коррозии (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35), с.67-75.

6. Шипигузов И.А., Колесова О.В., Вахрушев В.В., Казанцев А.Л., Пойлов В.З., Лановецкий С.В., Черезова Л.А. Современные ингибиторы коррозии // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2016. №1, с. 114-128.

7. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35), с. 76-87.

УДК 621.799

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ВАРИАНТАМ ТЕХНОЛОГИИ

Солопова Елена Алексеевна

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ. (КНИТУ-КАИ), 420110, Казань, ул.К.Маркса д.10.

Япсаров Евгений Михайлович, Ахтямов Марат Равилович,

Галявиев Рустам Васильевич

ЗАО НИЦ «Инкомсистем», 420095, Казань, ул. Восстания, д.100

**Аннотация:** в работе проведен сравнительный анализ различных вариантов технологий, структуры и свойств сварных соединений полученных механизированной сваркой в смеси инертных и активных газов технологического трубопровода из стали К60  $D_n=1020 \times 30$ .

**Abstract:** the paper presents a comparative analysis of different variants of technologies, structure and properties of welded joints obtained by mechanized welding in a mixture of inert and active gases of the process pipeline made of steel К60  $D_n=1020 \times 30$ .

**Ключевые слова:** технологический трубопровод, высокопрочные легированные стали, механизированная сварка в смеси газов, термическая обработка.

В настоящее время одной из задач нефтегазодобывающей отрасли является снижение потерь при добыче и транспортировке газа. Этим целям служат системы измерения количества и показателей качества природного газа (СИКГ) в состав которых входят: блок измерительных линий (БИЛ), блок измерений показателей качества (БИК), система обработки информации (СОИ), блок –бокс СИКГ, поверочное и вспомогательное оборудование. По величине максимального объемного расхода газа СИКГ относится к I категории, а по назначению к классу «А».

Данная работа посвящена разработке технологии сварки кольцевых стыков основных трубопроводов БИЛ. Расчетное давление трубопровода 9,8

МПа, расчетная температура газа от  $-49^{\circ}\text{C}$  до  $+32,8^{\circ}\text{C}$ , плотность при стандартных условиях  $0,76 \text{ кг/м}^3$ , среда  $-93\%\text{CH}_4$ ,  $7\%\text{C}_2\text{H}_6$  и др. газы

Трубопровод представляет собой сварную конструкцию, состоящую из труб разного диаметра, отводов, тройников и арматуры, соединенных между собой сварными швами и фланцевыми соединениями. Сложность изготовления данной конструкции состоит в том, что она должна надежно работать в условиях Крайнего Севера при минусовых температурах. К основным материалам и сварным швам этих систем предъявляются повышенные требования по прочности, пластичности, ударной вязкости и хладостойкости.

Коллектор основной трубопровода изготавливается из электросварной прямошовной с одним продольным швом экспандированной трубы  $D_n=1020 \times 30$  мм из конструкционной легированной стали 10Г2ФБЮ класса К60 рассчитанной на давление до 9,8 МПа включительно для транспортировки некоррозионноактивного газа. Химический состав и механические свойства трубы по сертификату представлены в таблице №1 и №2.

Таблица 1.

Химический состав основного материала, %.

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	N	V	Nb	Cэ
0,06	1,6	0,25	0,001	0,005	0,19	0,18	0,13	0,035	0,015	0,003	0,001	0,052	0,39

Таблица 2.

Механические свойства основного материала

Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Отношение $\sigma_T/\sigma_B$	Ударная вязкость КСУ $-60^{\circ}\text{C}$ Дж/см <sup>2</sup>
660	540	27,0	0,82	391

Таблица 2.

Сварное соединение основной трубы

Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа	Ударная вязкость КСУ $-60$ , кгс м/см <sup>2</sup> линии сплавления	Ударная вязкость КСУ $-60$ , кгс м/см <sup>2</sup> центр шва
660	302	213

Твердость не более 260 HV10

Механические свойства основного металла соответствуют требованиям ТУ 1381-012-05757848-2005.

В работе использовались следующие сварочные материалы:

1. Сварочная проволока сплошного сечения - ОК AristoRod 12.50 (ESAB)  $d=1,2\text{мм.}$ , AWS A5.18: ER70S-6 неомедненная с обработкой поверхности ASC.
2. Сварочная проволока сплошного сечения - ОК AristoRod 12.64 ( ESAB)  $d=1,2\text{мм.}$ , AWS A5.18: ER70S-6 традиционная омедненная проволока.
3. Сварочная проволока сплошного сечения - ОК AristoRod 13.26 ( ESAB)  $d=1,2\text{мм.}$ , AWS A5.28: ER80S-G неомедненная Ni-Cu легированная

проволока с обработкой поверхности ASC.

4. Электроды - LB-52U d=3,2мм ТУ 1272-001-65218796-2005.
5. Электроды - ОК74.70 d=3.2, d=4,0мм ТУ 1272-015-55224353-2005.
6. Смесь инертных и активных газов 82%Ar +18%CO<sub>2</sub>

Тип сварного соединения С-17 по ГОСТ 14771-76, толщина свариваемых кромок 30 мм.

Сварка велась в 6-7 слоев и в 7-8 проходов с послойной зачисткой поверхности каждого валика, корневой слой, заполнение и облицовка в два прохода. Сварка производилась с предварительным подогревом кромок до 100<sup>+30</sup> °С.

Образцы сваривались по шести вариантам технологий: РД, РД+МП, с предварительным подогревом, с термообработкой и без нее, с различными сварочными материалами.

1.РД. Все слои варилась ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. Корневой слой LB-52U d =3,2 мм, заполняющие и облицовочные слои ОК 74.70 4,0 мм. с предварительным подогревом (T=+100<sup>+30</sup>°C), без термообработки.

2.РД. Все слои варятся ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. Корневой слой LB-52U d =3,2 мм, заполняющие и облицовочные слои ОК 74.70 d=4,0 мм. с предварительным подогревом (T=+100<sup>+30</sup>°C) и последующим высоким отпуском (T= +600°С, 60 мин).

3.РД+МП. Корень шва варится ручной дуговой сваркой покрытыми электродами LB-52 d=3,2 мм, заполнение и облицовка механизированной сваркой сварочной проволокой ОК AristoRod 12.50 d=1,2 мм. в смеси газов 82%Ar+18%CO<sub>2</sub>с предварительным подогревом (T=+100<sup>+30</sup>°C) без термообработки.

4.РД+МП. Корень шва варится ручной дуговой сваркой покрытыми электродами LB-52 d=3,2 мм, заполнение и облицовка механизированной сваркой сварочной проволокой ОК AristoRod 12.64 d=1,2 мм. в смеси газов 82%Ar+18%CO<sub>2</sub> с предварительным подогревом (T=+100<sup>+30</sup>°C) без термообработки.

5.РД+МП. Корень шва варится ручной дуговой сваркой покрытыми электродами LB-52 d=3,2 мм, заполнение и облицовка механизированной сваркой сварочной проволокой ОК AristoRod 12.64 d=1,2 мм. в смеси газов 82%Ar+18%CO<sub>2</sub> с предварительным подогревом (T=+100<sup>+30</sup>°C) и последующим высоким отпуском (T= +600°С, 60 мин).

6.РД+МП. Корень шва варится ручной дуговой сваркой покрытыми электродами LB-52 d=3,2 мм, заполнение и облицовка механизированной сваркой сварочной проволокой ОК AristoRod 12.26 d=1,2 мм. в смеси газов 82%Ar+18%CO<sub>2</sub> с предварительным подогревом (T=+100<sup>+30</sup>°C) и последующим высоким отпуском (T= +600°С, 60 мин).

Сварка и термообработка образцов производились на производственной базе ЗАО НИЦ «Инкомсистем». Термообработка проводилась на индукционной установке УИИТ-50-2,4 по режиму высокого отпуска T= +600°С, время выдержки 1 час. Минимальная ширина зоны равномерного нагрева не менее

двойной толщины стенки в каждую сторону от границы шва. Скорость нагрева при  $T$  свыше  $300^{\circ}\text{C}$  не более  $150^{\circ}\text{C}/\text{час}$ . Скорость охлаждения до  $T=300^{\circ}\text{C}$  не более  $150^{\circ}\text{C}/\text{час}$ , далее под слоем теплоизоляции.

Все сварные швы подвергались следующим видам контроля: ВИК -100%, УЗК -100% и механическим испытаниям: на статическое растяжение- 2 образца, на статический изгиб -2 образца, ударный изгиб -16 образцов (КСУ<sup>-60</sup> -8 образцов, КСВ<sup>-60</sup> -8 образцов), твердость HV10 определялась на макрошлифе на 1 образце по каждому варианту. Механические испытания проводились на базе испытательной лаборатории «Спектр» металлографическое исследование на базе кафедр МС и ПБ КНИТУ-КАИ.

Наилучшие результаты механических испытаний показали образцы, сваренные по технологии варианта №3 –РД+МП проволокой ОК AristoRod 12.50. Результаты механических испытаний сварных соединений, выполненных проволокой ОК AristoRod 12.50 представлены в таблице №3, №4,

Таблица 3.

Статическое растяжение (образцы типа XVI ГОСТ 6996-66) и статический изгиб (образцы типа XXVII ГОСТ 6996-66  $D_{\text{оправки}} = 50\text{мм}$ )

№ обр.	Временное сопротивление разрыву, $\sigma_b$ , МПа	Место разрушения	№ обр	Зона растяжения	Угол Изгиба, Град.	Результат испытаний
1	600,0	осн. металл	3	Бок.изгиб	150	Удов.
2	603,0	осн.металл	4	Бок.изгтб	150	Удов.

Таблица 4.

Твердость HV10

Линия замера твердости	Основной металл	ЗТВ	Металл шва	ЗТВ	Основной металл
Облицовка шва	237;242;238	206;220;227	222;215;216	235;225;207	252;245;249
Корень шва	212;209;205	203;202;206	192;197;190	186;189;191	207;209;206

Таблица 5.

Ударный изгиб (образцы типа IX ГОСТ 6996-66)

№ обр	Ударная вязкость, КСУ <sup>-60</sup> Дж/см <sup>2</sup>	Ударная вязкость, КСВ <sup>-60</sup> Дж/см <sup>2</sup>	Место концентратора
1	142	85	Металл шва (наружная поверхность)
2	181	104	
3	224	193	Линия сплавления (наружная поверхность)
4	271	214	
5	146	102	Металл шва (внутренняя поверхность)
6	154	106	
7	264	229	Линия сплавления (внутренняя поверхность)
8	272	224	

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что сварочные материалы и параметры режима сварки были выбраны правильно.



### Список литературы:

1. ТУ 1381-012-05757848-2005 Трубы стальные электросварные прямошовные наружным диаметром 508-1420 мм для магистральных трубопроводов на рабочее давление до 9,8Мпа.
2. ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах.
3. API Sec.5L. Технические условия на трубы для трубопроводов// Американский нефтяной институт.2004.Изд. №43.
4. СТП 26.260.486-2005. Каталог аналогов импортных и отечественных основных и сварочных материалов, применяемых при изготовлении сосудов, аппаратов и трубопроводов, подведомственных Ростехнадзору.
5. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитных газах.
6. Солопова Е.А.Исследование строения и свойств сварных соединений технологических трубопроводов для Северной климатической зоны. Наука в движении: от отражения к созданию реальности: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции-М.: Издательство «Перо»; 2016. С 95-100.А.

## ИЗУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СТРУКТУРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ АЗОНОЛОМ

Трескова Вера Игоревна к.х.н., старший преподаватель КНИТУ-КАИ,  
г. Казань, Карла Маркса 10

Шипина Ольга Теретньевна д.х.н., профессор каф. ХТВМС

Косточко Анатолий Владимирович д.х.н., профессор каф. ХТВМС,  
г. Казань ул. Карла Маркса 68

В данной работе изучена структурная модификация микрокристаллической целлюлозы азонолом. Методами термогравиметрического анализа, дифференциально-сканирующей калориметрии, микроскопического анализа доказаны структура, полученного модификата, и свойства.

In this work, we studied the structural modification of microcrystalline cellulose with azonol. Using the methods of thermogravimetric analysis, differential scanning calorimetry, and microscopic analysis, the structure of the obtained modifier and properties are proved.

**Ключевые слова:** азонол, микрокристаллическая целлюлоза структурная модификация.

В современной промышленности наряду с металлическими материалами, широкое применение находят материалы на основе природных и искусственных полимеров. Большие объемы производства композиционных полимерных материалов обусловлено дешевизной исходного сырья, малой плотностью, химической стойкостью и возможностью регулирования

технологических параметров и свойств путем их модификации. Основную массу искусственных полимеров получают на основе целлюлозы путем её химической и структурной модификации. Для переработки целлюлозы в материалы (пленки, клеи, волокна), обладающие заданными свойствами, применяют «растворные технологии». Исходная модифицированная целлюлоза имеет сильно ограниченную растворимость, что усложняет способы её переработки. Поэтому вопросы разработки способов растворения и модификации целлюлозы не теряют своей актуальности. Посредством изменения надмолекулярной структуры исходного полимера могут быть получены совместимые или частично совместимые полимерные смеси целлюлозы и низкомолекулярного реагента с регулируемыми свойствами. Придание этих свойств полимеру зависит от степени полимеризации, структуры целлюлозы, свойств модификатора и растворителя [1, 2].

В рамках исследования в качестве модифицирующего микрокристаллическую целлюлозу (МКЦ) реагента был изучен 4-(4-нитрофенилазо)-3-хлорфенол (азонол). Азонол, представляется собой антибактериальное вещество, в молекулах, которых содержится азогруппа, связанная с двумя ароматическими углеводородными радикалами [3]. Целью данной работы являлось определение совместимости целлюлозы с модификатором азонолом для создания термодинамически устойчивого композиционного материала с новыми свойствами. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: подбор растворителя для модификатора; получение целлюлозы, модифицированной азонолом; исследование надмолекулярной структуры методом оптической микроскопии; исследование совместимости полученных продуктов модификации целлюлозы с азонолом с помощью метода термического анализа.

Для подбора растворителя использовали расчетный метод А.А. Аскадского [4]. По данным расчета в качестве растворителя выбран ацетон. Для установления оптимального соотношения в смеси полимер-модификатор были произведены расчеты в программе «ТЕРМО» [5]. По результатам расчета выявлено, что оптимальным соотношением азонол – МКЦ является 50:50, так как температура и удельный импульс в системе азонол - МКЦ увеличивается при добавлении модификатора, удельная теплоемкость сначала падает, а затем резко возрастает при соотношении 50:50, вследствие перестройки надмолекулярной структуры.

Методика структурной модификации МКЦ заключалась в следующем: сначала расчетное количество азонола и МКЦ растворяли в ацетоне, затем тщательно перемешали при комнатной температуре 20-25 °С 5 минут, в результате образовывалась суспензия, далее данную суспензию наносили на фторопластовую пластину, выпавший продукт высушивали при комнатной температуре 24 часа. В результате образовывался порошок красного цвета.

Методами ТГА и ДСК произвели исследование структурной организации и термостойкости полученного композита по сравнению с исходными соединениями. При температуре 25 °С МКЦ претерпевает процесс стеклования. При дальнейшем нагревании, макромолекулы стали более подвижными и,

набрав достаточное количество энергии, переместились в упорядоченные структуры – кристаллы. При переходе в кристаллические структуры они отдали тепло (процесс экзотермический). На кривой ДСК это изображается в виде спада в потоке теплоты или большого провала при температуре 338 °С. При дальнейшем повышении температуры макромолекулы покидают свои места из упорядоченной структуры и начинают свободно двигаться – это происходит процесс плавления, который идет с поглощением тепла, при этом кривая ДСК стремится вверх и достигает пика при температуре 350 °С .

Количество ступеней на ТГ кривой свидетельствует о количестве компонентов в объекте. На первой ступени испаряются легколетучие компоненты, ступень, характеризующая максимальную потерю массы, говорит о разложении основного компонента. Температура максимальной скорости разложения МКЦ, выше, чем температуры максимальной скорости разложения азонола. При содержании азонола 50% происходит снижение температуры термодеструкции МКЦ. Основные пики на дифференциальных кривых ТГА смещается в сторону более высоких температур по мере увеличения в смесях доли модификатора. Таким образом, на основании проведенных исследований структурной организации и термостойкости композиций на основе целлюлозы с азонолом установлено, что в изученных системах наблюдается совместимость с полимером.

Большое количество сведений о молекулярной и надмолекулярной структуре целлюлозы было получено с помощью оптических методов исследования. Микроструктурный анализ показал, что макромолекулы МКЦ склонны к конгломерации с образованием структуры молекулярных образований со средней дисперсностью 60 мкм. МКЦ является высокоплавким веществом белого цвета. При увеличении температуры с шагом 20 °С в минуту появляются структурные элементы (агрегаты) по строению, напоминающие микрофибриллы (рисунок 1).

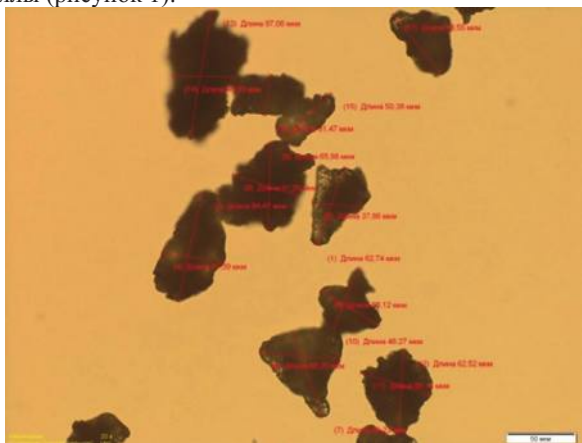


Рисунок 1 - Микрофотография МКЦ при 80 °С

Азонол представляет собой ярко-красный порошок со средней дисперсностью продукта 200 мкм, который склонен к конгломерации за счет электризации частиц. При увеличении температуры с шагом 10 °С в минуту можно увидеть, что образец устойчив до температуры 110°С. А при температуре 130 °С наблюдается некоторое изменение размеров и формы дискретных образований, при нагревании до температуры 170 °С и выше образец начинается плавиться (рисунок 2)

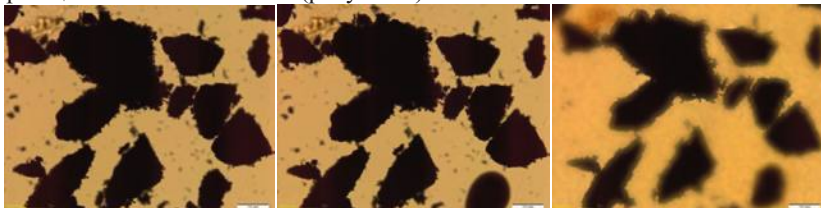


Рисунок 2 – Микрофотографии азонола при 110°С, 130°С и 170°С

Микроструктурный анализ частиц МКЦ модифицированной азонолом показал, что в фибриллах полимера присутствуют частицы модификатора, которые распределены по всему объему, что свидетельствует об образовании новой композиции, состоящей из МКЦ – азонол. Композиция представляет собой ярко-красный порошок со средней дисперсностью 50 мкм. По мере нагревания с шагом 20 °С в минуту картина изменяется. При температуре 140 °С происходит медленное испарение ацетона. А при увеличении температуры до 180 °С происходит фазовый переход – плавление исследуемого образца. Дальнейшее увеличение температуры приводит к плавлению композиции с образованием капель (рисунок 3). Все полученные результаты методом оптической микроскопии сопоставимо с методом термического анализа.



Рисунок 3 – Микрофотографии целлюлозы, модифицированной азонолом при 140°С, 180°С и 200°С

Таким образом, установлено, что в МКЦ присутствуют частицы модификатора – азонола, которые распределены по всему объему, что свидетельствует об образовании новой композиции, состоящей из МКЦ – азонол.

#### Литература:

1. Liebert, T. Cellulose solvents – remarkable history, Bright future, Chapter 1 / T. Liebert // ACS Symposium Series. – 2010. – V. 1033. – P. 3 – 54.

2. Технология полимерных материалов. Под ред. В.К. Крыжановского. С-П: Профессия, 2008, 533 с.

3. Глава 8. Диазо- и азосоединения. ©2019 Интернет-ресурс: <https://docplayer.ru/89389069-Glava-8-diazo-i-azosoeineniya.html>

4. Концепция параметра растворимости и ее применения для прогнозирования растворимости полимеров: Учеб. пособие/ Г.Р. Стрекалова, О.Т. Шипина, А.В. Косточко: Казан. гос. технол. ун-т. – Казань. 2006. – 136 с.

5. Расчет и оптимизация термодинамических характеристик по программе «TERMO»: методическое указание / сост.: И.В. Волошин, Т.В. Чернышева; Каз. гос. техн. ун-т - Казань, 1999г. – 25с.

## МЕМБРАНЫ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЭМУЛЬГИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Фазуллин Динар Дильшатович, Фазылова Руфия Дамировна  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
423810, Россия, г. Набережные Челны, проспект Мира, 68/19

**Аннотация:** Для очистки эмульгированных нефтесодержащих сточных вод образующихся в процессах металлообработки получены мембраны ультрафильтрации с поверхностным слоем из ацетата целлюлозы. Удельной производительность модифицированных мембран в зависимости от количества слоев по водомасляной эмульсии составило от 80 до 900  $\text{dm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{час}$ . Показано, что модификация мембраны приводит к увеличению задерживающей способности нефтепродуктов из эмульсии типа «масло в воде» до 17 %, при этом размер частиц разделяемых мембраной после модификации уменьшился с 450 нм до 207 нм. После очистки нефтесодержащих сточных вод композиционными мембранами концентрация нефтепродуктов не превышает установленные нормативы для сброса очищенной воды в систему канализации.

**Annotation:** Ultrafiltration membranes with a surface layer of cellulose acetate were obtained for the purification of emulsified oily wastewater generated during metalworking. The specific productivity of the modified membranes, depending on the number of layers in the oil-water emulsion, ranged from 80 to 900  $\text{dm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ . It was shown that the modification of the membrane leads to an increase in the retentivity of oil products from an oil-in-water emulsion to 20%, while the particle size separated by the membrane after modification decreased from 450 nm to 207 nm. After treatment of oily wastewater with composite membranes, the concentration of oil products does not exceed the established standards for the discharge of treated water into the sewage system.

**Ключевые слова:** нефтесодержащие сточные воды, эмульсия, ультрафильтрация, мембрана, ацетат целлюлозы.

**Keywords:** oily wastewater, emulsion, ultrafiltration, membrane, cellulose acetate.

Сточные воды, образующиеся в цехах металлообработки машиностроительных предприятий, подвергаются традиционным методом очистки, таких как кислотное разложение, флотация, коагуляция, отстаивание, после которых концентрация нефтепродуктов в очищенной воде остается на высоком уровне, а иногда превышает установленные нормативы сброса. Также при использовании реagentных методов сточные воды подвергаются дополнительному загрязнению. Высокоэффективным методом, позволяющим очистить сточные воды, содержащие эмульгированные нефтепродукты, является процесс мембранного разделения – ультрафильтрация [1].

Объемы образования эмульгированных нефтесодержащих сточных вод на машиностроительном предприятии могут составлять от 2 до 10 м<sup>3</sup>/час, которые в основном являются отработанными смазочно-охлаждающими жидкостями и моющими растворами.

Цель данной работы состоит в улучшении качества очистки нефтесодержащих сточных вод машиностроительного производства путем применения композиционных ультрафильтрационных мембран.

В данной работе описывается способ очистки сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты композиционными мембранами ультрафильтрации политетрафторэтилен-ацетат целлюлозы (ПТФЭ-АЦ). Основными показателями процесса ультрафильтрации являются удельная производительность и задерживающая способность мембран, которая вычислялась как отношение содержания нефтепродуктов (НП) в эмульсии до и после мембранной фильтрации. В качестве эмульгированных нефтесодержащих сточных вод использовали 0,1%-ную модельную водомасляную эмульсию.

Результаты по удельной производительности исходной и композиционных мембран по 0,1 %-ной модельной эмульсии представлены в таблице 1. Для мембранного разделения эмульсии прилагалось давление 0,2 МПа.

Таблица 1 – Удельная производительность мембран ультрафильтрации

Наименование мембраны	Количество слоев ацетата целлюлозы	Содержание ацетата целлюлозы, % (по массе)	Удельная производительность мембран, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> .час
ПТФЭ	-	-	4051
ПТФЭ-АЦ1	1	8	967
ПТФЭ-АЦ2	2	12	552
ПТФЭ-АЦ3	3	15	326

По данным таблицы 1 удельная производительность исходной мембраны микрофильтрации из ПТФЭ составляет 4051 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.час по модельной водомасляной эмульсии. После нанесения первого слоя из ацетата целлюлозы, удельная производительность мембраны снижается более 4 раз, за счет уменьшения размера пор в результате образования слоя ацетата целлюлозы в

поверхности мембраны. С увеличением количества слоев и содержания ацетата целлюлозы наблюдается интенсивное снижение проницаемости мембран. После нанесения трех слоев ацетата целлюлозы удельная производительность составила  $326 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ . В работе [2] получены ультрафильтрационные мембраны путем нанесения поливинилпирридина на поверхность микрофильтрационных мембран из полиакрилонитрила (ПАН-100), удельная производительность которых сопоставима с производительностью мембран ПТФЭ-АЦ и составляет  $250\text{-}360 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$  по дистиллированной воде.

Задерживающую способность мембран оценили по концентрации нефтепродуктов в исходной эмульсии и фильтраатах мембран. Результаты разделения модельной эмульсии композиционными мембранами ПТФЭ-АЦ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Задерживающая способность мембран по показателю нефтепродукты из модельной эмульсии

Мембрана	Содержание ацетата целлюлозы, % (по массе)	Концентрация нефтепродуктов, $\text{мг}/\text{дм}^3$		Задерживающая способность, %
		модельная эмульсия	фильтраты мембран	
ПТФЭ	-	960±96,0	165±17	82,8
ПТФЭ-АЦ1	8		9,8±2,5	98,9
ПТФЭ-АЦ2	12		4,1±1,0	99,6
ПТФЭ-АЦ3	15		3,0±0,7	99,7

По данным таблицы 2, очевидно, что после разделения эмульсии концентрация нефтепродуктов снижается, содержание нефтепродуктов в фильтрате модифицированных мембран менее  $10 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , что не превышает норматив. Установлено, повышение задерживающей способности мембран с увеличением количества слоев ацетата целлюлозы. Определено, что после нанесения слоя ацетата целлюлозы на поверхность мембраны из ПТФЭ задерживающая способность нефтепродуктов из 0,1%-ной модельной эмульсии, повысилась на 17 % и составила 99,7%. Задерживающая способность полученных мембран не уступает аналогичным мембранам применяемых для очистки сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты. Так задерживающая способность нефтепродуктов у композиционной мембраны ультрафильтрации полученной из нанокристаллической целлюлозы составляет 98% [3], у мембраны из полиэфирсульфона модифицированного наночастицами  $\text{SiO}_2$  задерживающая способность по нефтепродуктам также составляет 98% [4].

На рисунке представлены графики распределения размеров частиц дисперсной фазы 0,1%-ной модельной эмульсии до и после фильтрации через исходные и модифицированные мембраны.

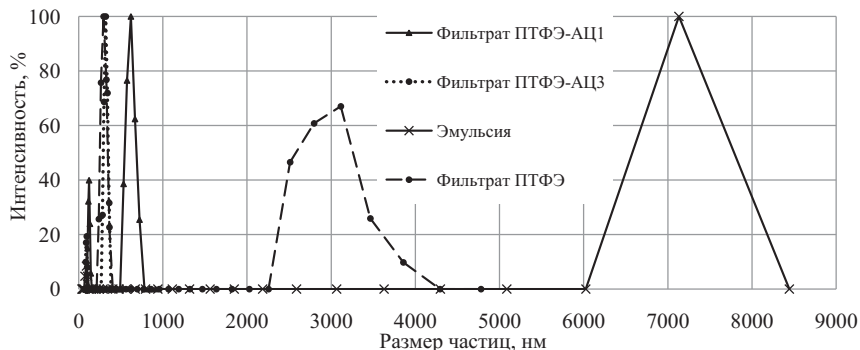


Рисунок – График распределения размеров частиц дисперсной фазы 0,1%-ной модельной эмульсии до и после мембранного разделения

Размеры частиц дисперсной фазы эмульсии типа «масло в воде» распределены в диапазоне от 60-8450 нм [5]. После разделения эмульсии исходной мембраной из ПТФЭ наблюдается уменьшение размеров частиц дисперсной фазы эмульсии в два раза, максимальные размеры частиц соответствуют 4200 нм (рисунок). А после разделения эмульсии модифицированными мембранами с поверхностным слоем из ацетата целлюлозы размеры частиц дисперсной фазы уменьшаются еще интенсивнее с увеличением количества поверхностных слоев. Так размеры частиц дисперсной фазы в фильтрате трехслойной мембраны ПТФЭ-АЦ3 находятся в диапазоне от 77 до 361 нм, следовательно, дисперсная фаза эмульсии в диапазоне размеров частиц от 362 до 8450 нм полностью задерживаются композиционной мембраной.

По результатам исследования показано, что модификация мембраны приводит к увеличению задерживающей способности нефтепродуктов из эмульсии типа «масло в воде» на 17 %, при этом размер частиц разделяемых мембраной после модификации уменьшился с 450 нм до 77 нм. Так же концентрация нефтепродуктов в фильтратах модифицированных мембран не превышает допустимую концентрацию, что позволяет сбрасывать фильтрат в систему централизованной канализации или использовать повторно для технологических нужд предприятия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-1107.2019.8).*

#### Литература:

1. Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В. Разделение водомасляных эмульсий композиционной мембраной с поверхностным слоем из ацетата целлюлозы // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2019. – № 8. – С. 24-28.



2. Melnikova G. B., Zhavnerko G. K., Chizhik S. A. Bilydukevich A. V. Structure and mechanical properties of ultrafiltration membranes modified with Langmuir-Blodgett films // Petroleum chemistry. – 2016. – № 5 – С. 406-412.

3. Moeinzadeh R., Ghadam A.G.J., Lau W.J., Emadzadeh D. Synthesis of nanocomposite membrane incorporated with amino-functionalized nanocrystalline cellulose for refinery wastewater treatment // Carbohydrate Polymers. – 2019. – № 225. – Article № UNSP 115212.

4. Khodadousti. S, Ashtiani F.Z., Karimi M., Fouladitajar A. Preparation and characterization of novel PES-(SiO<sub>2</sub>-g-PMAA) membranes with antifouling and hydrophilic properties for separation of oil-in-water emulsions // Polymers for advanced technologies. – 2015. – Vol. 30. – Issue 9. – P. 2221-2232.

5. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Shaikhiyev I.G. Modified PTFE–PANI membranes for the recovery of oil products from aqueous oil emulsions // Petroleum Chemistry. – 2017. – Vol. 57. – Issue 2. – P. 165-171.

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ НАНОФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Фазуллин Динар Дильшатович, Маврин Геннадий Витальевич  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
423810, Россия, г. Набережные Челны, проспект Мира, 68/19

**Аннотация:** В процессах водоподготовки применение мембранных технологий находит широкое применение. Для удаления ионов тяжелых металлов в процессе водоподготовки получены композиционные мембраны нанофильтрации на подложке из гидрофильного политетрафторэтилена с поверхностным слоем из ацетата целлюлозы. Получены микрофотографии композиционных мембран. Установлена удельная производительность мембран в зависимости от количества слоев ацетата целлюлозы, составляющая от 181 до 1123 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·час при рабочем давлении 0,3 МПа. Задерживающая способность композиционной мембраны по ионам железа равна 76 %, что позволяет использовать данные мембраны в качестве предварительной стадии водоподготовки перед процессом обратного осмоса.

**Annotation:** In water treatment processes, the use of membrane technologies is widely used. To remove heavy metal ions during water treatment, composite nanofiltration membranes were obtained on a substrate of hydrophilic polytetrafluoroethylene and with a surface layer of cellulose acetate. Microphotographs of composite membranes were obtained. The specific membrane productivity was established depending on the number of cellulose acetate layers, ranging from 181 to 1123 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h at a working pressure of 0.3 MPa. The retention capacity of the composite membrane for iron ions was 76%, which allows the use of these membranes as a preliminary stage of water treatment before the reverse osmosis process.

**Ключевые слова:** ионы железа, нанофильтрация, мембрана, политетрафторэтилен, ацетат целлюлозы.

**Keywords:** iron ions, nanofiltration, membrane, polytetrafluoroethylene, cellulose acetate.

Применение мембран с точки зрения водоподготовки имеет повседневный спрос и широко используется в таких отраслях промышленности как химическая, нефтехимическая, газовая, машиностроительная, фармацевтическая, микробиологическая, атомная, электронная, пищевая, в медицине и прочих [1]. Отличительные свойства мембранных процессов разделения водных смесей – простота аппаратного устройства, высокая эффективность, надежность, низкая энергоемкость, минимизация массовых характеристик, эргономичность.

Содержание железа является одной из основных требований к качеству воды. Железо увеличивает показатели цветности и мутности воды, придает ей неприятную красно-коричневую окраску и ухудшает ее вкус, вызывает развитие железобактерий, отложение осадка в трубах и их засорение. По отраслевому стандарту машиностроения для приготовления СОЖ содержание железа должно составлять менее 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, для технологических нужд окрасочного производства менее 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, а в системах оборотного водоснабжения и для паровых котлов 0,03-0,1 мг/дм<sup>3</sup> (по ПБ 10-574-03). Содержание общего железа в питьевых водах должно составлять менее 0,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Цель данной работы заключается в получении композиционных нанофильтрационных мембран водоподготовки для нужд машиностроительного производства.

Для процесса водоподготовки получены композиционные мембраны нанофильтрации. В качестве подложки использовали гидрофильную микрофильтрационную мембрану из политетрафторэтилена (ПТФЭ) марки МФФК-1 (ЗАО «Владипор») со средним размером пор 0,15 мкм. На поверхность подложки наносили поверхностный слой ацетата целлюлозы, в результате нанесения нескольких слоев ацетата целлюлозы получили мембраны ПТФЭг-АЦ, ПТФЭг-АЦ2, ПТФЭг-АЦ3.

Содержание ацетата целлюлозы определяли гравиметрическим методом по исходной массе подложки и после нанесения поверхностного слоя.

Задерживающую способность мембран рассчитывали как отношение содержания ионов железа в воде до и после мембранной фильтрации. Содержание ионов железа в воде определяли методом атомно-абсорбционный спектрометрии с помощью анализатора марки «Квант – Z. ЭТА». Процесс мембранного разделения проводили по модельному раствору ионов железа с концентрацией 1 мг/дм<sup>3</sup> приготовленного из стандартного образца ионов железа.

В таблице 1 представлено содержание ацетата целлюлозы в композиционных мембранах ПТФЭг-АЦ.

Таблица 1 – Содержание ацетата целлюлозы в композиционной мембране

Наименование мембран	Исходная масса мембраны, г	Количество слоев	Содержание ацетата целлюлозы, г	Содержание ацетата целлюлозы, % (по массе)
ПТФЭг-АЦ	0,1641	1	0,0019	1,1
ПТФЭг-АЦ2	0,1620	2	0,0201	11,0
ПТФЭг-АЦ3	0,1739	3	0,0445	20,4

По данным таблицы 1 после нанесения первого слоя на подложку содержание ацетата целлюлозы составило 1,1 %, при последующем нанесении новых слоев содержание ацетата целлюлозы увеличивается на 10 %.

Изменение поверхностной структуры мембраны после нанесения слоя ацетата целлюлозы исследовали методом сканирующей электронной микроскопией, результаты представлены на рисунке.

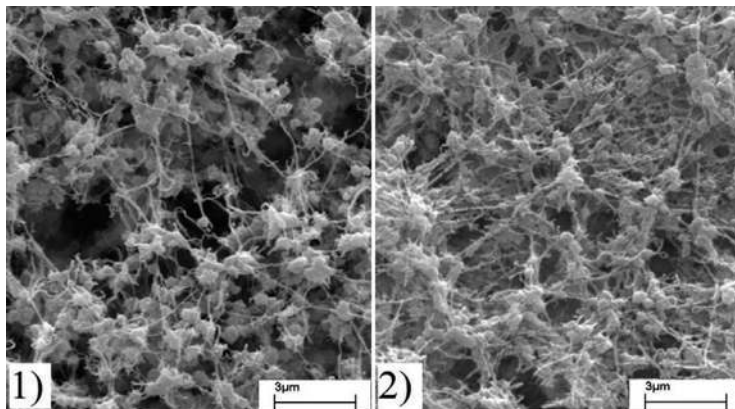


Рисунок – Микрофотографии поверхности мембраны: 1) исходная мембрана из ПТФЭг; 2) композиционная мембрана ПТФЭг-АЦ (увеличение в 4000 раз).

На рисунке 1 представлена исходная мембрана из ПТФЭг, после нанесения слоя ацетат целлюлозы на поверхности мембраны наблюдаются изменения (рис. 2), поры мембраны перекрываются и уменьшаются в размерах.

Удельную производительность мембран устанавливали по модельному раствору ионов железа с концентрацией 1 мг/дм<sup>3</sup>. Для сравнения привели данные по удельной производительности композитной нанофильтрационной мембраны на основе пиперазина марки ОПМН-П производства ЗАО НТЦ «Владипор». Для процесса нанофильтрации прилагалось рабочее давление 0,3 МПа. Температура модельного раствора составила 24° С.

Таблица 1 – Удельная производительность мембран и параметры фильтрации

Наименование мембраны	Количество слоев ацетата целлюлозы	Рабочее давление, МПа	Удельная производительность мембран, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$
ПТФЭг	-	0,19	5661
ПТФЭг-АЦ1	1	0,29	1123
ПТФЭг-АЦ2	2	0,30	283
ПТФЭг-АЦ3	3	0,30	181
ОПМН-П	-	0,41	136

Удельная производительность исходной подложки из гидрофильной ПТФЭг составляет  $5661 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ , после нанесения слоя ацетата целлюлозы наблюдается снижение удельной производительности мембран в 5 раз. Удельная производительность после нанесения трех слоев ацетата целлюлозы составила  $181 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ , что на 25% выше производительности серийной нанофильтрационной композитной мембраны марки ОПМН-П.

Задерживающую способность мембран определили по содержанию ионов железа. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики композиционных мембран

Мембрана	Количество слоев ацетата целлюлозы	Концентрация ионов железа, $\text{мг}/\text{дм}^3$		Задерживающая способность, %
		модельный раствор	фильтрат	
ПТФЭг	-	0,99±0,25	0,79±0,19	20,2
ПТФЭг-АЦ1	1		0,51±0,13	48,5
ПТФЭг-АЦ2	2		0,40±0,10	59,6
ПТФЭг-АЦ3	3		0,24±0,06	75,8
ОПМН-П	-		0,12±0,03	87,8
ОПМН-П [2]	-	25-30	-	98-99

Концентрация ионов железа после мембранного разделения с исходной мембраной снижается на 20%, а после модификации задерживающая способность ионов железа из модельного раствора повышается до 76%, что на 12% ниже задерживающей способности нанофильтрационной мембраны марки ОПМН-П. По литературным данным при более высоких концентрациях ионов железа в исходном растворе достигается более высокая задерживающая способность с мембраной ОПМН-П, до 98-99%. После нанофильтрации модельного раствора мембраной ПТФЭг-АЦ3 и ОПМН-П концентрация ионов железа не превышает предельно допустимую концентрацию для питьевых вод.

Полученные нанофильтрационные мембраны ПТФЭг-АЦ уступают по селективности серийно производимым мембранам, но обладают высокой удельной производительностью при более низком рабочем давлении, что

позволяет использовать данные мембраны в качестве предварительной стадии очистки перед процессом обратного осмоса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-1107.2019.8).*

### **Литература:**

1. Fazullin, D.D., Mavrin, G.V. Formation and properties of a dynamic ultrafiltration membrane // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – № 288.

2. Кудряшов В.Л. и другие. Современные отечественные конкурентоспособные обратноосмотические, нанофильтрационные и микрофильтрационные мембранные элементы, установки и технологии для ликероводочной и спиртовой промышленности // Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2004. – №3. – С. 21-31.

## **ПОВЫШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ИСКЛЮЧАЯ РАСЦЕПЛЕНИЯ ТОКОСЪЕМНИКА ОТ КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

Хафизов Алмаз Анзяпович, Ахметшин Роберт Султанович,  
Валиев Рамиль Ильдарович

Набережночелнинский институт (филиал) КФУ  
423810, РФ, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира 68/19.

**Аннотация.** Предложено техническое решение, которое позволяет повысить маневренность электротранспортного средства, не снижая скорости движения, исключая произвольное расцепление токосъемника от контактной сети на дорожных развязках и поворотах.

**Summary.** A technical solution is proposed that allows to increase the maneuverability of an electric vehicle without reducing the speed of movement, excluding the arbitrary disengagement of the current collector from the contact network at road junctions and turns.

**Ключевые слова:** токосъемник, контактная сеть, аккумуляторная батарея, индукционный датчик, дорожная развязка.

**Введение.** Предлагаемое техническое решение относится к области электротехники, в частности к электротранспортным средствам, которые могут использоваться для перевозки пассажиров по городскому маршруту.

Известно [1 и 2] электротранспортное средство, в частности троллейбус, для перевозки пассажиров по городу. Данное электротранспортное средство содержит электропривод с системой управления скорости движения и две штанги с токосъемниками.

Недостатком [1 и 2] является то, что это транспортное средство ограничено в маневренности, обладает меньшей скоростью движения на дорожных развязках и перекрестках. К тому же штанга с токосъемником, как правило, произвольно расцепляется от контактной сети. Данные недостатки транспортного средства могут стать причиной возникновения заторов на дорогах и замедления общего потока по маршруту движения.

Наиболее близким техническим решением по существу, является [3]. Система электроснабжения троллейбуса имеет тяговое устройство и контактную сеть, которая несет положительный потенциал и соединена с электроприводом. Устройство для съема электрического тока выполнено в виде одного штангового токоприемника.

Недостатком прототипа [3] является то, что на транспортных развязках, поворотах штанговый токоприемник несанкционированно может отсоединиться от контактной сети. На упомянутых местах трассы движения троллейбус замедляет скорость, чем вызывает транспортные «пробки».

**Постановка задачи.** Целью данной работы является повышение маневренности электротранспортного средства, не снижая скорости движения и исключение произвольного расцепления токосъемника от контактной сети.

**Техническое решение.** На первый и второй токопроводниках (2 и 3) в виде двух стержней, сверху шарнирно закреплен токосъемник в виде бруса (1) перпендикулярно контактной сети (рис.2). Данный токосъемник обеспечивает скользящее соединение с контактной сетью (4), а снизу закреплен к изоляционной платформе (5) (рис.1а). Первый и второй токопроводники также имеют пружины (11) разжимающие стержни от платформы. При этом упомянутые брусы соединены между собой изолятором (12), причем оба бруса и изолятор не имеют выступов, а свободные концы бруса загнуты вниз. На крыше электротранспортного средства установлена видеочкамера (6) направленная на верхнюю отметку ромбов. Картинка с видеочкамеры в онлайн режиме транслируется на монитор (7) установленный в кабине перед водителем (рис 1а). На днище, во внешней передней части электротранспортного средства предусмотрен индукционный датчик на металл (8), который отслеживает металлический линейный проводник (9), предусмотренный под покрытием дорожного полотна в оси движения (рис. 1а, б). Предполагается, что металлический линейный проводник будет укладываться на входе и выходе с перекрестка, или дорожной развязки. Длина металлического линейного проводника длиной не менее 50 метров, укладывается на любых сложных участках трассы движения (рис.3). Электротранспортное средство содержит Li-ion необслуживаемую аккумуляторную батарею большой емкости, в герметичном исполнении.

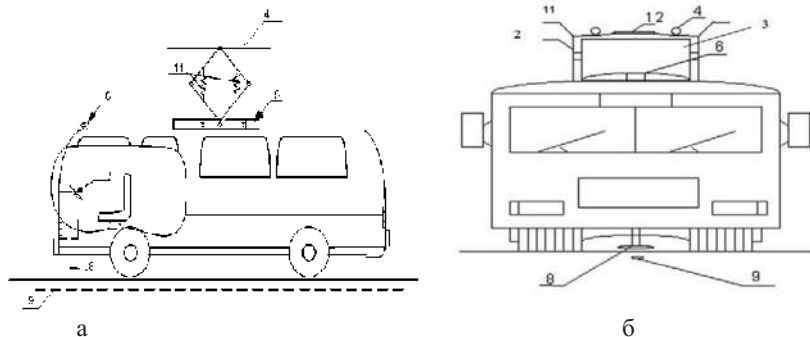


Рисунок 1 а и б. Схема и устройства электротранспортного средства а – вид сбоку; б- вид спереди.

2,3 – токопроводники в виде ромба из стержней; 4 – контактная сеть; 5 – изолированная платформа; 6 – камера видеонаблюдения; 7 – экран видеонаблюдения; 8 – индукционный датчик на металл; 9 – металлический линейный проводник; 11 – разжимная пружина; 12 – изолятор.

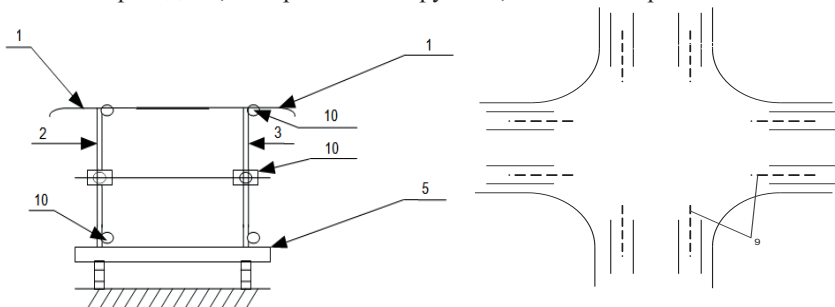


Рисунок 2. Схема соединения токосъемника и токопроводников на крыше электротранспортного средства.

1 – токосъемник в виде бруса; 2,3 – токопроводники в виде ромба из стержней; 5 – изолированная платформа; 10 – шарниры, крепления граней ромба токопроводников и токосъемника.

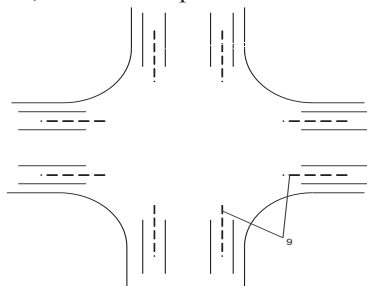


Рисунок 3. Схема расположения металлических линейных проводников предусмотренных под покрытием дорожного полотна в оси движения.

**Принцип работы электротранспортного средства** поясняется рисунками 1, 2, 3 и 4, на которых изображены схемы и устройства электротранспортного средства.

Электротранспортное средство, подъезжая к перекрестку или дорожной развязке с отсутствием на этих участках контактной сети, продолжает движение за счет энергии предварительно заряженных аккумуляторов.

Выезжая с перекрестка или дорожной развязки, автоматически выбирается трасса движения, с помощью индукционного датчика на металл поиска металлического проводника в покрытии дорожного полотна. В этом случае полюса токосъемника вновь контактируют с проводниками контактной сети, о чем водитель с помощью видеонаблюдения удостоверяется.

Замыкание токосъемником двух проводов контактной сети невозможно, так как длина одного полюса токосъемника меньше расстояния между проводниками контактной сети.

При движении на прямых участках трассы происходит зарядка аккумуляторов электротранспортного средства от контактной сети.

В случае несанкционированного отсоединения токосъемника от контактной сети при подъезде к перекрестку или дорожной развязке и при выезде с них, выход водителя с кабины на подключение полюса токосъемника к контактной сети не требуется. Это становится возможным благодаря растягивающим пружинам и свойствам шарнирного крепления (10) граней ромбов токосъемников на его вершинах (рис.2), а также за счет того, что концы контактной сети на упомянутых участках имеет жесткое крепление и загнуты вниз.

**Заключение.** Данное техническое решение обеспечивает реализацию поставленной цели - повышение маневренности электротранспортного средства, не снижая скорости движения и исключение произвольного расцепления токосъемника от контактной сети.

Данное техническое решение защищено патентом полезной модели [4] и может быть реализовано в электротранспортной промышленности.

### Литература

1. «Электрооборудование трамваев и троллейбусов». Корягина Е. Е., Коськин О. А. Учебник для техникумов городского транспорта. - М.: Транспорт, 1982. - 296 с.
2. «Контактная сеть»: [Учеб. для техникумов ж.-д. трансп.] / Ю. И. Горошков, Н. А. Бондарев 399 с. ил. 22 см 3-е изд., перераб. и доп. М. Транспорт 1990.
3. RU 140654 U1 Бюл. № 14 от 20.05.2014. Система электроснабжения троллейбуса.
4. Патент П.М. №171269 от 26.05.2017г. Ахметшин Р.С., Шакиров Ю.И., Ильин В.И., Ахметшин Р.Р. «Электротранспортное средство».



## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ПЛАЗМОЙ С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Хафизов Алмаз Анзяпович, Валиев Рамиль Ильдарович,  
Шакиров Юнус Идрисович, Валиев Рустам Асгатович  
Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт  
423810, г. Набережные Челны, пр. Мира, д.68/19.  
almazok75@yandex.ru

**Аннотация.** Исследованы структура и свойства обработанного плазмой серого чугуна. Плазменная обработка приводит к образованию зоны закалки из жидкого состояния и зоны закалки из твердого состояния, которые отличаются по структуре, микротвердости и абразивной износостойкости. Установлено, что при повышении мощности плазменной струи снижается микротвердость и износостойкость, что объясняется изменениями структуры обработанных зон.

**Abstract.** The structure and properties of plasma-treated gray cast iron were investigated. Plasma treatment results in the formation of a hardening zone from the liquid state and a hardening zone from the solid state, which differ in structure, microhardness and abrasive wear resistance. It was found that with increasing power of the plasma jet, microhardness and wear resistance decrease, which is explained by changes in the structure of the treated zones.

**Ключевые слова:** серый чугун, микроструктура, микротвердость, износостойкость, плазменная обработка.

**Введение.** Улучшение трибологических свойств деталей за счет нанесения покрытий на их поверхность или модификации их поверхностных слоев является одним из перспективных направлений в машиностроении [1]. Это позволяет повысить механические свойства традиционных материалов машиностроения и расширить области их применения. Особый интерес представляет модификация поверхностных слоев серого чугуна, так как он является одним из дешевых и широко применяемых машиностроительных материалов [2].

Необходимый эффект в модификации поверхностных слоев может дать обработка материала концентрированным потоком энергии из-за его локального характера воздействия [3, 4]. Из большого перечня источников концентрированных потоков энергии можно выделить низкотемпературную плазму с использованием жидкостей, так как применение разнообразных жидких сред дает широкие возможности в изменении химического состава, структуры и свойств модифицируемых материалов [5, 6]. Однако недостаточная изученность этих изменений задерживает разработку эффективных технологий, необходимых для внедрения в производство.

**Материалы и методика.** Образцы из серого чугуна СЧ20 были обработаны в плазме электрического разряда между металлическим электродом и электролитом. Обработка проведена плазменной струей с диаметром пятна 6 – 8 мм и мощностью 2 – 6 кВт при скорости ее движения 10 мм/сек по поверхности чугуна. Микротвердость образцов измерена послойно через каждые 30 мкм при нагрузке 0,5 Н на приборе «Durimet». Абразивная

износостойкость чугуна определена царапанием алмазной пирамидой прибора, что моделировало условия взаимодействия поверхности металла с закрепленным абразивом. Характеристикой абразивного износа принят объем вытесненного металла при царапании метастабильных фаз чугуна.

**Результаты и обсуждение.** Из-за локальности воздействия плазмы обработанные зоны охлаждаются с высокой скоростью холодными близлежащими слоями. В результате в центре происходит закалка чугуна из жидкого состояния, а в периферии – из твердого состояния, что приводит к отличию микроструктуры и свойств этих зон. Таким образом, после обработки в чугуне можно выделить две зоны: зону оплавления и зону термического влияния.

Мощность плазменной струи оказывает значительное влияние на геометрические параметры обработанных зон. Изменение мощности от 2 до 6 кВт сопровождается увеличением площади оплавленной зоны от 10 до 30 кв.мм и глубины оплавления от 0,2 до 0,8 мм.

Если в исходном состоянии серый чугун представлял собой равновесную структуру с пластинчатыми графитовыми включениями, то после обработки плазмой в микроструктуре зоны оплавления графит не проявляется – из-за высоких скоростей охлаждения он не успевает выделиться в свободной форме. Металл в оплавленной зоне имеет сильно измельченную структуру: выросшие при кристаллизации расплава мелкие дендриты окружены тонкодисперсным ледебуритом (рисунок 1). Повышение мощности плазменной обработки оказывает некоторое влияние на размеры дендритов (от 1,2 до 1,5 мкм), однако только в интервале от 2 до 4 кВт, далее наблюдается «насыщение» – средний размер дендритов сохраняется.

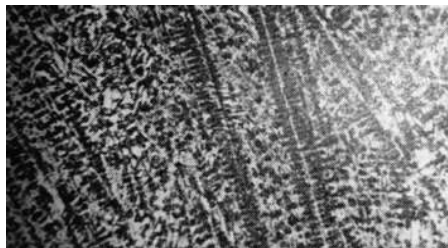


Рисунок 1. Дендритная структура зоны оплавления (x640)

Структура находящейся за пределами оплавления зоны термического влияния плазмы соответствует закаленному состоянию железоуглеродистого сплава. Определяющие микроструктуру процессы происходят в твердом состоянии. В областях, нагретых воздействием плазмы выше критической точки, перлит переходит в аустенит, и при быстром обратном охлаждении происходит мартенситное превращение. Размеры игл этой неравновесной фазы зависят от глубины, что объясняется увеличением размера аустенитных зерен

из-за уменьшения скорости нагрева и охлаждения в глуболежащих слоях чугуна.

Плазменная обработка оказывает значительное влияние на механические свойства серого чугуна. Высокие скорости охлаждения обуславливают образование в обработанных зонах метастабильной фазы – мартенсита, характеризующегося высокими значениями твердости. По сравнению с исходным состоянием чугуна с твердостью 200 HV можно констатировать резкое увеличение микротвердости оплавленной зоны до значения 1100 HV. Увеличение мощности плазменной струи приводит к некоторому уменьшению микротвердости: до 700 HV при максимальном значении 6 кВт. Такой характер зависимости твердости от мощности плазмы обусловлен уменьшением скорости охлаждения из-за увеличения объема оплавленной зоны при повышенной мощности.

Наряду с микротвердостью, одна из важнейших механических характеристик поверхностного слоя материала – износостойкость. Хотя микротвердость является одним из наиболее влияющих на характер абразивного износа параметров, она не может дать полную оценку износу: при одинаковой твердости износостойкость материалов может варьироваться в широких пределах.

Характер сопротивления абразивному износу зон воздействия плазмы зависит от мощности плазменной струи. Максимальное сопротивление абразивному износу имеет зона оплавления чугуна плазменной струей с минимальной мощностью (рисунок 2).

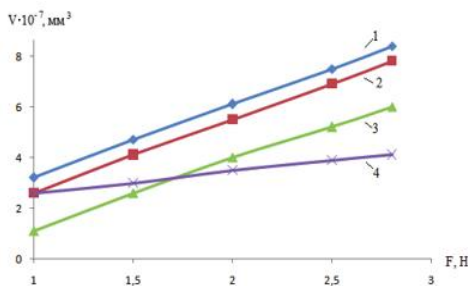


Рисунок 2. Зависимость вытесненного объема  $V$  царапанием чугуна от нагрузки индентора  $F$  в зоне оплавления (1; 3) и зоне термического влияния (2; 4) при обработке плазменной струей мощностью 5 кВт (1; 2) и 3 кВт (3; 4)

Понижение абразивной износостойкости при увеличении мощности плазмы объясняется укрупнением дендритов в структуре. В то же время, при высоких значениях мощности отличительный характер распределения теплового поля и скорости охлаждения в обработанных зонах приводит к более высокому значению износостойкости зоны закалки из твердого состояния по сравнению с зоной оплавления.

Общим для различных зон обработки является линейная зависимость вытесненного объема металла при царапании алмазной пирамидой метастабильных фаз чугуна от прикладываемой нагрузки. Однако необходимо обратить внимание на характер этой зависимости для различных зон воздействия плазменной струи при ее пониженных значениях. Более высокая износостойкость зоны закалки по сравнению с зоной оплавления при больших нагрузках на индентор объясняется тем, что структура ее нижележащих слоев имеет большую пластичность, которая при повышении нормальной нагрузки исчерпывается медленнее, чем у структуры зоны оплавления.

**Заключение.** При обработке серого чугуна плазменной струей в нем образуются зона оплавления и зона термического влияния, в которых происходят процессы закалки из жидкого и твердого состояний соответственно. В результате зоны оплавления и термического влияния отличаются как по структуре, так и по механическим свойствам. При повышении мощности плазменной струи от 2 до 6 кВт объемы этих зон увеличиваются, соответственно уменьшаются скорости их охлаждения прилежащими слоями металла. При этом структура зон становится более равновесным, что и отражается в механических свойствах поверхностных слоев.

#### Литература

1. Буяновский И.А., Самусенко В.Д., Зеленская М.Н. XII Международная научно-техническая конференция «Трибология – машиностроению» // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2019. – № 3. – С. 141-144.
2. Akst E.R. Structural and phase transformations in cast irons when implanted into the surface layers of nitrogen ions. IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 86. – P. 012038.
3. Valiev R. Mössbauer study of surface layers of high-speed steel after laser treatment / V. Bochkov, Sh. Bashkirov, E. Romanov, V.Chistjakov // Hyperfine Interactions. – 1992. – Vol. 69, Iss. 1–4. – P. 589–592.
4. Габдрахманов А.Т., Галиакбаров А.Т., Исрафилов И.Х., Самигуллин А.Д., Габдрахманов А.Т. Повышение эффективности плазменной термообработки металлов // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. – 2016. – Т. 1. – № 7. – С. 287-290.
5. Шакиров Ю.И. Многоканальная плазменная установка с электролитическим катодом / Ю.И. Шакиров, Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Г.Ю. Шакирова // Автомобильная промышленность. – 2011. – №2. – С. 36-38.
6. Khafizov A.A. Determination of regression materials microhardness, processed by low-temperature plasma dependence on process conditions / A.A. Khafizov, Yu.I. Shakirov, R.A. Valiev, R.I. Valiev // Journal of Physics: Conf. ser. – 2017. – Vol. 789(1). – P. 012024.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ СПЛАВА АМГ61 ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Хлыбов Александр Анатольевич<sup>1</sup>, Рябов Дмитрий Александрович<sup>2</sup>,  
Аносов Максим Сергеевич, Шатагин Дмитрий Александрович,  
Ильяхинский Александр Владимирович, Родюшкин Владимир Митрофанович

Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева

603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
hlybov\_52@mail.ru<sup>1</sup>, ryabovdm1996@gmail.com<sup>2</sup>

**Аннотация.** В работе проведены исследования особенностей пластической деформации сплава АМг61 при отрицательных температурах. Проведенное исследование позволило выявить температурные области проявления эффекта Портевена – Ле Шателье, а также показать изменение характера разрушения в зоне с наличием эффекта и без него. Как показало проведенное исследование, наличие эффекта Портевена – Ле Шателье при деформировании сплава АМг61 зависит от температуры испытаний и скорости нагружения.

The paper studies the features of plastic deformation of the АМg61 alloy at low temperatures. The conducted study made it possible to identify the temperature regions of the manifestation of the Porteven - Le Chatelier effect, as well as to show the change in the nature of fracture in the zone with and without the effect. As the study showed, the presence of the Porteven - Le Chatelier effect during deformation of the АМg61 alloy depends on the test temperature and loading speed.

**Ключевые слова:** эффект Портевена–Ле Шателье, прерывистая текучесть, физические механизмы, деформационное старение, отрицательные температуры, экспериментальные исследования.

### **Введение.**

Скачкообразная деформация как проявление неустойчивости пластического деформирования обнаруживается для широкого круга пластичных материалов в определенных температурно-скоростных диапазонах деформирования. Известно, что температура и скорость деформации являются важнейшими параметрами процессов неупругого деформирования. Этот эффект наблюдается для некоторых сталей, сплавов алюминия, титана и меди.

Для каждого состава существует определенная температурно-скоростная область, где деформация неустойчива. Вне этой области наблюдаются обычные плавные кривые деформации. Основной причиной указанного аномального поведения многие исследователи считают процессы диффузии и взаимодействия дислокаций с примесными атомами. В качестве одного из наиболее известных проявлений влияния диффузионных процессов на поведение деформируемого материала является эффект Портевена–Ле Шателье.

Возникающее в процессе пластической деформации неустойчивое, скачкообразное деформирование (эффект Портевена-Ле Шателье) достаточно подробно исследовано в экспериментальном отношении. Обнаружены скачки

нагрузки разного типа [1], выявлен неоднородный характер деформации образца при неустойчивом деформировании установлены области существования эффекта для многих сплавов [2]. Полученные экспериментальные данные в основном используются для описания кривой пластического деформирования, например, для определения границ нестабильного пластического деформирования [3]. Скачкообразное изменение напряжений при пластическом деформировании образцов наблюдается для алюминиевого сплава АМг61, изделия из которого эксплуатируется в сложных коррозионных условиях (морской воды). Сплавы АМг демонстрируют неустойчивую деформацию, связанную с локализацией пластического течения в статических и распространяющихся полосах деформации [4], которые ухудшают качество поверхности промышленных изделий и снижают пластичность сплавов системы Al-Mg. В условиях проявления прерывистой деформации алюминий-магниевые сплавы демонстрируют, как правило, вязкое разрушение.

Цель настоящего исследования – изучение особенностей деформирования сплава АМг61 при испытании на растяжение при пониженных температурах.

#### **Материалы и методы исследования.**

Исследования проводились на плоских образцах (ГОСТ 11150-84) (рис.1.) из алюминиевого сплава АМг61. Химический состав и механические свойства представлены в табл. 1 и табл. 2, соответственно.

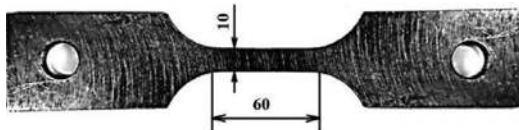


Рисунок 1. Вид исследуемых образцов

Таблица 1. Химический состав и механические свойства сплава АМг61 (ОСТ 1-90014-90).

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Zr	Be	Другие, каждой	Сумма примесей	Al
0.4	0.4	0.1	0.7-1.1	5.5-6.5	0.2	0.02-0.12	0.0001-0.003	0.05	0.1	ост.

Для определения влияния низких температур и силовых воздействий на процессы деформации и разрушения материала проводились испытания в условиях их растяжения. Испытания проводились на разрывной машине модели Tinius Olsen H100KU, в которой реализован жесткий режим нагружения.

Для охлаждения использовали смесь жидкого азота и спирта в различном соотношении. Для регистрации температуры в рабочей зоне образца применяли терпару типа ТХА и АЦП ЦАП ZET Lab 210.

### Экспериментальные исследования и их анализ.

Образцы из сплава АМг61 были испытаны на растяжение. Диаграммы растяжения, полученные при отрицательных температурах показаны на рис. 2.

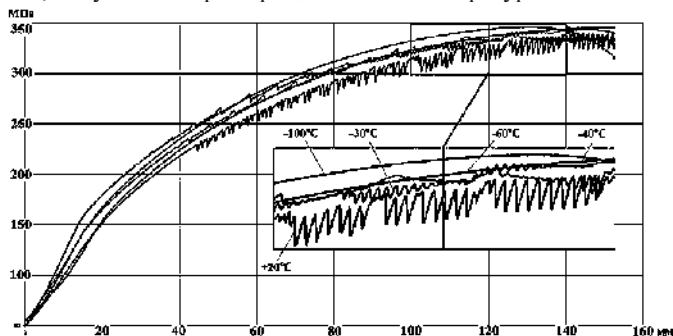


Рисунок 2. Диаграммы растяжения сплава АМг61, испытанного при пониженных температурах

На рис. 3 представлены фотографии изломов образцов, испытанных при отрицательных температурах.

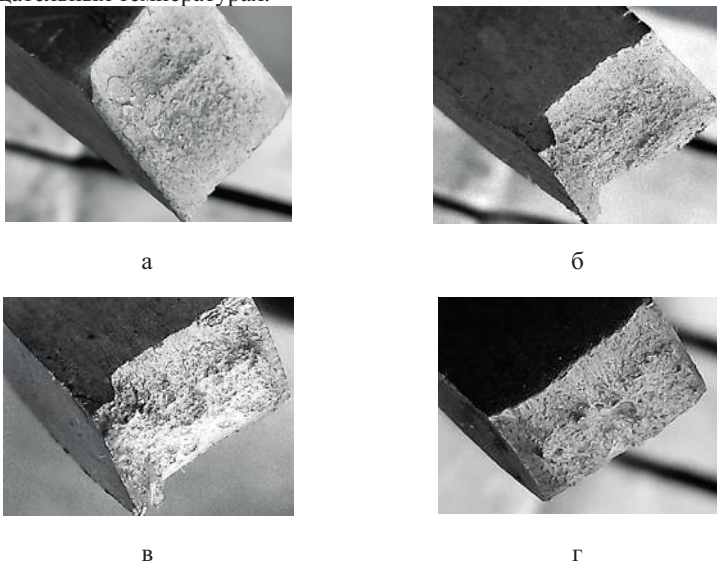


Рисунок 3. Изломы образцов, испытанных при пониженных температурах

а -  $T_{\text{исп}} = -30^{\circ}\text{C}$ , б -  $T_{\text{исп}} = -40^{\circ}\text{C}$ , в -  $T_{\text{исп}} = -60^{\circ}\text{C}$ , г -  $T_{\text{исп}} = -100^{\circ}\text{C}$

Таким образом, представленные на рис. 2, 3 результаты говорят о том, что характерный для сплавов АМг эффект при деформации наблюдается до температуры  $-60^{\circ}\text{C}$ , при этом происходит изменение характера разрушения. В температурном диапазоне  $-40\dots-60^{\circ}\text{C}$  видим перестройку внутренних дислокационных структур, что приводит к смене направления роста магистральной трещины с  $45-55^{\circ}$  до  $90^{\circ}$  по отношению к направлению деформации.

### **Выводы.**

Таким образом, в результате проведенного исследования была выявлена температурная зона существования эффекта Портевена-Ле Шателье для сплава АМг61. Было установлено, что эффект проявляется до температуры  $-50^{\circ}\text{C}$ , ниже которой изменяется характер разрушения сплава АМг61.

*Исследование выполнено по гранту РФФ № 19-19-00332 «Разработка научно обоснованных подходов и аппаратно-программных средств мониторинга поврежденности конструкционных материалов на основе подходов искусственного интеллекта для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов в арктических условиях».*

### **Список литературы**

1. Van Westrum J.S., Wijk A. Determination of the characteristics of Portevin-Le Chatelier bands in Au-145atCu // Acta Met. – 1973. – Vol.21. – № 6. – P. 1079 – 1086.
2. Caddy L.J., Leslie W.C. Some aspects of serrated yielding in substitution solutions of iron // Acta Met. – 1972. – Vol.20. – № 10. – P. 1157 – 1167.
3. Еремин В.И., Еремينا Е.Ф., Степанов А.А., Эффект Портевена-Ле Шателье в сплаве AL-5MG-2LI-0,1ZR // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университет // 2007, №39, с.123-126
4. Михлик Д. В., Шибков А. А. Полосы деформации и разрушение алюминий-магниевого сплава АМг6 / Известия Тульского государственного университета Естественные науки. 2011. Вып.3. С.184–190
5. Панин В.Е. Основы физической мезомеханики пластической деформации и разрушения твердых тел как нелинейных иерархически организованных систем / В.Е. Панин, В.Е. Егорушкин. // Физическая мезомеханика 18 5 (2015) С. 100 – 113.
6. Иляхинский А.В. Статистические модели в задачах зондирования / А.В. Иляхинский, Ю.С. Серeda // Известия ВУЗов, Радиофизика, 1989, т.32, 12, - С.1502-1505.
7. Иляхинский А.В. Распределение Дирихле в задаче оценки состояния металла методом акустического зондирования / А.В. Иляхинский, В.М. Родюшкин // Дефектоскопия. 2015, №7. С.13-17.
8. Горбатенко В.В., Данилов В.И., Зуев Л.Б. Неустойчивость пластического течения: полосы Чернова–Людера и эффект Портевена Ле Шателье / Журнал технической физики, 2017, том 87, вып. 3, с 372 – 378.



## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ

Черноглазов П.А., Ткаченко А.Ю.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.  
Туполева (КНИТУ-КАИ)

Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

E-mail: pashaprostopasha@bk.ru

**Аннотация.** В ходе работы была составлена база данных дефектов для ультразвуковой томографии. В процессе работы был изготовлен 31 образец из ПКМ с различными искусственно созданными производственными дефектами. Были проведены исследования образцов методом ультразвуковой томографии.

**Abstract.** During the work, a database of defects for ultrasound tomography was compiled. In the process, 31 samples were made from PCM with various artificially created manufacturing defects. Ultrasound imaging tests were performed on the samples.

**Ключевые слова:** НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ДЕФЕКТОСКОПИЯ, УЛЬТРАЗВУК, БАЗА ДАННЫХ.

Неразрушающий контроль — контроль надёжности основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов, не требующий выведения объекта из работы либо его демонтажа. Эта процедура является обязательной при изготовлении и эксплуатации различных ответственных деталей летательного аппарата. Неразрушающий контроль позволяет получать дополнительную информацию, прямо или косвенно характеризующую изменение качества контролируемого объекта во времени, исключать на стадии изготовления потенциально ненадежные изделия со скрытыми производственными дефектами, отбирать наиболее надежные детали для работы в особо сложных условиях, а также определять причины возникновения внутренних дефектов, для дальнейшего их устранения. Дефекты ПКМ различаются по: происхождению, расположению в детали и размерам. При изготовлении изделий и конструкций из ПКМ возникновение дефектов может быть обусловлено множеством различных факторов. Различные дефекты в различной степени влияют на физико-механические свойства материала и чаще всего уменьшают его прочность [1]. Типичными производственными дефектами, возникающими при закрытом формировании являются трещины, расслоения, посторонние включения, локальная пористость, неравномерное распределение связующего наполнителя и участки его локальной ориентации, нарушения ориентации наполнителя, внутренние остаточные напряжения, обрывы нитей и волокон [2].

Был изготовлен 31 образец из угле- и стеклопластика. Из них: 9 образцов из препрега HexPly 8552/34%/UD134/AS4–12K/300mm, 5 образцов из препрега ACM 102-G365P(T25), 7 образцов из препрега ACM 102-C200T, 5 образцов из препрега HexPlyM56/40%/193PW/AS4–3K/1070mm, 5 образцов из препрега HexPlyM56/37%/7781/1270mm.

Изготовленные образцы подверглись анализу с использованием ФАР. Неразрушающий УЗ контроль проводился с использованием зарубежного оборудования:

- Дефектоскоп OmniScanMX-2 от японской фирмы Olympus.
- Пьезоэлектрические преобразователи с ультразвуковыми фазированными антенными решетками OlympusNDT 3.5L-64-NW1 с рабочей частотой 3,5 МГц и OlympusNDT 5L-64-NW1 с рабочей частотой 5 МГц.
- Призма из аквалена. Использование призм позволяет обеспечить защиту преобразователя от повреждений, более точную фокусировку луча, а также уменьшение неконтролируемых мертвых зон.
- Система полуавтоматического сканирования Glider. Она позволяет получить координаты в двух плоскостях (ОХ и ОУ).
- Иммерсионная ванна.

Предполагается получить зависимость «AdBr – дефект». Этот выбор основан на влиянии удельного акустического сопротивления дефектов на показания амплитуды эхо-сигнала от них. Максимальную амплитуду эхо-сигнала от КО принимаем за опорную, добываясь ее показания 70-80% от общей высоты экрана А-скана. Очевидно, что кроме материала дефекта на показания будет влиять и размер самого дефекта. Так как меньшие дефекты обнаружить сложнее, то приходится увеличивать усиление УЗ волны.

Вследствие этого наблюдаем уменьшение контролируемого объема за счет увеличения мертвых зон. Однако эта проблема решается при использовании кривых ОЭПО. Из вышесказанного следует, что размер КО для калибровки должен соответствовать минимальному надежно обнаруживаемому дефекту в детали.

Для создания базы данных использовались образцы без сторонних дефектов (либо с их малым количеством), в которых достаточно отчетливо видны искусственные.

В результате анализа изготовленных образцов можно сделать следующие выводы:

- Для обнаружения дефектов в изделиях из ПКМ необходимо наличие четко выраженного донного сигнала. Данное условие зависит от природы материала и качества его изготовления.
- УЗ томография не всегда позволяет выявить ряд дефектов, таких как «инородное включение (металлическое)» и «инородное включение (неметаллическое)», соответствующие II и III допустимым уровням дефекта по ГОСТ Р 56975-2016 «Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов». Такое явление может возникать в виду следующих причин:
  1. Малый размер дефектов. На основе экспериментальных данных было выявлено, что наиболее оптимальным размером выявляемых дефектов для изделий из композитных материалов является размер более 2х мм.
  2. Неоднородность материала. В некоторых композитных изделиях, имеющих достаточно низкую плотность упаковки, УЗ волна полностью

рассеивается, что ограничивает использование данного метода для их контроля.

- Использование ГОСТ Р 56975-2016 «Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов», применительно к УЗ дефектоскопии, является (по большей части) нецелесообразным, однако
- размер дефектов до 2 мм. можно обнаружить с помощью компьютерной томографии. Несмотря на то, что применение рентгеновской томографии позволяет решить проблему обнаружения столь небольших дефектов (до 0,8 мм.), ее использование ограничено в виду ряда причин: дорогая стоимость установки и необходимого компьютерного оснащения, а также ограничения по габаритам изделия.
- Формование препрега в оборудовании, не предусмотренном для данного материала, вызывает появление следующего рода дефектов: пористость и расслаивания.
- Неразрушающий контроль методом рентгеновской КТ(при построении только 2D томограмм) не позволяет выявить воздушные включения.
- Определение размера дефектов при использовании УЗК затруднено в связи с возникновением эффекта рассеивания УЗ волн.
- Для определения дефектов в реальной конструкции рекомендуется первичный анализ ультразвуковой томографией с определением наличия областей возможных дефектов путем затухания эхо-импульсов. В случае обнаружения зон дефектов, при необходимости, исследовать методом рентгеновской КТ.
- Дефекты типа «трещина» и «расслаивание внутреннее» можно определить не только по показаниям AdBg, но и по геометрии дефектной области.

#### **Список использованной литературы**

1. Каневский, И.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб.пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007.
2. Мурашов, В.В. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из ПКМ и методы их выявления. / [Электронный ресурс] В.В. Мурашов, А.Ф. Румянцев // Контроль. Диагностика. – 2007.

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕЦИЗИОННОЙ КАЛИБРОВКИ ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА ШЕСТЕРЕН

Шибиков Владимир Георгиевич, Панкратов Дмитрий Леонидович,  
Хайруллин Руслан Айратович, Низамов Равиль Салимович,  
Низамова Лилия Миннуровна,

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета, г. Набережные Челны пр. Мира 68/19, 423812,  
Республика Татарстан, Россия, [vladshib50@gmail.com](mailto:vladshib50@gmail.com), [pankratovdl@gmail.com](mailto:pankratovdl@gmail.com),  
[guanava@mail.ru](mailto:guanava@mail.ru), [nizamovtrs@yandex.ru](mailto:nizamovtrs@yandex.ru)

**Аннотация.** Описаны основные факторы, определяющие точность и качество зубчатого венца при прецизионной калибровке. Предложены соответствующие схемы АСУ.

**Abstract.** The main factors that determine the accuracy and quality of the ring gear during precision calibration are described. The corresponding ACS schemes are proposed.

**Ключевые слова:** калибровка, зубчатый венец, автоматизация.

В настоящее время в процессе прецизионной калибровки зубьев шестерен отсутствуют элементы автоматизации. Операция производится работником на прессе, а контроль качества осуществляется периодически, путем замера готового изделия. Такой технологический процесс оставляет большую вероятность изготовления несоответствующей продукции и не позволяет управлять процессом калибровки.

Согласно оценке, осуществленной экспертами в матрица значимости параметров системы {М,З,О,Т,И,П,С} для холодной калибровки [1], основными факторами, оказывающими наибольшее влияние на точность и качество изделий полученных прецизионной калибровки, являются:

1. Точность изготовления штамповой оснастки;
2. Упругие деформации штампа;
3. Механические свойства (прочность, твердость) полуфабрикатов;
4. Точность высотных размеров штампованных полуфабрикатов перед операцией калибровки.

Рассмотрим вариабельность и возможности управления каждым фактором.

1. Точность изготовления штамповой оснастки задается конструктором на этапе проектирования штамповой оснастки. Согласно результатам 3Dсканирования штамповой оснастки (рисунок 1) фактическое отклонение профиля в зоне зубьев в штамповой оснастке составило менее 0,01 мм. Рассмотренный фактор при высокой значимости управляется превентивно и не требует адаптивного управления в процессе штамповки.

2. Возможность определения величин упругих деформаций при помощи имитационного моделирования позволяет учесть этот фактор на этапе проектирования оснастки путем корректировки геометрии профиля зуба. Следовательно, этот фактор не требует адаптивного управления.

3. Механические характеристики калибруемых полуфабрикатов зависят от химического состава металла, который варьируется в пределах нормативной документации, и режимов термической обработки. При изготовлении опытной партии сателлитов с калиброванным зубом были проведены замеры твердости после термической обработки:

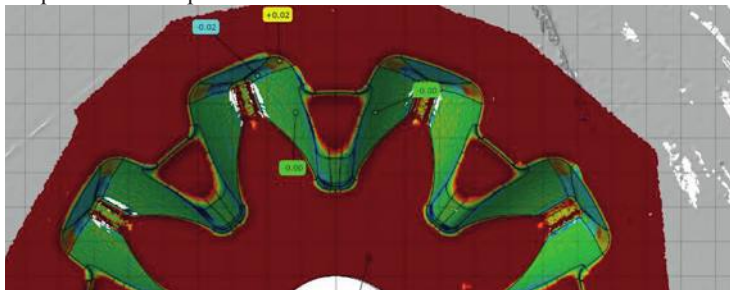


Рисунок 1 – Результаты 3D сканирования штампа для калибровки

Диапазон изменения твердости для поковок составил 162– 187 НВ для сателлитов из стали 18ХГР и 229 – 241 НВ для сателлитов из стали 25Х5М.

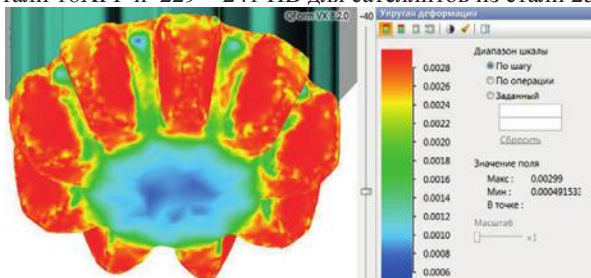


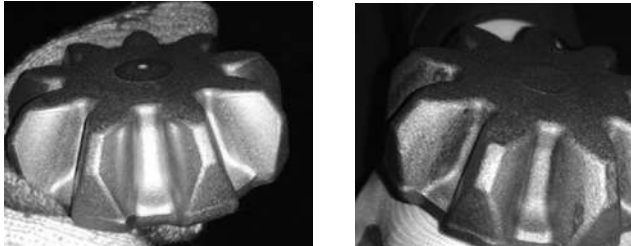
Рисунок 2 – результат моделирования упругих деформаций после калибровки сателлита с твердостью 204НВ.

Результаты имитационного моделирования в программе Qform (рисунке 2) показали, что упругие деформации поковки при минимально допустимом, согласно чертежа детали, значении твердости 156НВ составляет 0,132 мм; при максимально допустимом значении 207НВ составляет 0,154 мм. Таким образом, разность упругих деформаций поковки во всем допустимом диапазоне твердости составляет 0,022 мм. Учитывая, что допуск на поверхность пятна контакта составляет 0,1 мм, изменение механических свойств полуфабриката вносит погрешность более 20% поля допуска.

4. При горячей объемной штамповке поковок шестерен на точность получаемых изделий влияет множество факторов.[2,3]. Вследствие этого возникает существенный разброс по высотным размерам полуфабрикатов перед калибровкой, который составляет 0,9 мм. При проведении прецизионной калибровки указанный разброс оказывает существенное влияние на качество калиброванной поверхности. На рисунке 3(а) отчетливо виден след от

калибровочного инструмента на поверхности зубьев. На рисунке 3(б) калиброванное пятно сформировалось не по всей требуемой поверхности, след от инструмента неравномерный.

Исходя из проведенного анализа, основными факторами влияющим на точность и качество калибровки являются точность высотных размеров и механические характеристики горячештампованного полуфабриката.



а)

б)

Рисунок 3 – результаты калибровки зубьев поковки «Сателлит»

а) высота горячештампованного полуфабриката 33,5 мм.

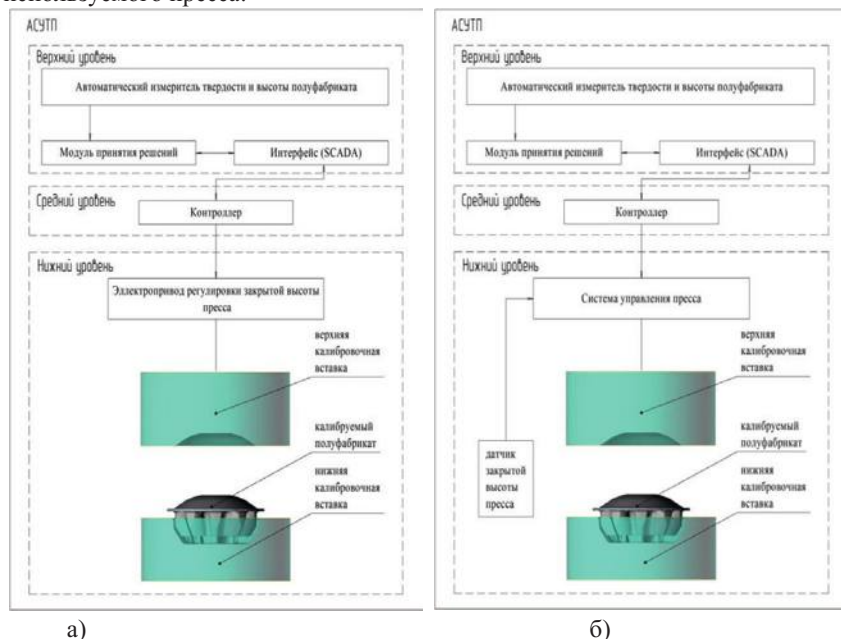
б) высота горячештампованного полуфабриката 33,0 мм.

Автоматизация подналадки (настройки) калибровочного пресса[4]в процессе работы в зависимости от высотных размеров и механических характеристик позволит решить задачу обеспечения стабильности качества производимой продукции. Замеры твердости и высотного размера полуфабриката предлагается производить на автоматической установке, состоящей из следующих модулей: автоматизированный фрезер (для подготовки поверхности для замера твердости), автоматический твердомер (для определения значения твердости), -оптический измеритель высоты(для определения значения высотного размера полуфабриката).

Структурная схема автоматизированной системы управления процессом прецизионной калибровки шестерен зависит от типа пресса используемого при калибровке. Предлагаемый АСУ ТП построен по трехуровневому принципу. Верхний уровень представляет собой интеллектуальную надстройку в виде модуля принятия решений, осуществляющего коррекцию управления процесса калибровки в зависимости от данных, получаемых с автоматического устройства для замера твердости и высоты полуфабриката. На среднем уровне контроллер на основе данных о состоянии контролируемых параметров выдает сигналы управления исполнительным устройствам пресса. На нижнем уровне осуществляется согласование сигналов датчиков с входами устройства управления, а также вырабатываемых команд с исполнительными устройствами.

**Выводы.** Описаны основные факторы, определяющие точность и качество зубчатого венца при прецизионной калибровке. Предложены структурные схемы автоматизированных систем управления процессом

прецизионной калибровки зубчатого венца в зависимости от типа используемого пресса.



а)

б)

Рисунок 4 - Структурная схема автоматизированной системы управления процессом прецизионной калибровки

а) для пресса с жесткими кинематическими связями

б) для пресса без жестких кинематических связей (гидропресс).

### Литература.

1. V G Shibakov, D L Pankratov, R Khairullin. Systems Analysis of Process Control Capabilities for Forging Accuracy. Solid State Phenomena, Vol. 265, pp. 1110-1115, 2017
2. V G Shibakov, D L Pankratov, R S Nizamov and R A Hairullin. Surface quality assurance of ring gear during precision stamping of gearwheels. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 412 (2018) 012073 doi:10.1088/1757-899X/412/1/012073
3. Хайруллин Р.А., Низамов Р.С., Низамова Л.М., Панкратов Д.Л., Шибаков В.Г. Обоснование требований к качеству и точности заготовок для прецизионной штамповки. МНТК «ИМТОМ–2018». Ч. 2. – Казань, 2018. – 408с., ил.
4. Valiev A.M., Shibakov V.G., Pankratov D.L. Automated Control System for the Assembly of a Composite Punching Tool // Russian Engineering Research, - 2016. - 36 (2). - P. 142-145.

## РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ ШТАМПОВОГО БЛОКА

Шибиков Владимир Георгиевич, Панкратов Дмитрий Леонидович,  
Низамов Равиль Салимович, Низамова Лилия Миннуровна,

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета, г. Набережные Челны пр. Мира 68/19, 423812,  
Республика Татарстан, Россия, [vladshib50@gmail.com](mailto:vladshib50@gmail.com), [pankratovdl@gmail.com](mailto:pankratovdl@gmail.com),  
[nizamovrs@yandex.ru](mailto:nizamovrs@yandex.ru), [nizamovalm@yandex.ru](mailto:nizamovalm@yandex.ru)

**Аннотация.** В работе рассмотрены различные варианты компоновки штамповых блоков и на основании моделирования упругих деформаций обоснован выбор наиболее рациональных, обеспечивающих высокую точность размеров и формы поковок

**Abstract.** In this paper, various layout options for stamping blocks and the selection of the most rational schemes providing high accuracy in the size and shape of forgings based on modeling elastic deformations are considered.

**Ключевые слова:** компоновка, штамповый блок, направляющие колонки.

Решение задачи повышения точности отштампованной поковки при создании тяжелых КГШП зависит как от параметров технологического процесса, так и от прессы. Повышение точности поковок за счет увеличения жесткости тяжелых КГШП в основном исчерпало свои возможности. Система управления изменением закрытой высоты КГШП по температуре и массе заготовки перед штамповкой позволяет существенно повысить точность штампуемых поковок без увеличения жесткости прессы и, следовательно, без увеличения его размеров, массы и стоимости изготовления. Недостатком данного способа является сложная система управления подрегулированием закрытой высоты прессы. Другой способ повышения точности размеров поковки по высоте основанный на упругой деформации упоров штампа не требует применения дорогостоящей системы управления прессом.

Результаты моделирования упругих деформаций от действия технологической нагрузки при горячей объемной штамповке показали, что наиболее рациональными компоновками по расчетным схемам определения нагрузок на штамповочные блоки, обеспечивающими высокую точность размеров и формы поковок, являются компоновки, представленные на рис. 1. б), д), з), ж). Точность размеров при многопереходной штамповке определяется при штамповке заготовки в последнем ручье штампа. Конструктивной особенностью рациональных компоновок для одно-, двух- и трехпереходных технологических процессов горячей объемной штамповки является совмещение геометрических центров вставок окончательных формообразующих переходов с осями симметрии штамповых блоков на столе и ползуне прессы. При наличии в штамповом блоке упругих упоров рис. 2. в), одновременно выполняющих функцию направляющих колонок их геометрические центры должны располагаться на центральной линии прессы.



Такая компоновка штампового блока позволяет на заключительном формообразующем переходе, когда действует максимальная технологическая сила, минимизировать эксцентриситет приложения нагрузки и опрокидывающий момент на ползуне, а соответственно, и угловые упругие деформации в системе «пресс-штамп»[1][2].

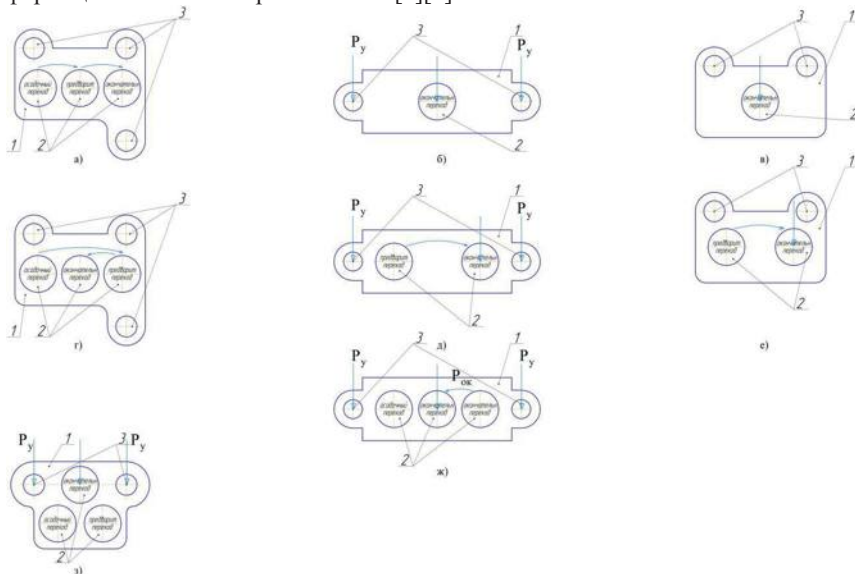


Рисунок 1 - Расчетные схемы приложения нагрузок на штамповые блоки при горячей объемной штамповке: а); в); г); е) – варианты для универсальных штамповых блоков с направляющими колонками поз. 3 для одно, двух и трехпереходной штамповки с центральным в); г), эксцентричным, а); е) расположением вставки (поз. 2) для окончательного формообразования, б); д); з); ж) – варианты для специальных штамповых блоков с упругими упорами – направляющими (поз. 3) для одно, двух и трехпереходной штамповки с центральным б); з); ж), эксцентричным д) расположением вставки окончательного перехода.

Схематично варианты компоновки штамповых блоков представлены на рис. 2, где, а) типовая компоновка вставок в универсальном блоке с тремя направляющими колонками; б), в) компоновка в специальном блоке с упорами-направляющими

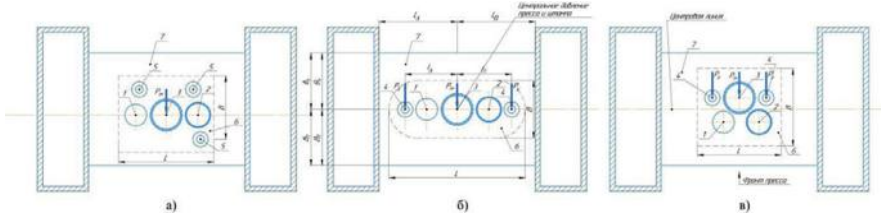
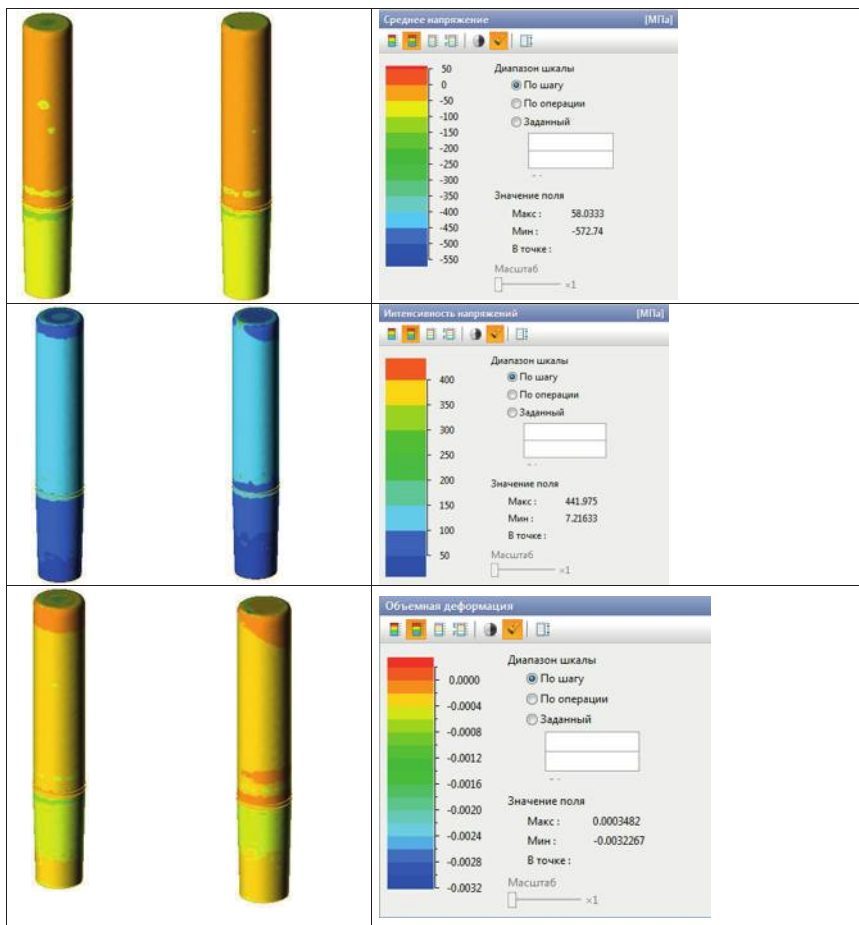


Рисунок 2 - Варианты рациональных компоновок штамповочных блоков (в плане). 1, 2 – вставки предварительных переходов штамповки; 3 – вставка окончательного перехода; 4- направляющие колонки универсального блока; 5 – направляющие колонки универсального блока; 6- нижняя половина блока штампа; 7 – стол пресса.

Таблица 1 – результаты моделирования штамповки с применением направляющих колонок блока в качестве упругих элементов

Направляющие колонки пресса	Шкала



При прецизионной горячей объемной штамповке в штамповом блоке с упорами процесс деформирования заготовки можно условно разделить на два этапа. На первом этапе заготовка деформируется до момента смыкания упоров. На втором этапе продолжается деформирование поковки при одновременной упругой деформации упоров и дополнительно к ранее накопленной на первом этапе упругой деформацией прессы и элементов штампа. Результаты моделирования окончательного перехода горячей объемной штамповки с применением направляющих колонок блока в качестве упругих элементов представлены в таблице 1.

Анализ полученных результатов исследования нагружения системы пресс-штамп-упоры-поковка позволяет сделать выводы о возможности выполнения технологических операций горячей объемной штамповки в открытых штампах на кривошипных горячештамповочных прессах без перегрузки

прессов при переменных параметрах технологического процесса, зависящих от температуры и массы (объема) заготовки, с увеличением в 3-5 раз точности размеров поковок по высоте [3]. Представленные особенности и последствия эксцентричного нагружения ползуна и стола пресса следует учитывать при компоновке упругих упоров и формообразующих вставок в штамповочном блоке. Параметры технологического процесса (жесткость поковки), жесткость пресса, штампа и упоров должны быть подобраны таким образом, чтобы величина максимальной силы нагружения пресса при штамповке до смыкания упоров не превышала предельного значения, например, номинальной силы пресса.

### Литература.

1. Сафонов А.В., Крук А.Т. К вопросу определения жесткости кривошипных горячештамповочных прессов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. - 1998. - № 2. - С. 73-83.
2. Крук А.Т. Разработка конструкции и методики проектирования тяжелых кривошипных горячештамповочных прессов: Дис. ... канд. техн. наук / МГТУ им. Н.Э. Баумана. - М., 2000. - 299 с.
3. 15. Shibakov V, Pankratov D, Khairullin R, 2017, System analysis of technological precision forgings management capabilities. Series: Solid State Phenomena 265 (2017), p. 1110-1115

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Шмидт Екатерина Вадимовна, доцент кафедры «Физика»,  
Матухин Вадим Леонидович, профессор кафедры «Физика»  
«Казанский государственный энергетический университет  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51, ФГБОУ ВО «КГЭУ»

**Аннотация.** Обсуждаются физические механизмы увеличения термоэлектрической добротности новых типов полупроводниковых материалов, используемых в термоэлектрических преобразователях энергии.

**Annotation.** The physical mechanisms for increasing the thermoelectric figure of merit of new types of semiconductor materials, used in thermoelectric energy converters are discussed.

**Ключевые слова:** термоэлектрические преобразователи энергии, коэффициент термоэлектрической добротности, ядерный магнитный резонанс.

**Key words:** thermoelectric energy converters, thermoelectric figure of merit, nuclear magnetic resonance.

В последние годы особое внимание уделяется термоэлектрическим преобразователям энергии (ТПЭ), имеющим важные преимущества перед традиционными генераторами и холодильными машинами. К этим преимуществам относятся: высокая стабильность рабочих параметров, простота конструкции, высокая надежность, возможность миниатюризации без потери эффективности [1]. Следует отметить весьма важный с технической стороны фактор – термоэлектрические процессы преобразования энергии являются

прямыми. Несмотря на отмеченные преимущества термоэлектрического преобразования энергии, ему присущ серьезный недостаток – относительно низкая эффективность. Она ниже, чем у электрических генераторов или холодильников обычной конструкции, и поэтому ТПЭ не получили широкого распространения в промышленности. Возник лишь ряд областей применения, где их достоинства перевешивают их недостатки: например, источники электричества на космических аппаратах, электрохимическая защита магистральных газопроводов. Для широкого практического применения ТПЭ следует значительно повысить их эффективность, которая прямо связана с термоэлектрической добротностью используемых термоэлектрических материалов:

$$ZT = S^2 \sigma T / \kappa,$$

где  $S$  – коэффициент Зеебека,  $\sigma$ ,  $\kappa$  – удельные электропроводность и теплопроводность,  $T$  – температура.

В настоящее время особые надежды на увеличение  $ZT$  связывают с использованием наноструктурированных материалов, таких, например, как системы с квантовыми ямами и точками, квантовые проволоки и сверхрешетки. Термоэлектрические свойства квантово – размерных структур впервые исследовались в работах Л.Д. Хикса и М.С. Дрессельхауса, начиная с 1993г. [2]. В случае, когда физические размеры системы в одном или нескольких измерениях уменьшаются до нанометров, факторы, определяющие электронное строение, изменяются благодаря возникающим квантовым эффектам и электронная структура изменяется принципиальным образом по сравнению с исходной трехмерной (3D) структурой.

Как отмечено в работе [1], поиск новых классов хороших термоэлектрических материалов – задача еще более сложная, чем модификация уже известных, и материалы, перспективные с этой точки зрения, появляются нечасто. Если включения и иные неоднородности материала приводят к существенному уменьшению теплопроводности решетки, но в то же время практически не влияют на электронные свойства, то возникла концепция так называемого «электронного кристалла – фононного стекла» («electroncrystal – phononglass», ЕСРG), т.е. вещества, имеющего электронные свойства кристалла, а фононные – стекла [3]. Такие вещества проводят электрический ток хорошо, как кристаллический проводник, а тепло – плохо, как стекло, причем сочетание свойств достигается благодаря особому строению веществ. Это супрамолекулярные ансамбли, в которых подструктуры гостя и хозяина связаны слабыми связями, решетка хозяина построена из прочных ковалентных связей, а в ее пустотах располагаются подвижные атомы или молекулы гостя (так называемые рэтлеры), способные колебаться или вращаться внутри предназначенного для них объема. Их быстрое движение рассеивает фононы, которые служат проводниками тепла, поэтому теплопроводность такого супрамолекулярного ансамбля мала, но не влияет на электропроводность, которую обеспечивают электроны, перемещающиеся по ковалентным связям каркаса. Следовательно, появляется возможность независимо оптимизировать

электро - и теплопроводность вещества. В таком материале решеточная теплопроводность сильно уменьшается без существенного падения фактора мощности. С попытками реализации этой идеи связан один из важных путей поиска новых термоэлектрических материалов: на этом пути внимание концентрируется на обнаружении или направленном синтезе материалов с низкой теплопроводностью. К этим материалам относятся наполненные скуттерудиты и полупроводниковые клатраты, так называются новые классы веществ со специальным типом сложной кристаллической решетки [4,5].

В последние годы проводится активный поиск новых типов термоэлектрических материалов, содержащих дешевые, нетоксичные компоненты и имеющих необходимые физические характеристики. В связи с этим интересным подходом к улучшению термоэлектрических свойств материалов представляется использование магнитных полупроводников [6,7]. Особый интерес вызвало обнаружение термоэлектрических свойств у природных образцов полупроводникового минерала халькопирита ( $\text{CuFeS}_2$ ) из гидротермальных рудопоявлений островных дуг Тихого океана [8]. Так например, для электронно – допированной системы  $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{FeS}_2$  была получена величина фактора мощности  $S^2\sigma > 1\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-2}$  при комнатной температуре (300 K), несмотря на то, что система содержит в своем составе относительно легкие элементы. Халькопирит имеет антиферромагнитный переход при 823 K, поэтому при комнатной температуре представляет собой магнитную полупроводниковую систему. Оценки эффективных масс носителей показали, что они в 4 – 6 раз выше массы свободного электрона. Предполагается, что причиной такого поведения является антиферромагнитное взаимодействие. Проведенные позднее теоретические вычисления продемонстрировали большие значения коэффициентов Зеебека для антиферромагнитного состояния [9]. Для анализа поведения коэффициента Зеебека для магнитного полупроводника  $\text{CuFeS}_2$  было использовано следующее выражение:

$$S = S_0 + S_{3/2}T^{3/2} + S_4T^4,$$

где  $S_0$  - коэффициент Зеебека при  $T = 0$  K,  $S_{3/2}$  - представляет вклад электрон – магнитного рассеяния и  $S_4T^4$  - представляет спин – волновую флуктуацию антиферромагнитного состояния.

Таким образом, основная задача в разработке высокоэффективных термоэлектрических материалов состоит в одновременной оптимизации тепловых и электронных свойств, причем механизмы, определяющие эти свойства не должны скомпенсировать друг друга. Поэтому предстоит еще большая работа, прежде чем удастся создать материалы с высокой термоэлектрической эффективностью, необходимой для широких практических применений. При этом основная роль отводится физическим исследованиям, потому что в первую очередь важно понять микроскопические свойства термоэлектрических материалов. Понимание этих свойств является необходимым условием направленного поиска новых материалов. Среди физических методов исследования термоэлектрических материалов

современные многоимпульсные методы ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) занимают особое место, поскольку являются одними из наиболее эффективных методов изучения электронного строения, дефектной структуры и динамических характеристик термоэлектрических материалов [10].

### Список литературы

1. Дмитриев А.В., Звягин И.П., Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов // Успехи физических наук. 2010. Т. 180. С. 821–838.
2. Hicks L.D., Dresselhaus M.S. Effect of quantum-well structures on the thermoelectric figure of merit // Phys. Rev. B. 1993. Vol. 47. P. 727–731.
3. Slack G.A., Tsoukala V.G. Some properties of semiconducting IrSb3 // J. Appl. Phys. 1994. Vol. 76. P. 1665–1671.
4. Шевельков А.В., Химические аспекты создания термоэлектрических материалов // Успехи химии. 2008. Т. 3. № 1. С. 3–21.
5. Sales B.C., Mandrus D., Williams R.K., Filled Skutterudite antimonides: A New Class of Thermoelectric Materials // Science. 1996. Vol. 272. P. 1325–1328.
6. Li J, Tan Q. Li J-F. Synthesis and property evaluation of CuFeS<sub>2</sub> as earth abundant and environmentally-friendly thermoelectric materials // J Alloys Compd. 2013. Vol. 551. P. 143–149.
7. Tsujii N. Possible enhancement of thermoelectric properties by use of amagnetic semiconductor: carrier-doped chalcopyrite Cu<sub>1-X</sub>Fe<sub>1+X</sub>S<sub>2</sub> // J. Electron. Mater. 2013. Vol. 42. P.1974–1977.
8. Ang R., Khan A.U., Tsujii N., Takai K., Nakamura R., Mori T. Thermoelectricity Generation and Electron–Magnon Scattering in a Natural Chalcopyrite Mineral from a Deep-Sea Hydrothermal Vent // Angewandte Chemie International Edition. 2015. Vol. 54. № 44. P. 12909–12913
9. Tsujii N., Mori T. High Thermoelectric Power Factor in a Carrier-Doped Magnetic Semiconductor CuFeS<sub>2</sub> // Applied Physics Express. 2013, 6, 043001-1 – 043001-4.
10. Матухин В.Л., Погорельцев А.И., Гавриленко А.Н., Гарькавый С.О., Шмидт Е.В., Бабаева С.Ф., Теруков Е.И. Исследования полупроводникового минерала CuFeS<sub>2</sub> из гидротермальных отложений океанского рифта методом ЯМР Cu в локальном поле // Физика и техника полупроводников. 2017. Т. 51. № 1. С. 8–11.

УДК 621.43.056.536.46

**ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ФОРСУНКИ В СИСТЕМАХ ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

В.М. Юсеф, Р.Р. Халиулин, Н.В. Давыдов, Т.Х. Мухаметгалиев,  
В.А. Сыченков, В.И. Панченко  
КНИТУ – КАИ, Казань

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию центробежных форсунок при изменении у них степени раскрытия сопла. Цель работы исследовать центробежную форсунку с относительно большими размерами каналов, выявить влияние степени раскрытия сопла центробежной форсунки на ее характеристики (коэффициент расхода, угол факела, ожидаемый диаметр капель).

**CENTRIFUGAL ATOMIZER IN FIREFIGHTING SYSTEMS**

W.M. Yousef, R.R. Khaliulin, N.V. Davydov, T.K. Mukhametgaliyev,  
V.A. Sychenkov, V.I. Panchenko  
KNRTU-KAI, Kazan  
*wyasen@mail.ru*

This work is devoted to the experimental study of centrifugal nozzles when changing their degree of opening of the nozzle. Objective to investigate the centrifugal nozzle with a relatively large size of the channels, reveal the influence of the degree of opening of the nozzle swirler to its characteristics (flow coefficient, the angle of the torch, the expected drop diameter).

**1. Введение**

Основной задачей распылителей жидкости, применяющихся в системах пожаротушения, является максимальная локализация очага пламени от воздействия кислорода. В качестве распылителей могут применяться струйные либо центробежные форсунки. Струйные форсуночные устройства обеспечивают максимальную дальнобойность струи, в то время как центробежные форсунки – мелкость распыла. Благодаря мелкости распыла удается получить «туман» охлаждающий очаг пламени.

Характер воздействия различных факторов (скорость истечения жидкости, толщина пленки, плотность газовой среды, физические свойства жидкости) на мелкость распыла в центробежных форсунках отличается от характера воздействия этих же факторов на мелкость распыла в струйных форсунках. Влияние вязкости в случае центробежных форсунок несколько слабее, чем при распыливании струйной форсункой [1, 2].

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию центробежных форсунок при изменении их степени раскрытия сопла.

**2. Экспериментальное исследование и его результаты**

Для экспериментального исследования разработана и спроектирована центробежная форсунка, представленная на рисунке 1.



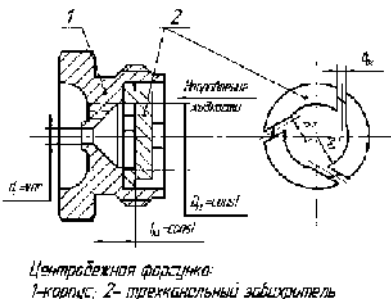
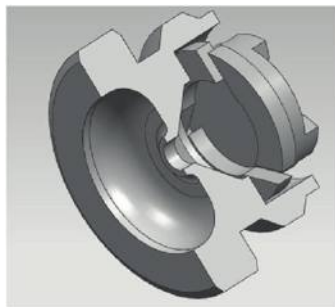


Рис.1. Центробежная форсунка с трехканальным завихрителем  
Упрощенная схема данной форсунки представлена на рисунке 2.

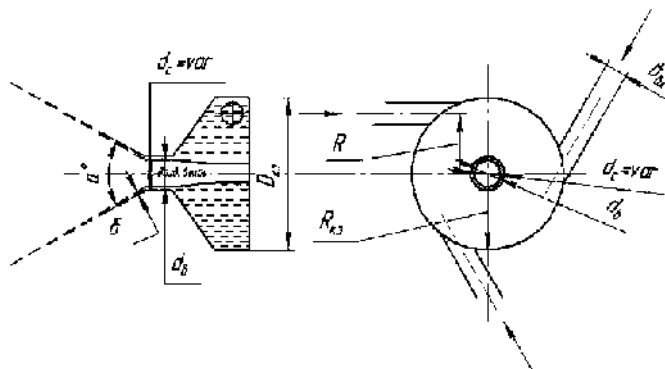


Рис.2. Упрощенная схема экспериментальной форсунки

Степень раскрытия сопла  $C = d_c/D_{k3}$ ;  $d_c = var$ .

Исследования проводились на центробежных форсунках с различными диаметрами сопел и с различными степенями раскрытия сопел. Размер камеры закручивания не изменялся.

Для экспериментального исследования центробежных форсунок была собрана установка (рисунок 3).

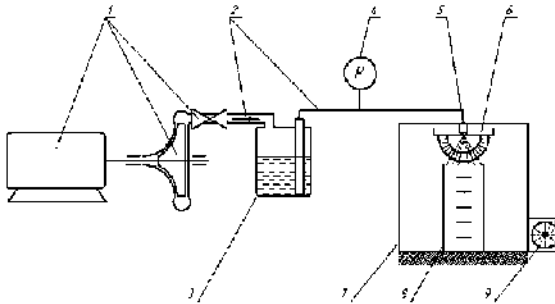


Рис.3. Схема испытательной установки

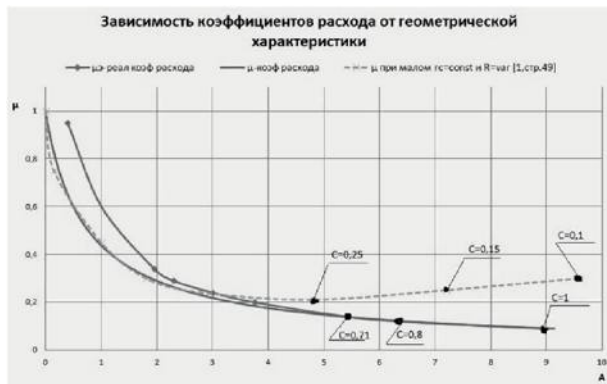
Установка включала в себя следующие элементы:

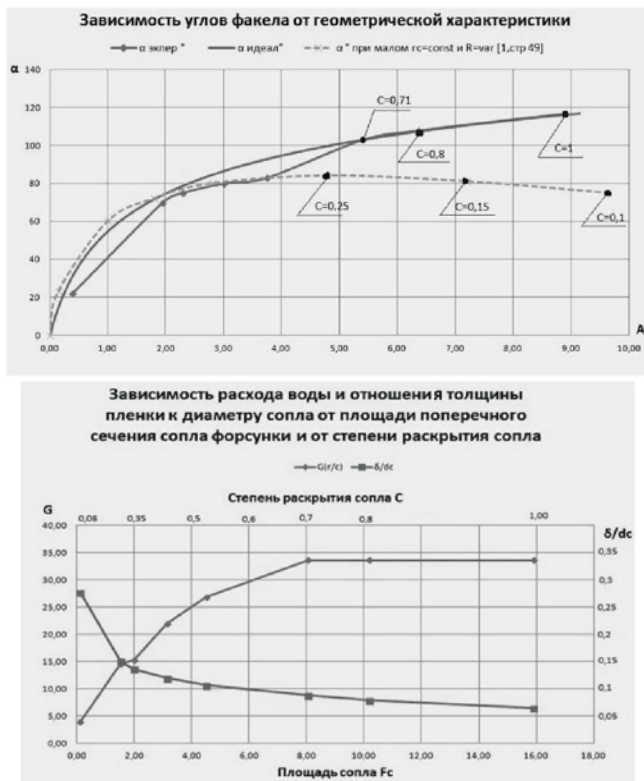
- 1-Компрессор и регулировочный кран
- 2-Трубопровод
- 3-Бак с водой
- 4-Манометр
- 5-Центробежная форсунка
- 6-Угломер для измерения угла распыла
- 7-Испытательная камера
- 8-Колба для измерения расхода воды через форсунку
- 9-Секундомер для измерения расхода воды через форсунку

Исследования:

- 1) влияние размера сопла в диапазоне  $d_c = 0,4 \div 4,5$  мм;
- 2) влияние степени раскрытия форсунки в диапазоне  $C = 0,09 \div 1$ .

На рисунке 4 приведены зависимость режимных и конструктивных параметров при давлении на входе  $\Delta P = 5$  атм.



Рис. 4 Результаты при  $\Delta P=5$  атм.

### 3. Заключение

В результате полученных данных можно сделать следующие выводы:

-Влияние вязкости на угол факела при увеличении степени раскрытия сопла форсунки уменьшается до 0 при  $C \geq 0,71$ ;

-Из графика зависимости расхода воды от площади сечения сопла форсунки можно сказать что, до тех пор пока  $F_{вх} * n * \mu_{вх} > F_c * \mu$  расход зависит от площади сопла, когда же  $F_{вх} * n * \mu_{вх} < F_c * \mu$  на расход влияет суммарная площадь входных тангенциальных каналов, это и объясняет то, что при диаметрах сопла  $d_c = 3,2 ; 3,6 ; 4,5$  мм  $G=const$ ;

-Открытые центробежные форсунки позволяют получить достаточную мелкость распыла (малый диаметр капель), при больших сечениях канала ( $d_c \geq 1$  мм), при этом уменьшается стоимость форсунки и повышается стабильность характеристик;

-При  $C \geq 0,71$  абсолютный расход жидкости  $G$  зависит от диаметра сопла при постоянных остальных параметрах, при это  $\delta/d_c$  уменьшается;

-Открытые форсунки данного типа являются не только эффективными в плане распыла жидкости, но также имеют максимально простую конструкцию, что удешевляет их изготовление.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. *Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков, В.И. Ягодкин*, Распыливание жидкостей. - М.: Машиностроение, 1977. - 208 с.
2. *Ю.И. Хавкин*. Центробежные форсунки. - Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1976. - 168 с.

## ***СЕКЦИЯ № 6***

### **«Надежность, эффективность и безопасность объектов топливно-энергетического комплекса»**

#### **Модераторы:**

**Гараев Алмаз Лябисович** - Генеральный директор ООО  
Инженерный центр «Энергопрогресс»

**Сабитов Линар Салихзанович** - советник генерального директора  
по науке и инновациям ООО ИЦ "Энергопрогресс", к.т.н., доцент,

**Гильманшин Искандер Рафаилович** - заместитель директора по  
научной деятельности, Инженерный институт КФУ, к.т.н.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Аверьянова Анна Алексеевна<sup>1</sup>, Водеников Артем Дмитриевич<sup>2</sup>,  
Минибаев Азамат Ильшатович<sup>3</sup>.

Казанский Государственный Энергетический Университет

<sup>1</sup>varkautaPS@mail.ru, <sup>2</sup>vodhan@mail.ru, <sup>3</sup>minibaev-a@list.ru

В статье рассматриваются существующие методы оценки качества работы РВП, зависимости между состоянием РВП и величиной присосов в воздухоподогревателе. Приведены рекомендации по использованию различных алгоритмов.

The article contains comparative analysis of the APH evaluation methods, and coupling between APH conditions and leakage distributions. Depending from the necessary data the simplest method for adjustment given.

**Ключевые слова:** модель, регенеративный воздухоподогреватель, утечки, присосы, котлы, алгоритмы.

**Key words:** APH, preheater, boiler, air, flue gases, leakages.

Воздухоподогреватель является неотъемлемой частью парового котла, который влияет на экономичность и надежность работы котлоагрегата.

По принципу действия воздухоподогреватели делят на рекуперативные (Рис. 1) и регенеративные (Рис. 2). В рекуперативных передача тепла происходит непосредственно через стенку, в регенеративных (РВП) при помощи вращения теплоаккумулирующей набивки через газовую и воздушную части.

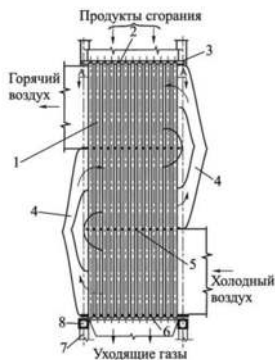


Рисунок 1. Трубчатый воздухоподогреватель. 1 - стальные трубы; 2, 6 - верхняя и нижняя трубные доски; 3 - компенсатор тепловых расширений; 4 - воздухоперепускной короб; 5 - промежуточная трубная доска; 7, 8 - опорные рама и колонны

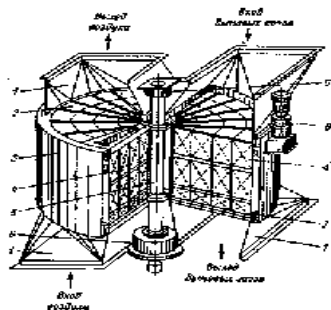


Рисунок 2. Вращающийся регенеративный воздухоподогреватель. 1 – корпус; 2 – барабан; 3 – корпус; 4 – набивка; 5 – вал; 6 – подшипник; 7 – уплотнение; 8 – электродвигатель.

Одним из показателей, характеризующим совершенство конструкции и эффективность работы регенеративного воздухоподогревателя, является величина присосов воздуха в газовый тракт. Согласно [1], для РВП данный показатель не должен превышать 25 %.

Поддержание регламентированного значения присосов в газовый тракт на участке РВП является достаточно сложной задачей, так как величина присосов зависит от нагрузки котла, состояния РВП, а также от действия персонала электростанции.

Оценка перетоков воздуха обычно ведется по значению коэффициента избытка воздуха, измерение которого традиционно выполняют на входе и на выходе в РВП. Однако, подобный метод не позволяет выявить наиболее проблемные участки в РВП (периферийные, аксиальные, радиальные уплотнения).

Наиболее распространен метод по расчету присосов воздуха в дымовые газы, описанный в [2]. Данный алгоритм позволяет спрогнозировать величину перетоков на основании характеристик РВП и значений величин зазоров в уплотнениях. Данный алгоритм отличается своей простотой и не требует развитую АСУ ТП. Данный метод применяется на этапе проектирования и не учитывает изменение состояния РВП во время работы (рост гидравлического сопротивления, увеличение величины зазоров в уплотнениях). По данному методу удобно производить расчет нормируемых присосов по результатам обследования конкретного РВП в период ремонта.

Метод, описанный в [3] позволяет рассматривать перетоки воздуха как систему потоков, оказывающих влияние друг на друга. Как показывает анализ метода, наибольшее влияние на величину присосов оказывает состояние уплотнений. Чем больше величина зазоров – тем больше значение коэффициента избытка воздуха на выходе из РВП. Однако, для того, чтобы использовать данный метод, необходимо большее число датчиков давлений и температур, а для повышения точности – производство замеров величины зазоров на работающем

РВП. Данный метод проблематично использовать на большинстве электростанции СНГ, так как РВП, как правило, не обладает богатым набором КИП.

Для станций Татэнерго предложен метод оценки тепловой эффективности РВП, определяющий эффективность работы по температурным напорам [4]. Данный метод прост и может быть реализован на многих электростанциях (так как требует лишь измерение температур на входе и выходе из РВП), однако, не позволяет достоверно определить причины ухудшения качества работы РВП.

С помощью рассмотренных алгоритмов, можно оценить, какое состояние РВП является «предельным», а также найти наиболее значимые узлы, сильно влияющие на газоплотность воздухоподогревателя.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (п. 4.3.31).
2. Боткачик И.А. Регенеративные воздухоподогреватели парогенераторов/ – М: Машиностроение, 1978. – 175 с.
3. T. Skiepo (1997) Indirect Estimation of Leakage Distribution in Steam Boiler Rotary Regenerators, Heat Transfer Engineering, 18:1, 56-81,\
4. Р.Н. Валиев, Ш.Г. Зиганшин, А.М. Насибуллин, А.А. Медяков. Мониторинг тепловой эффективности регенеративного воздухоподогревателя РВП-54 // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 2. — С. 11.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ВТОРИЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВНОГО ВТОРИЧНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕСУРСА

© А.В. Ахмеров<sup>1</sup>, А.А. Синявин<sup>1</sup>, Д.П. Иовлев<sup>2</sup>, А.Р. Хайруллин<sup>1</sup>, А.Л. Осипов<sup>1</sup>,  
А.Н. Долгова<sup>1,3</sup>, Ю.В. Снигирева<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

ООО «ИВЦ Инжехим» 420049 г. Казань, ул. Шаляпина, д.14/83

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»  
344038 г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного  
Ополчения, д.2

**Аннотация.** В статье исследованы процессы пульсационной фильтрации вторичного активного ила для последующего его использования в качестве вторичного энергоресурса. Создана лабораторная модель фильтрационной установки с непрерывной регенерацией и экспериментально подтверждена ее эффективность.

**Annotation.** The processes of pulsating filtration of secondary activated sludge for its utilization as a secondary energy source are considering in this article. Effectiveness of this approach was experimentally confirmed by designed laboratory model of sludge pulsating filtration with continuous regeneration of filter.



**Ключевые слова:** вторичный энергоресурс, активный ил, пульсационная фильтрация.

Вторичный отработанный ил является широко распространенным топливным вторичным энергоресурсом (ВЭР) [1, 2]. Ранее в [3] было показано, что пульсационное воздействие с определенными амплитудно-частотными характеристиками на зону осаждения активного ила значительно ускоряет процесс отделения воды. Однако дальнейшее его обезвоживание осложняется нитрофикацией активного ила и необходимостью использовать дорогостоящие фильтры. Существующие фильтры, применяемые для очистки сточных вод имеют ряд существенных недостатков: их ограниченная производительность, что приводит к необходимости на стоках больших городов устанавливать до десятка аппаратов, что существенно осложняет обслуживание этого участка, что приводит к сложностям организации последующих стадий очистки сточных вод, химической, биологической и т.д.

Эта проблема устраняется следующими мероприятиями:

- уменьшение проницаемости фильтров, что ведет к улучшению качества очистки;

- более продуманная организация процесса отстаивания твердой дисперсии и использованию современных пульсационных способов эвакуации дисперсии;

- использование конструкций для облегчения регенерации фильтров и широкий набор пневматических и механических средств.

Таким образом, процессы отстаивания, фильтрации и эвакуации твердой дисперсии являются основными, которые обеспечивают энергоэффективность установки.

Для промышленных испытаний фильтра и его освоения разработана принципиальная схема фильтрационной установки с непрерывной регенерацией фильтрующей поверхности от загрязнений несимметричными импульсами давления (рис.1). Буферная емкость в схеме используется, как аккумулятор накопленной энергии, для создания короткого по времени, резкого, но единовременного большого импульса потока жидкости. За счет этого процесс регенерации происходит по всей фильтрующей поверхности. Блок клапанов включает в себя два электромагнитных клапана, работающих в противофазе, систему управления и систему контроля параметров (расход, перепад давления и др.). Система клапанов может быть заменена распределительным устройством – пульсатором. Пульсационная регенерация фильтра в процессе работы не существенно влияет на общее снижение технологических потоков, зато существенно увеличивает продолжительность работы фильтра без остановки с сохранением качественных показателей получаемого фильтрата. Возможна компоновка пульсационной фильтрации с несколькими фильтрами.

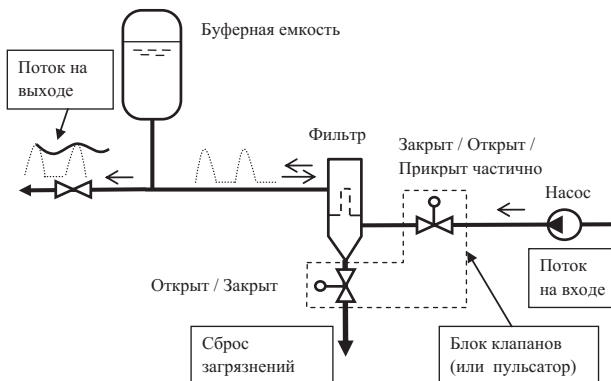


Рис.1. Принципиальная схема фильтрационной установки с непрерывной регенерацией. Вариант исполнения с одним фильтром.

Для исследования влияния пульсационного воздействия на эффективность фильтрующего элемента используется щелевой фильтр производства ООО «ИВЦ «Инжехим» с зазором между пластинами 50 микрон. Внешний вид фильтра представлен на рис.2а.

Возвратный ил со вторичных отстойников взят с очистных сооружений ЗАО «Челныводоканал». Время между отбором среды и ее испытаниями составило 4 часа. По данным лаборатории ЗАО «Челныводоканал» ил имеет массовое содержание сухого вещества в растворе после вторичных отстойников составляет 5 - 7 г/литр.

По результатам предварительного изучения фильтрационной способности модельной среды – возвратный ил, можно сделать следующие выводы:

1. Ил плохо отстаивается и практически не фильтруется через сетчатую фильтрующую поверхность в стационарных условиях, но хорошо фильтруется при наложении динамических возмущений (вибрация);

2. Для повышения эффективности фильтрации таких сред в промышленных условиях необходимо обеспечить регенерацию фильтрующей поверхности от забивания коллоидной фазой раствора.

Для исследования фильтрации в различных условиях разработана и изготовлена лабораторная модель с возможностью визуального контроля за процессом. Вид установки представлен на рис.2.



Рис.2 Вид установки: а – общий вид; б – вид в рабочем состоянии

Эксперимент по фильтрации проводился в условиях полного погружения фильтра в рабочую жидкость (рис.2, б). До начала эксперимента по фильтрации рабочей жидкости проводилось измерение характеристик фильтрации на чистой воде. По окончании эксперимента по фильтрации рабочей жидкости колонна опорожнялась от накопленных загрязнений, и проводился повторный замер характеристик фильтрации на чистой воде. Сравнение данных замеров показывает степень снижения фильтрационной способности фильтра при фильтрации данной рабочей жидкости. Фильтрат после каждого эксперимента собирался отдельно, усреднялся и проба в количестве 1л ставилась на отстаивание в течение 1 часа для определения количества оставшихся в фильтрате взвешенных веществ. По этим данным оценивали качественные показатели фильтрации при разных режимах (таблица 1.)

Таблица 1. Результаты эксперимента

Объем отфильтрованной дисперсии, л	Время стационарной фильтрации и чистой воды	Время стационарной фильтрации	Время пульсационной фильтрации	Чистая вода после эксперимента	Эффективность пульсационной фильтрации
1	6 сек	3 мин 37 сек	16 сек	7,5 сек	в 12 раз
2	15 сек	20 мин 14 сек	44 сек	16,5сек	в 28 раз
3	27 сек	-	1 мин 34 сек	32 сек	более 100раз

Проведенная на стенде пульсационная фильтрация возвратного ила при заданных амплитудно-частотных характеристиках показала, что скорость при нестационарном режиме фильтрации не снижается и поддерживается

на одном уровне, среда была отфильтрована с одновременным отстаиванием (концентрированием) осадка загрязнений, налипающий осадок легко убирается с фильтрующей поверхности за счет слабых гидравлических пульсаций изнутри фильтра. Время заданного объема фильтрации значительно увеличилось (таблица 1). Этому способствует нестационарный режим фильтрования, периодическая очистка каналов щелевого фильтра, постоянная регенерация фильтрующей поверхности от залипания.

Эксперимент показал перспективность и необходимость применения пульсационной регенерации фильтров для активного ила. Также было показано, что подбор амплитудно-частотного воздействия позволяет существенно влиять на качество отфильтрованной воды и значительно повысить производительность установки.

### Литература

1. Вильямс Ф.А. Теория горения; Пер. с англ. /Ф.А. Вильямс - М.: Наука, 1973. - 29 с.
2. Колужный С.В. Очистка сточных вод/ Колужный С.В - М.:Наука,2006. - 479 с.
3. Akhmerov A.V., Osipov A.L., Dolgova A.N., Faizullina G.F., Sabitov L.S. Study of process of intensification of dehydration of secondary activated sludge for its utilization as a secondary energy source // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 570, 2019. P.1-4

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ОБОРУДОВАНИЙ МЕТОДОМ РАННЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ

Ахметшин Роберт Султанович, Валиев Рамиль Ильдарович,  
Хафизов Алмаз Анзяпович.

Набережночелнинский институт (филиал) КФУ  
423810, РФ, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира 68/19.

**Аннотация.** Предложен метод контроля состояния изоляции трансформатора по ее диэлектрической характеристике. Экспериментальные исследования показали работоспособность устройства, а опытно-промышленная эксплуатация подтвердила его эффективность. Внедрение устройства в ряде электрических сетей обеспечило экономический эффект на один трансформатор стоимостью 300 000 рублей путем исключения отказа.

**Summary.** A method for monitoring the state of insulation of a transformer by its dielectric characteristic is proposed. Experimental studies have shown the operability of the device, and pilot - industrial operation has confirmed its effectiveness. The introduction of the device in a number of electrical networks ensured an economic effect on one transformer worth 300,000 rubles by eliminating the failure.

**Ключевые слова:** изоляция трансформаторов, частота, электромагнитное поле.

**Введение.** Характеристики изоляции трансформаторов перед вводом в эксплуатацию и после капитального ремонта оцениваются путем измерения значений  $\text{tg}\delta$  изоляции обмоток. Однако исследованиями ряда авторов установлено влияние на  $\text{tg}\delta$  изоляции силовых трансформаторов  $\text{tg}\delta$  заливаемого в них масла [1]. Нормы испытаний электрооборудования [2] рекомендуют учитывать это влияние по формуле:

$$\text{tg}\delta_{\phi} = \text{tg}\delta_{\text{из}} - \kappa (\text{tg}\delta_{\text{м2}} - \text{tg}\delta_{\text{м1}}) \quad (1)$$

$\text{tg}\delta_{\phi}$  и  $\text{tg}\delta_{\text{из}}$  - фактическое и измеренное значения  $\text{tg}\delta$  обмотки;  $\kappa = 0,45$  - коэффициент приведения, зависящий от конструктивных особенностей трансформаторов;  $\text{tg}\delta_{\text{м2}}$  и  $\text{tg}\delta_{\text{м1}}$  - значения  $\text{tg}\delta$  масла, залитого на заводе при монтаже (приведенные к температуре измерения характеристик изоляции).

**Постановка задачи.** Общее значение  $\text{tg}\delta$  бумажно-масляной изоляции, из которой состоит изоляция трансформатора, оценивается для двухслойного диэлектрика по формуле:

$$\text{tg}\delta = \text{tg}\delta_{\text{М}} \frac{E_{\text{T}}a}{E_{\text{T}}a + E_{\text{М}}(1-a)} + \text{tg}\delta_{\text{T}} \frac{E_{\text{М}}(1-a)}{E_{\text{T}}a + E_{\text{М}}(1-a)} \quad (2)$$

или

$$\text{tg}\delta = A\text{tg}\delta_{\text{М}} + B\text{tg}\delta_{\text{T}} \quad (3)$$

$\text{tg}\delta_{\text{М}}$  и  $\text{tg}\delta_{\text{T}}$  — значения  $\text{tg}\delta$  масла и твердой изоляции;  $E_{\text{М}}$  и  $E_{\text{T}}$  — диэлектрическая проницаемость масла и твердой изоляции;  $a$  — объемная доля масла в твердой изоляции.

В диапазоне температур 20 - 60°C, которые наблюдаются при работе трансформатора в открытом распределительном устройстве, вторую составляющую формулы (3) можно принять за постоянную величину:

$$\text{tg}\delta = A\text{tg}\delta_{\text{М}} + \text{const} \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что общее состояние изоляции в основном определяется состоянием масла, на которое в свою очередь влияет содержание в нем влаги, растворимых кислот и продуктов старения твердой изоляции [3]. Таким образом, при оценке изоляции трансформаторов по  $\text{tg}\delta$  необходимо учитывать влияние свойств масла, конструктивных особенностей трансформаторов, температуры обмоток, электромагнитных полей. Для измерения  $\text{tg}\delta$  используется высоковольтное (10 кВ) испытательное оборудование.

**Техническое решение.** Была сформулирована рабочая гипотеза об использовании для оценки, состояния внутренней изоляции изменения эквивалентной относительной диэлектрической проницаемости. Данный параметр технически трудно зафиксировать непосредственным измерением из-за малых изменений физической величины, поэтому необходимо применять

косвенные способы, например, использовать нелинейные зависимости сопротивлений обмотки трансформатора или напряжений на ней от частоты испытательного напряжения, близкой к собственным частотам обмотки.

Для контроля состояния изоляции используется упрощенная схема замещения обмотки силового трансформатора (рис. 1), где  $R$  - активное сопротивление утечки изоляции,  $L$  - индуктивность слоя катушки или всей обмотки,  $C$  - емкость изоляции,  $r$  и  $\Delta C$  - параметры, отражающие состояние изоляции.

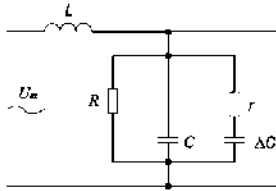


Рисунок 1. Упрощенная схема замещения силового трансформатора

При частотах, близких к собственной частоте среднего слоя или катушки обмотки, схема замещения представляется в сложной матричной форме (состоит из ячеек контуров  $RLC$ ). Зависимость входного сопротивления обмотки, а также тока или напряжения, приложенного к обмотке, от частоты представляет собой кривую с ярко выраженными экстремальными точками. Эти точки отражают резонансные явления в витках, слоях и катушках обмотки. Активные сопротивления утечки и емкости изоляции являются переменными величинами. Индуктивность, определяющая конструкцию обмотки, является величиной практически постоянной. Экстремальные точки смещаются в зависимости от степени изменения состояния внутриобмоточной изоляции, так как при этом меняются собственные частоты витка, слоя, катушки или обмотки в целом.

Из выражения

$$Z_{\text{вх}} = j\omega L + \frac{1}{j\omega C + \frac{1}{R} + \frac{1}{r + j\omega \Delta C}}$$

полученного для упрощенной схемы замещения обмотки на рис. 1, видно, что входное сопротивление меняется в зависимости от параметра  $\Delta C r$ , определяющего сопротивление изоляции.

Частота испытательного напряжения, на которой осуществляется контроль изоляции, определяется путем расчета или экспериментально по частотным характеристикам:  $U_1 = k_1(f)$ ,  $U_2 = k_2(f)$ ,  $\Delta U = |U_1| - |U_2|$ ,  $\Delta U_A = \Delta U / U_1$  или  $\eta = U_2 / U_1$ .

При реализации средств контроля по критерию  $\eta = U_2 / U_1$  требуются сложные схемы, поэтому предложено изготавливать устройство контроля по критерию  $\Delta U = |U_1| - |U_2|$  (рис. 2,3). Увеличение  $\Delta U$  соответствует ухудшению состояния внутриобмоточной изоляции.

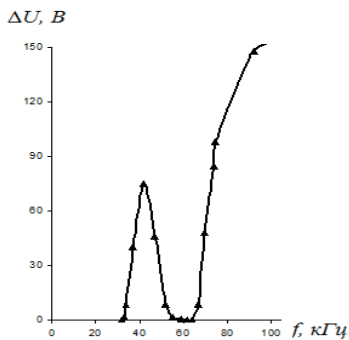


Рисунок 2. Сухая обмотка

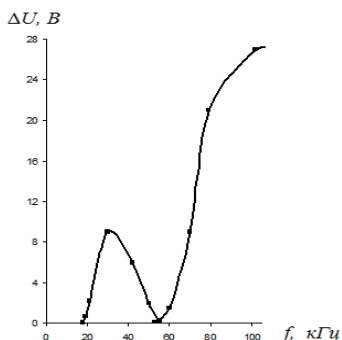


Рисунок 3. Увлажненная обмотка

На рис. 4 приведена схема устройства контроля изоляции, включающая в себя  $RC$ -генератор высокочастотного сигнала синусоидальных колебаний и усилитель мощности (5 Вт) 1, согласующий трансформатор 2, зажимы (выходы) устройства 3 и 7, экранированные кабели 4 и 6 для присоединения устройства к испытуемому силовому трансформатору, испытуемый силовой трансформатор 5, усилитель и выпрямитель 8 и выпрямитель 9, дифференциальный усилитель 10, исполнительный орган (стрелочный прибор) 11.

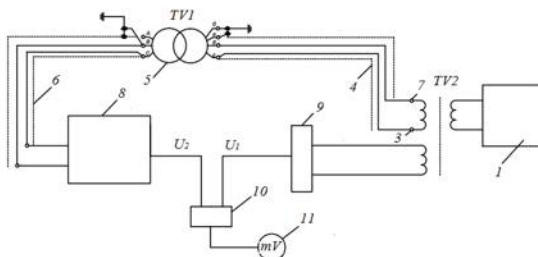


Рисунок 4. Схема устройства контроля изоляции

Частота генератора выбирается равной собственной или критической частоте обмотки. Устройство собирается из блоков на печатных схемах с применением микросхем [5]. Выходное напряжение - не более 50 В. Устройство подключается к источникам питания 220 В переменного тока либо 12 В постоянного тока. Это позволяет использовать устройство трансформаторных цехах, лабораторных и полевых производственных условиях.

Для эффективного использования устройства градуировка прибора производится не с нулевого деления, а с условного нулевого деления (1/3 шкалы). При эксплуатации, как правило, степень снижения показателей изоляции на каждом электросетевом или промышленном предприятии определяется местными условиями. С учетом этого в устройстве предусмотрен

потенциометр условного нуля, а также корректировки частоты и формы кривой испытательного напряжения.

**Заключение.** Экспериментальные исследования показали работоспособность устройства, а опытно-промышленная эксплуатация подтвердила его эффективность. При использовании устройства изменения состояния изоляции фиксируются более четко, чем при замере  $\text{tg } \delta$ . Внедрение устройства в ряде электрических сетей обеспечило экономический эффект на один трансформатор стоимостью 300 000 рублей путем исключения отказа. При этом потери потребителей электроэнергии не учтены.

### Литература

1. Ларин В.С., Матвеев Д.А. Влияние конструктивных особенностей трансформаторов 6-35 кВ на резонансные перенапряжения в обмотках. – Энергия единой сети №3 (45) – 2019.
2. Ахметшин Р.С., Рязанов И.Р. Частотные характеристики силовых трансформаторов распределительных сетей – диагностические признаки состояния изоляции. IV Камские чтения. Межрегиональная научно-практическая конференция. Сборник научных докладов, 2012 г., с. 118-120.
3. А. с. 845280 (СССР). Устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов / Р.С. Ахметшин, И.Г. Беляков, Л.М. Рыбаков.- Опубл. в Б. И., 1981, № 25.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА КОНДЕНСАТА ОТ ОБОРУДОВАНИЯ РЕКТИФИКАЦИОННОГО ЦИКЛА ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА РЕАКЦИОННОЙ СМЕСИ

Бальзамов Денис Сергеевич, Бальзамова Елена Юрьевна  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Бронская Вероника Владимировна  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

**Аннотация.** Эффективное использование вторичных энергетических ресурсов на предприятиях нефтегазохимической отрасли влияет на конечную стоимость выпускаемой продукции. В данной статье предлагается вариант использования тепловой энергии конденсата после ректификационного цикла для подогрева реакционной смеси.

**Abstract.** Efficient use of secondary energy resources at the enterprises of the petrochemical industry affects the final cost of products. This article proposes the option of using the heat energy of the condensate after a distillation cycle to heat the reaction mixture.

**Ключевые слова:** конденсат, водяной пар, предварительный подогрев.

**Key words:** condensate, steam, preheating



Рассматривается производственный участок производства этиленгликоля предприятия органического синтеза. Пароснабжение цеха этиленгликоля осуществляется от общесетевых паропроводов давлением  $30 \text{ кгс/см}^2$  и  $13 \text{ кгс/см}^2$ . В технологическом процессе после дросселирования на редукционно-охладительной установке (РОУ) с давлением  $16,5 \text{ кгс/см}^2$ ;  $9,0 \text{ кгс/см}^2$  и  $6,0 \text{ кгс/см}^2$ . Схема пароснабжения технологического участка представлена на рис. 1.

Анализ цеховых данных показал, что потребление конденсата на технологию составляет  $4,93 \text{ т/ч}$ , что соответствует плановой удельной норме, которая составляет  $2,625 \text{ т}$  на тонну готового продукта. Таким образом, при потреблении пара  $14,3 \text{ т/ч}$ , возврат конденсата в конденсатную сеть предприятия должен составлять  $14,3 - 4,93 = 9,37 \text{ т/ч}$ .

При фактической перекачке в конденсатную сеть  $7,0 \text{ т/ч}$ , потери конденсата равны  $2,37 \text{ т/ч}$ , в том числе безвозвратные потери на парожекторах  $2 \text{ т/ч}$ .

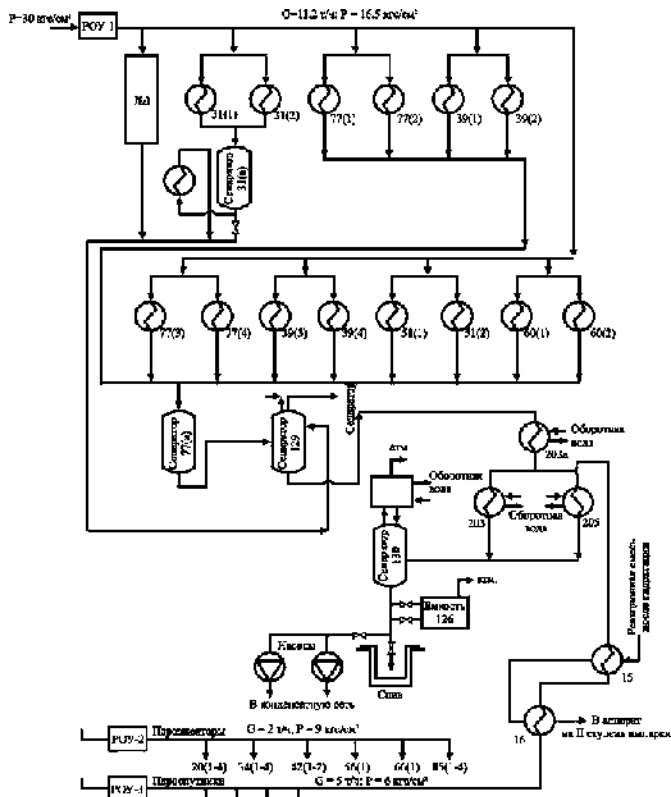


Рис. 1. Принципиальная схема пароснабжения производственного цеха

Температура паро-конденсатной смеси после кипятильников №77<sub>1,2,3,4</sub>, 39<sub>1,2,3,4</sub>, 51<sub>1,2</sub>, 60<sub>1,2</sub> равна 168°C. Паро-конденсатная смесь после этих кипятильников подается в сборную емкость №77а и далее по конденсатопроводу диаметром 100 мм направляется в сепаратор высокого давления №129.

Так как изоляция конденсатопровода и сборных баков сепараторов 77а и 129 в неудовлетворительном состоянии, и сами сборные баки и конденсатопровод имеют неплотности, приводящие к потере давления пара вторичного вскипания, температура паро-конденсатной смеси при транспортировке от бака сепаратора 77а к баку сепаратору 129 снижается до 115°C ( $P=1,5 \text{ кгс/см}^2$ ). Данная потеря теплового потенциала не позволяет использовать пара вторичного вскипания из сепаратора 129 для подпитки паропровода давлением  $6 \text{ кгс/см}^2$ , как предусмотрено технологической схемой. Теряемый тепловой потенциал можно определить из соотношения:

$$Q = G_k \cdot (i_1 - i_2) = 0,64 \text{ Гкал/ч}$$

где:  $G_k = 9,4 \text{ кг/ч}$  - количество паро-конденсатной смеси, отводимое от кипятильников 77<sub>1,2</sub>, 39<sub>1,2</sub>, 39<sub>3,4</sub>, 77<sub>3,4</sub>, 51<sub>1,2</sub>, 60<sub>1,2</sub> (рассчитано как разность общей подачи пара от РОУ-1 (с расходом 11,2 т/ч) и подачи пара на кипятильники колонны (1,8 т/ч – по тепловому балансу подогрева упаренной реакционной массы в колонне);

$i_1 = 183 \text{ ккал/кг}$  – теплосодержание паро-конденсатной массы, поступающей в сепаратор 77а.

Температура, а, следовательно, и степень влажности водяного пара, поступающей паро-конденсатной смеси от кипятильников ректификационных колонн различны, а именно:

39 (1) - 135°C;	60 (1) - 185°C;
39 (2) - 129°C;	60 (2) - 185°C;
39 (3) - 147°C;	77 (1) - 132°C;
39 (4) - 149°C;	77 (2) - 154°C;
51 (1) - 165°C;	77 (3) - 141°C;
52 (2) - 162°C;	77 (4) - 157°C.

Вследствие этого, при поступлении в один сборный бак по одному конденсатопроводу паро-конденсатной смеси от кипятильников ректификационных колонн с приведенной выше температурой, неизбежно наличие пролетного пара.

Принимая его количество в объеме 5% от общей массы паро-конденсатной смеси, рассчитаем:

$$i_1 = (i_n \cdot G_k \cdot 0.05 + i_k \cdot G_k \cdot 0.05) = 183 \text{ ккал/кг}$$

где:

$i_n = 494 \text{ ккал/кг}$ ,  $i_k = 167 \text{ ккал/кг}$ , теплосодержание пара и конденсата на линии насыщения при температуре 168°C.

$i_2 = 112$  ккал/кг, теплосодержание конденсата на линии насыщения при температуре  $115^\circ\text{C}$ .

Частичное использование рассчитанного теплового потенциала  $Q_{\text{исп.}}$  возможно в теплообменном аппарате для предварительного подогрева реакционной массы, поступающей на упарку. Рассматриваемое количество реакционной смеси, поступающей в теплообменник, составляет 89,4% от регламентного расхода.

Количество тепла необходимое для нагрева реакционной смеси приведенного состава и количества составит:

$$Q = (G_{\text{ок.эт}} \cdot c_{\text{ок.эт}} + G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} + G_{\text{мэг}} \cdot c_{\text{мэг}} + G_{\text{дэг}} \cdot c_{\text{дэг}}) \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) = 0,344 \text{ Гкал/ч}$$

где:

$G_{\text{ок.эт}} = 3010 \cdot 0,894 = 2691$  кг/ч;  $G_{\text{воды}} = 10110 \cdot 0,894 = 9038$  кг/ч;  $G_{\text{мэг}} = 8060 \cdot 0,894 = 7206$  кг/ч;  $G_{\text{дэг}} = 3120 \cdot 0,894 = 2789$  кг/ч;  $G_{\text{ок.эт}} \cdot c_{\text{ок.эт}} = 0,44$  ккал/кг  $^\circ\text{C}$ , теплоемкость окиси этилена (массовая);  $c_{\text{вод.}} = 1$  ккал/кг  $^\circ\text{C}$ , теплоемкость воды;  $c_{\text{мэг}} = 0,87$  ккал/кг  $^\circ\text{C}$ , теплоемкость моноэтиленгликоля;  $c_{\text{дэг}} = 0,92$  ккал/кг  $^\circ\text{C}$ , теплоемкость диэтиленгликоля;  $t_{\text{вх}} = 117^\circ\text{C}$ , температура реакционной массы на выходе из теплообменника;  $t_{\text{вых}} = 140^\circ\text{C}$ , максимальная температура предварительного подогрева реакционной массы, разрешенная регламентом.

Годовая экономия теплоэнергии составит:

$$Q_{\text{г}} = Q \cdot T$$

где:  $T = 8040$  ч, время работы технологического оборудования в год.

$$Q_{\text{г}} = 0,344 \cdot 8040 = 2765 \text{ Гкал}$$

Годовой экономический эффект от уменьшения количества пара  $6$  кгс/см $^2$ :

$$C = Q_{\text{г}} \cdot C_{\text{п}} = 2765 \cdot 441,5 = 1220,75 \text{ тыс.руб.}$$

где:  $C_{\text{п}}$  – усредненный тариф на потребляемую теплоэнергию в виде пара  $441,5$  руб./Гкал.

Ориентировочные затраты на реализацию мероприятия  $4\,000$  тыс. руб.

Срок окупаемости технического решения составит:

$$T = \frac{4000}{1220,75} = 3,3 \text{ года.}$$

### Литература

1. Основные требования при выборе теплоизоляционных материалов для трубопроводов тепловых сетей/Бальзамов Д.С., Бальзамова Е.Ю.В сборнике: Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего сборник материалов IX Международной научно-практической конференции. 2018. С. 194-197.

2. Analysis of the technique of software products for the selection of heat-insulating materials for heat networks pipelines / Balzamorov, D.S., Balzamorova,

E.Y., Khaibullina, A.I., Sabitov, L.S. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019.

3. Evaluation of the applicability of pre-evaporative cooling of air in front of the cooling tower in the conditions of the third climatic zone of the Russian Federation / Balzamov, D.S., Sabitov, L.S., Timershin, B.F., Yu Balzamova, E. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018.

## УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА ОКСИ ЭТИЛЕНА

Бальзамов Денис Сергеевич, Бальзамова Елена Юрьевна  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

**Аннотация.** Предприятия нефтегазохимической отрасли характеризуются высоким выходом вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), которые зачастую не находят полезного использования. В данной статье предлагается вариант использования тепловых ВЭР технологических печей с целью выработки водяного пара для производственных нужд.

**Abstract.** Enterprises of the petrochemical industry are characterized by a high yield of secondary energy resources (SER), which often do not find useful use. This article proposes the option of using thermal SER technological furnaces with the aim of generating water vapor for industrial needs.

**Ключевые слова:** утилизация, дымовые газы, котел-утилизатор, печь.

**Key words:** utilization, flue gases, recovery boiler, stove.

Рассматривается производственный участок окиси этилена предприятия органического синтеза. Потребителями топливного газа технологического участка являются печи Н-1, Н-2, Н-3. Данные по параметрам работы печей Н-1, Н-2 приведены в таблице 1.

Все расходные данные балансовой схемы приняты в соответствие с технологическим регламентом работы печей.

Расчет количества теплоты, вырабатываемой в печах за счет сжигания топлива выполнен с учетом химического состава топливного газа, соответствующего калорийному коэффициенту 1,814. Тепловые потери в окружающую среду приняты равными 5%.

Тепло выходящее из печи с продуктами сгорания рассчитано по составу и объему контактных газов и пара ВЭР.

Таблица 1. Технические и эксплуатационные данные печей Н-1, Н-2.

Наименование показателя	Печь Н-1	Печь Н-2
Тепло, вырабатываемое за счет сжигания	4,0 Гкал/ч	5,65 Гкал/ч
Температура продукта:		
- на входе в печь	177 °С	209 °С
- на выходе из печи	385 °С	380 °С
Температура дым.газов на выходе из печи	345 °С	365 °С

Тепло, выходящее из печи с продуктом	2,85 Гкал	3,62 Гкал
Тепло, уходящее с дымовыми газами	0,95 Гкал/ч	1,75 Гкал/ч
Тепловые потери через обмуровку печи, теплоизоляцию газоходов	0,2 Гкал/ч	0,28 Гкал/ч

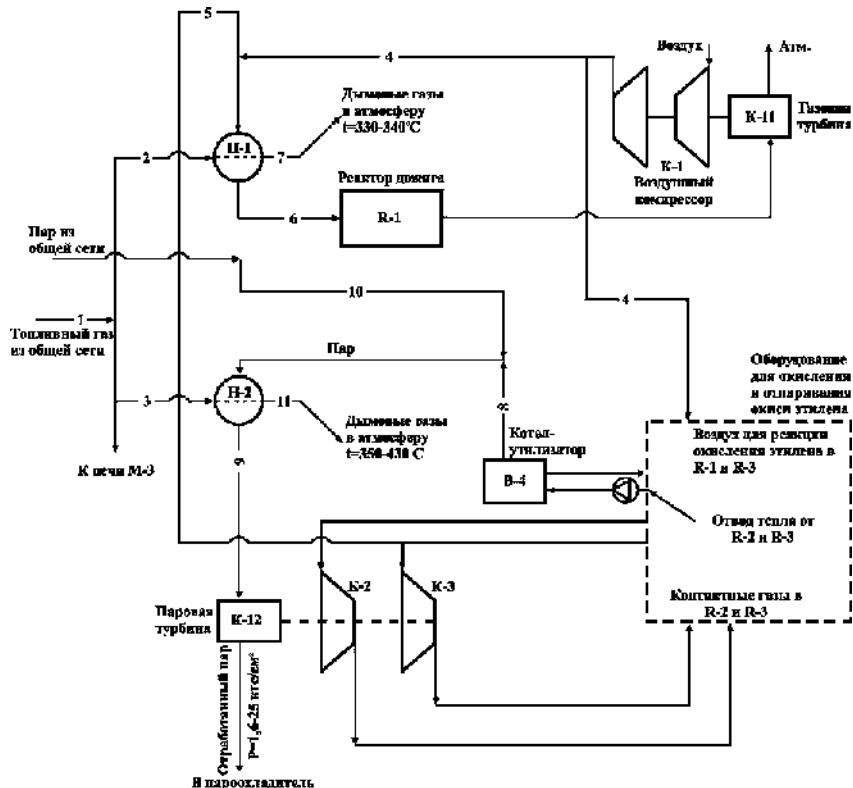


Рис. 1. Принципиальная балансовая схема работы печей Н-1, Н-2

Приняты обозначения:

- 1 – линия подачи топливного газа из общей сети;
- 2 – подача топливного газа в печь Н-1;
- 3 – линия подачи топливного газа в печь Н-2;
- 4 – линия подачи сжатого воздуха от компрессора К-1;
- 5 – линия подачи контактного газа хвостового цикла;
- 6 – линия отвода нагретой в печи газозвоздушной смеси в реактор дожига R-1;
- 7,11 – линия отвода дымовых газов от печей в атмосферу;
- 8 – линия подачи водяного пара от котла-утилизатора В-4;
- 9 – линия отвода перегретого водяного пара к турбине К-12;
- 10 – линия подачи водяного пара из общезаводской сети.

Среднюю калорийность топлива  $Q_p^H$  можно определить по следующему выражению:

$$Q_p^H = \frac{q_T \cdot G_{\text{ок.эт}} \cdot Q_{\text{у.т}}}{G_{\text{тл}}} = 12700 \text{ ккал/кг},$$

где:

$G_{\text{ок.эт}} = 4800$  т в месяц (6670 т/ч) – выработка окиси этилена;

$G_{\text{тл}} = 760$  кг/ч — потребление топлива на выработку окиси этилена;

$q_T = 206,85$  кг.у.т./т.ок.эт. – удельный расход топлива на выработку тонны окиси этилена;

$Q_{\text{у.т}} = 7000$  ккал/кг - количество теплоты, выделяющейся при сжигании 1 кг у.т.;

Предлагается использовать тепло дымовых газов для получения 2,16 т/ч пара с давлением возможным к использованию в тепловом пункте, что в год составит 7831 Гкал [1,3,4].

Расчет теоретически необходимого количества воздуха для сжигания 1 м<sup>3</sup> топлива с учетом состава топливного газа произведем в соответствие с выражением:

$$V_0 = 0,01 \cdot (2,38 \cdot \text{H}_2 + 9,52 \cdot \text{CH}_4 + 16,66 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 14,28 \cdot \text{C}_2\text{H}_4 + 23,80 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 21,42 \cdot \text{C}_3\text{H}_6)$$

$$V_0 = 0,01 \cdot (2,38 \cdot 24,23 + 9,52 \cdot 73,77 + 16,66 \cdot 0,01 + 14,28 \cdot 1,42 + 23,80 \cdot 0,05 + 21,42 \cdot 0,5) = 7,92 \text{ м}^3 \text{ воздуха/м}^3 \text{ топлива или } 17,86 \text{ кг воздуха/кг топлива.}$$

Количество продуктов сгорания, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> составит:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (1 \cdot \text{CH}_4 + 2 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 2 \cdot \text{C}_2\text{H}_4 + 3 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 3 \cdot \text{C}_3\text{H}_6) = 0,01 \cdot (1 \cdot 73,77 + 2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 1,42 + 3 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,5) = 0,78 \text{ м}^3 \text{ CO}_2/\text{м}^3 \text{ топлива или } 2,7 \text{ кг CO}_2/\text{кг топлива.}$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot (1,8 \cdot \text{H}_2 + 7,52 \cdot \text{CH}_4 + 13,16 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 11,28 \cdot \text{C}_2\text{H}_4 + 18,8 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 16,92 \cdot \text{C}_3\text{H}_6) = 0,01 \cdot (1,8 \cdot 24,23 + 7,52 \cdot 73,77 + 13,16 \cdot 0,01 + 11,28 \cdot 1,42 + 18,8 \cdot 0,05 + 16,92 \cdot 0,5) = 6,24 \text{ м}^3 \text{ N}_2/\text{кг топлива или } 13,6 \text{ кг N}_2/\text{кг топлива.}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (1 \cdot \text{H}_2 + 2 \cdot \text{CH}_4 + 3 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 2 \cdot \text{C}_2\text{H}_4 + 4 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 3 \cdot \text{C}_3\text{H}_6) = 0,01 \cdot (1 \cdot 24,23 + 2 \cdot 73,77 + 3 \cdot 0,01 + 2 \cdot 1,42 + 4 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,5) = 1,76 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{м}^3 \text{ топлива или } 2,36 \text{ кг H}_2\text{O}/\text{кг топлива.}$$

$V_{\text{дым.газ.}} = 8,78$  м<sup>3</sup> дым.газ./м<sup>3</sup> топлива или 18,66 кг дым.газ./кг топлива.

Расход дымовых газов  $G_{\text{дг}}^{\text{уд}}$  на 1 кг топлива при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,0$  равен 18,66 дым.газ./кг топлива.

Принимая коэффициент избытка воздуха для печей  $\alpha = 1,2$ , получим следующие значения:

$$V_{\text{дым.газ.}} = 10,36 \text{ м}^3 \text{ дым.газ./м}^3 \text{ топлива}$$

$$G_{\text{дг}}^{\text{уд}} = 22,26 \text{ кг дым.газ./кг топлива.}$$

$$G = G_0 \cdot G_{\text{дг}}^{\text{уд}} = 16918 \text{ кг/ч}$$

где:  $G_0$  – общий расход топлива на печи Н-1, Н-2, 760 кг/ч;

$G_{\text{дг}}^{\text{уд}}$  – расход дымовых газов на 1 кг топлива, 22,26 кг.

Для определения потенциала утилизации тепла принимаем температуру уходящих газов равной 150°C (предельное значение, до которого можно охладить дымовые газы из условий серноокислотной коррозии), тогда:

$$Q_{o.g} = G \cdot (c_{\text{вых}} \cdot t_{\text{вых}} - c_{\text{ут.}} \cdot t_{\text{ут.}}) = 0,974 \text{ ккал / ч}$$

где:

$G = 16918$  кг/ч, расход дымовых газов;

$c_{\text{вых}} = 0,285$  ккал/кг·°С, теплоемкость дымовых газов при 350 °С;

$c_{\text{ут.}} = 0,272$  ккал/кг·°С, теплоемкость дымовых газов при 150 °С.

Количество вырабатываемого пара  $G_{\text{п}}$  определим по выражению:

$$G_{\text{п}} = (Q_{\text{д.г}} / i_1 - i_2) \cdot \eta_{\text{бр.}} = 1556 \text{ кг/ч,}$$

где:

$\eta_{\text{бр.}} = 0,9$ , КПД котла-утилизатора.

$i_1 = 663$  ккал/кг – энтальпия пара  $P = 10$  кгс/см<sup>2</sup>;

$i_2 = 99,8$  ккал/кг – энтальпия питательной воды  $t = 98$  °С;

Годовая экономия тепловой энергии составит:

$$Q = Q_{o.g} \cdot T = 0,974 \cdot 8040 = 7831 \text{ Гкал/год или } 17409,8 \text{ т/год}$$

где:

$T = 8040$  ч, время работы оборудования за год.

Годовой экономический эффект от внедрения:

$$\Delta C = 7831 \cdot (460 - 110) = 2740,85 \text{ тыс. руб./год}$$

где:

460 руб./Гкал и 120 руб./Гкал стоимость пара 13 от внешнего теплоисточника и пара ВЭР.

Ориентировочные затраты на приобретение и монтаж котлов-утилизаторов составят 12,6 млн. руб., таким образом, срок окупаемости мероприятия составит:

$$T = \frac{12600}{2740,85} = 4,6 \text{ года}$$

### Литература

1. Increase of efficiency of heat sources work due to application of condensation economizers on an example of a boiler PTVM-180/ Balzamor, D.S., Sabitov, L.S., Timershin, B.F., Yu Balzamova, E. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018.

2. Overview of advanced technologies for generating companies / Balzamor D.S., Timershin B.F. Modern Science. 2017. № 2. С. 26-29.

3. Повышение эффективности работы теплоисточников / Бальзамов Д.С., Зиганшина А.Р. В сборнике: Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи материалы IV российской молодежной научной школы-конференции: в 2 томах. Томский политехнический университет. 2016. С. 36-38.

4. Повышение эффективности работы водогрейной котельной за счет внедрения утилизатора тепла / Бальзамов Д.С., Шигапова А.Р. В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты Материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной

100-летию ФГБОУ ВО "ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова": в 2 томах. Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. 2017. С. 69-74.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕНТОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ НА СДВИГ В ЛЕГКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ В РАМКАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ**

Валеев Ильдар Рафкатович, студент-магистрант  
[valeevildar@list.ru](mailto:valeevildar@list.ru)

Шмелёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКИИС  
[gn.shmelev@mail.ru](mailto:gn.shmelev@mail.ru)

Хайдаров Ленар Ильнурович, ассистент кафедры МКИИС  
Гимазетдинов Айваз Расимович, студент-магистрант  
ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** Использование тентовых покрытий значительно увеличилось за последние десятилетия. В связи с тем, что применение данных материалов с каждым годом набирает значительные обороты, большой опыт в проектировании и исследовании тентов в различных конструкциях все еще не был получен. Большой интерес в исследовании вызывает воздействие ветровой нагрузки на конструкции с применением тентовых покрытий, а особенно их совместная работа, общая жесткость и устойчивость. Современные нормативные документы не дают полного представления о поведении тентовых материалов при включении их в работу каркасов конструкций, поэтому есть необходимость анализа и исследования их поведения при воздействии ветровой нагрузки.

В данной статье выполнено численное исследование напряженно-деформированного состояния легких металлических сооружений с тентовым ограждением.

**Abstract.** The use of tent coverings has increased significantly over the past decades. Due to the fact that the use of these materials is gaining significant momentum every year, extensive experience in the design and study of tents in various designs has not yet been gained. Of great interest in the study is the effect of wind load on structures using tent covers, and especially their joint work, general rigidity and stability. Modern regulatory documents do not give a complete picture of the behavior of tent materials when they are included in the work of structural frames, so there is a need to analyze and study their behavior when exposed to wind load.

In this article, a numerical study of the stress-strain state of light metal structures with an awning fencing is carried out.

**Ключевые слова.** Тентовое покрытие, фиктивная связь, модуль упругости.



**Введение.** Цель работы - разработка рекомендаций по расчету конструкций с тентовыми покрытиями в ПК «ЛИРА-САПР».

Каркасно-тентовые конструкции – это сооружения из металлического каркаса, покрытые тканью ПВХ (поливинилхлорид). Каркас обеспечивает прочность и устойчивость объекта, способен выдерживать значительные нагрузки. Полот из поливинилхлорида надежно защищает от неблагоприятных климатических воздействий. Специальное защитное покрытие делает полотно водонепроницаемым, повышает его устойчивость к гниению, воздействию ультрафиолетовых лучей, различным загрязнениям.

Работ, посвященных анализу действующих на тентовые покрытия нагрузок, немного. На все виды тентовых покрытий оказывают влияние ветер, а на некоторые действует еще и вес снега. Поэтому исследование работы тентового ограждения на сдвиг в легких металлических при воздействии различных видов воздействий является весьма важной задачей.

#### Методика определения сдвиговой жесткости тентовых материалов.

В статье Dr.-Ing Robert Hertle был рассмотрен результат испытаний настила в системе сборно-разборных конструкций на основе строительных лесов на воздействие горизонтальных нагрузок в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Основываясь на рекомендациях статьи, была рассмотрена плоская система из одной ячейки каркасно-тентовой конструкции между двумя продольными рамами с шагом  $B$  и высотой стоек  $H$ . Рассматриваем только случай работы тента в направлении вдоль ригеля (параллельном плоскости продольной ячейки), считая ригель шарнирно опертым на стойки.

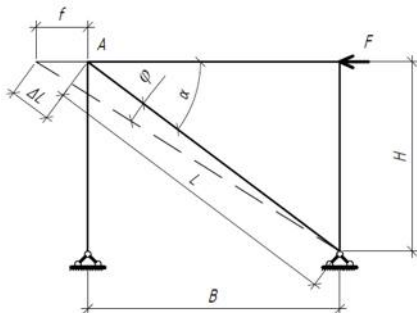


Рисунок 1. Расчетная схема методики расчета

Рассматриваем крестовую решетку из фиктивных связей, так как тент может работать на сдвиг в обоих направлениях. Однако в расчет принимаем связь, работающую только на растяжение при горизонтальной нагрузке, приложенной в конкретном направлении (гибкие сжатые связи теряют устойчивость и в работе не участвуют). Задача состоит в определении модуля упругости  $E$  фиктивной связи, чтобы задать ее в любой программный комплекс, реализующий метод конечных элементов.

После несложных математических и геометрических преобразований была получена формула для определения модуля жесткости фиктивной связи

$$EA = \frac{F \cdot l}{f \cdot \cos^2 \alpha} \quad (1)$$

На основе предложенной выше аналитической методики учета сдвиговой жесткости тента под действием горизонтальной нагрузки было произведено моделирование работы тента в нелинейной постановке задачи, приведенной на рисунке 2

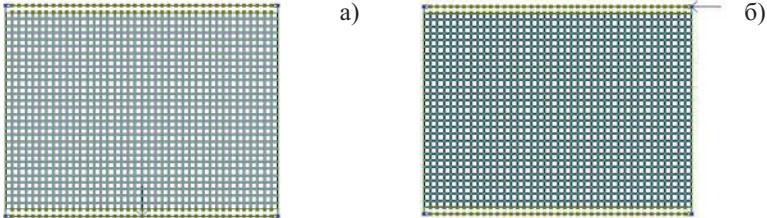


Рисунок 2 а) нагрузка 1 – предварительное натяжение тента; б) нагрузка 2 – сдвигающая нагрузка.

Затем сравнивались полученные результаты при моделировании тента и при моделировании фиктивной связи, при этом были получены равные перемещения. Таким образом, можно сделать вывод о работоспособности предложенной методики учета сдвиговой жесткости тента при его работе на горизонтальные нагрузки.

Однако для задания параметров фиктивной связи необходимо, чтобы её модуль упругости зависел от модуля упругости применяемого тента, поэтому для определения общей формулы рассмотрены зависимости изменения модуля упругости от: 1) от угла  $\alpha$ ; 2) длины  $l$ . Для этого произведены расчеты в ПК ЛИРА-САПР, после которых были сделаны следующие выводы:

- 1) Наблюдается обратная линейная зависимость модуля упругости фиктивной связи от косинуса угла наклона самой связи;
- 2) Наблюдается практически линейная зависимость модуля упругости фиктивной связи от ее длины.

Однако для более точных расчетов необходимо, чтобы оба параметра (длина фиктивной связи  $l$  и угол наклона  $\alpha$ ) входили в обобщенную формулу. На основе полученных выше выводов была получена следующая формула:

$$E = K \cdot E_{\text{тента}} \cdot l / \cos^2 \alpha \quad (2)$$

Для более точных расчетов необходимо выполнять линейную интерполяцию и получать более точный коэффициент  $K$ , некоторые из которых можно выделить из следующей таблицы:

$\alpha$	2,5	5	7,5	10
$E, \text{кН}$				
30	0.015	0.014	0.014	0.014
45	0.013	0.012	0.012	0.012
60	0.008	0.007	0.007	0.007

Для подтверждения полученной методики была рассмотрена конструкция павильона пролётом 10м с тентом и с фиктивной связью. В данном примере использовался тент с модулем упругости 300МПа. Результаты перемещений получились практически идентичные.

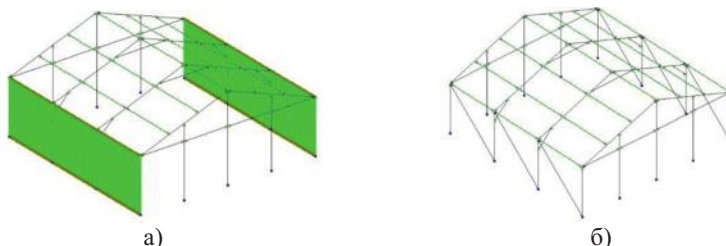


Рисунок 3. Расчетная схема а) с тентом, б) с фиктивными связями.

Для выявления доли включения тента в реальных конструкциях была рассмотрена одновременная работа схем с существующими гибкими связями и схемы с тентовым полотном. В результате расчета приходящая доля на работу тента составила 19 %.

**Выводы.** С использованием полученной методики была реализована качественная задача по расчету тентовых конструкций, на основе которой были сделаны следующие выводы и рекомендации:

- 1) Была предложена общая формула для определения модуля упругости фиктивной связи:  $E = K \cdot E_{тента} \cdot l / \cos^2 \alpha$ ;
- 2) Для небольших в плане конструкций целесообразно использование гибких связей, а при учете сдвиговой жесткости тента в продольном направлении можно увеличить жесткость конструкции причем на 19%;

#### Список литературы

1. Dr.-Ing. Robert Hertle. Gerüstbau – Stabilität und statischkonstruktive Aspekte / Dr.-Ing. Robert Hertle // STAHLBAU KALENDER. - Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin. - 2009. - с. 857-948.
2. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Статическая работа, расчет и конструирование тентово-вантовых покрытий», Таллин, 1984
3. Хайдаров Л.И., Шмелев Г.Н., Зиятдинов Э.К. Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу // Известия КГАСУ № 2 (40). –2017 – с. 139-145

## НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДЕАЭРИРУЮЩИХ КОНДЕНСАТОСБОРНИКОВ

Водениктов Артем Дмитриевич<sup>1</sup>, Минибаев Азамат Ильшатович<sup>2</sup>,  
Гаева Ангелина Анатольевна<sup>3</sup>.

Казанский Государственный Энергетический Университет  
<sup>1</sup>vodhan@mail.ru, <sup>2</sup>minibaev-a@list.ru, <sup>3</sup>gaevaya.angelina@icloud.com

В статье описаны результаты применения устройств, повышающих деаэрационную способность конденсатора паровой турбины. Рассмотрен опыт применения данных устройств, а также режимные рекомендации.

In the article presented results of the maintenance of the deaeration devices for steam turbine condensers. Based on experiments the recommendations for optimum regime was given.

**Ключевые слова:** деаэрация, конденсаторы, ВХР, кислород.

**Key words:** Oxygen, steam turbine, hotwell, deaeration.

Обеспечение надежной работы оборудования современных мощных энергетических блоков, особенно на сверхкритические начальные параметры пара, возможно лишь при высоком качестве питательной воды и основного конденсата. Одним из показателей, определяющим качество воды в конденсационно-питательном тракте, является концентрация коррозионно-активных газов (кислорода и свободной двуокиси углерода).

По значению концентрации растворенного кислорода в основном конденсате можно судить и о состоянии всей вакуумной системы паровой турбины. Превышение данного показателя говорят о высоких присосах и низкой деаэрирующей способности конденсатора в частности [1].

Правила технической эксплуатации жестко регламентируют данное значение – не более 20 мкг/м<sup>3</sup>. Как показывает анализ режимов работы паровых турбин, работающих как в конденсационном, так и в тепловом режиме, в различные периоды наблюдается превышение допустимой концентрации кислорода в тракте регенерации низкого давления, в среднем, в 2-4 раза.

Согласно исследованиям, применение в современных конденсаторах трубных пучков регенеративного типа обычно позволяет обеспечить установленное содержание кислорода в конденсате. Однако, при присосах воздуха, превышающих норму, а также малых паровых нагрузках и низких температурах охлаждающей воды возникает необходимость в дополнительной деаэрации конденсата в конденсаторе.

Большинство турбостроительных заводов предлагают деаэрационные устройства для дополнительной деаэрации основного конденсата в конденсаторе. Данные решения реализованы в турбинах К-300-240, К-800-240 Ленинградского металлического завода, Т-250/300-240, Т-175/210-130 Уральского турбинного завода и К-500-240-1 Харьковского турбогенераторного завода [2]. В зависимости от системы организации потоков деаэрационные устройства подразделяются на пленочные, насадочные, струйные (при движении воды в паре) и барботажные (при движении пара в воде).

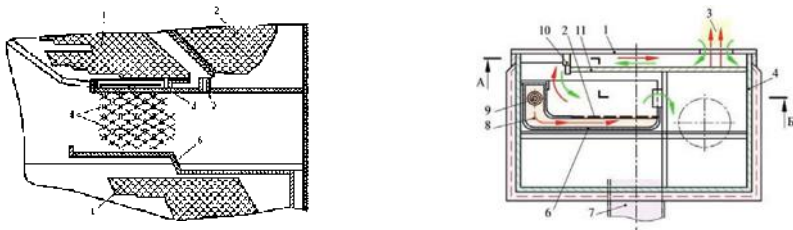


Рис. 1. Схема деаэрационного устройства ХТГЗ (слева) и ЛМЗ (справа)

При струйном типе (рис.1 слева) образующийся конденсат через отверстия сливается с водораспределительных тарелок 3 на неохлаждаемые стержни 4, разбиваясь на капли и пленки. Пар для деаэрации просасывается между стержнями 4 к воздухоохладителю 2. Деаэрированный конденсат попадает на сборную тарелку 6 и с нее отводится в конденсатосборник.

При барботажном типе (рис.1 справа) конденсат сливаемый из конденсатора 1 попадает на барботажный перфорированный лист 2. Пар барботируется в виде пузырей через слой конденсата. Часть пара конденсируется, остальной пар проходит через слой конденсата и отводится в конденсатор, прежде подогреваясь на распределительном водосливе 10.

В ходе работы был исследован деаэрирующий конденсатосборник оригинальной конструкции, представляющий собой барботажный коллектор. Оценка качества работы велась на основании снижения концентрации кислорода в основном конденсате. Тестирование производилось на нагрузках энергоблока, близких к номинальному.

В зависимости от расхода пара в деаэрационное устройство, концентрация кислорода в основном конденсате снижалась в 1,5-2 раза по сравнению с исходной. Кроме того, температура конденсата увеличилась, в среднем, на 1 градус после включения устройства.

Проведенные испытания показали, что включение данного устройства позволяет снизить содержание кислорода в основном конденсате и увеличить его нагрев.

Необходимо отметить, что для наиболее экономичной работы деаэрирующей вставки, необходимо поддерживать оптимальный расход пара, зависящий от расхода пара в конденсатор. Особое внимание стоит уделять расходу и качеству подпиточной воды, чей поток заведен в конденсатор. При низком качестве подпитки, расход пара на деаэрацию должен быть увеличен.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лосев С.М. . Паровые турбины. — 9. — М. :Госстройиздат, 1959. — 384 с.
2. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. . Конденсационные установки паровых турбин: Учебн. пособие для вузов, М.: Энергоатомиздат, 1994 – 288с. ил. ISBN 5-283-00162-8

## ПЕРСПЕКТИВНАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СФЕРЕ УТИЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Воронцов Дмитрий Петрович,  
Шихалёв Анатолий Михайлович,  
Ялалина Вероника Артуровна,  
Закирова Альфия Равильевна,  
Садыков Зуфар Барыевич,  
Хананова Аделина Фаридовна

г. Казань, Кремлевская 18, 420008, К(П)ФУ, Инженерный институт

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся завершающего этапа жизненного цикла продукции: утилизация и (или) переработка. Актуальность этих вопросов определяет приоритеты в развитии стандартизации в РФ. В работе проанализирована деятельность технических комитетов, реализующих данные направления, и предложены варианты ее совершенствования.

**Abstract.** In our study we explored the issues of the product life cycle last stage i.e. the utilization and / or recycling (reprocessing). The relevance of these aspects determines the priorities in the Russian Federation standardization development. In the article we analyse the technical committees activities which realise the implementation of this direction and propose the ways of its enhancement.

**Ключевые слова:** стандартизация, утилизация, технический комитет, ресурсосбережение.

Под отходами понимают остатки продуктов или дополнительный продукт, образующиеся в процессе или по завершении определенной деятельности и не используемые в непосредственной связи с этой деятельностью [1]. Образовавшиеся в процессе жизнедеятельности человека отходы двух видов: производственные/промышленные и отходы потребления. К промышленным относят продукты, материалы, изделия и вещества, образующиеся в результате производственной деятельности человека, вторичное использование которых на данном предприятии нерентабельно, среди способов их утилизации захоронение на специализированных полигонах, сжигание на мусоросжигательных заводах, пиролиз, переработка во вторичное сырье с последующим использованием и вторичная переработка. Утилизация – виды работ по обеспечению ресурсосбережения, при которых осуществляются переработка и/или вторичное использование отслуживших установленный срок и/или отбракованных изделий, материалов, упаковки ит.п., а также отходов [2].

На официальном сайте Росстандарта по направлению «Стандартизация» во вкладке «Технические комитеты» (ТК) произведем поиск комитетов, работающих по теме. По запросу “Утилизация продукции и отходов производства» ТК не найдены. По запросу “Окружающая среда” выявлено 10 результатов, из которых деятельностью 4 комитетов частично или полностью являются области стандартизации в сфере охраны окружающей среды, проектов по охране окружающей среды, из них только ТК 409 «Охрана окружающей природной среды» работает по ОКС 13.030.01 Отходы в целом. Выполнен поиск по слову

“Отходы”, из 5 данных условно подходит только ТК 113 «Наилучшие доступные технологии» (НДТ). В итоге, выявлено всего 2 ТК, которые могут проводить разработку, быть связаны с утилизацией продукции и отходов производства, соответствуя по кодам областей стандартизации по ОКС:13.020.01 Окружающая среда и охрана окружающей среды в целом, 13.030.01 Отходы в целом. Рассмотрим их деятельность подробнее.

Характерная структура подчиненности и управления в данной сфере у комитета 409 «Охрана окружающей природной среды», под ведением ФГБУ «ВНИИ Экология». Председатель Недре А. Ю., директор данного НИИ, секретарь Бутовской Р. О., заведующий в нем Центром технологии. Действующие документы национального органа по стандартизации по организации и функционированию ТК: Приказ от 24.06.2011 № 3004 "О создании ТК по стандартизации "Охрана окружающей природной среды" (утратил силу); Приказ от 20.01.2014 № 29 (О внесении изменений) [3]; Приказ от 20.11.2015 № 1430 «О реорганизации ТК по стандартизации "Охрана окружающей природной среды"» [4]. ТК выполняет функции постоянно действующего члена аналогичного Межгосударственного комитета по стандартизации 508 «Управление окружающей средой», а также участвует в работе ИСО/ТК 207 «Управление окружающей средой». ИСО/ТК 207 является ответственным за разработку стандартов серии ISO 14000, обеспечивающих развитие экологического менеджмента. Одним из подкомитетов является ПК 2 «Обращение с отходами», создан 20.11.2015 [5]. Аналогична ситуация по секторальным связям и управлению для ТК 113. Деятельность регламентируется Приказом № 1236 от 01.08.2014 «О создании ТК по стандартизации "НДТ"» [4]; Приказ Росстандарта № 765 от 01.07.2015 г. (Внесение изменений и дополнений) [7]; Приказом № 1561 от 14.12.2015 (О внесении изменений и дополнений)[4]; Приказом от № 432 02.03.2017(Состав ТК 113)[7]. ТК функционирует по 27 группам и 36 подгруппам ОКС[5], работа направлена на разработку нормативной базы для осуществления координации экологической и промышленной политик. Сайт ТК 113 дает возможность оценить ее, выявив статус разрабатываемых стандартов/проектов документов за 2015-2018 гг. В статусе “утвержден” документы по теме: 1.0.113-1.003.16 "НДТ. Ресурсосбережение. Стратегии и методы термической обработки отходов"; Проект ИТС НДТ 15«Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)»; Проект ИТС НДТ 17 "Размещение отходов производства и потребления". Статус “голосование” у документов:1.0.113-1.004.16 "НДТ. Ресурсосбережение. Аспекты эффективного обращения с отходами в известковой промышленности";1.0.113-1.005.16 "НДТ. Ресурсосбережение. Аспекты эффективного обращения с отходами в цементной промышленности";1.0.113-1.006.16 "НДТ. Ресурсосбережение. Методология обработки отходов в целях получения вторичных материальных ресурсов";1.0.113-1.007.16 "НДТ. Ресурсосбережение. Методология обработки отходов в целях получения вторичных энергетических ресурсов";1.0.113-1.015.16 "НДТ. Ресурсосбережение. Стратегии, принципы и методы экологически ориентированного управления отходами";1.0.113-1.016.16 "НДТ. Ресурсосбережение. Контроль качества отходов, поступающих на

мусоросжигательные заводы";1.0.113-1.018.16"Ресурсосбережение. НДТ. Иерархический порядок обращения с отходами"[7]. В составе ТК 50 рабочих групп, 3 из них по утилизации отходов: ТРГ 9 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)»; ТРГ 15 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термоспособом (сжигание отходов)»; ТРГ 17 «Размещение отходов производства и потребления».

По качественным показателям деятельности ТК отметим, что Правительством РФ в 2006 г. утверждена концепция развития нацсистемы стандартизации. В соответствии с ней Ростехрегулированием организован ТК «Обращение с отходами» 349, подготовивший и внесший ГОСТы серии: «Топливо твердое из бытовых отходов»: 2010 г. – 14 стандартов; 2012 г. – 13; 2013 г. – 4 (всего подготовлен 31 документ); «Ресурсосбережение»: 2009 г. – 10; 2010 г. – 25; 2011 г. – 6; 2012 г. – 17; 2013 г. – 14; 2014 г. – 3 (всего 75); «НДТ»: 2009 г. – 1; 2010 г. – 9; 2012 г. – 5; 2013 г. – 9 и 2014 г. – 3 предварительных национальных стандарта (всего 27). При разработке всех указанных стандартов реализованы нормы Справочников ЕС или использован «метод обложки», когда международный стандарт после квалифицированного перевода практически не изменяется, принимаясь как национальный; в случае небольших изменений/дополнений международного документа, использовался «метод модификации». Принятый в ряде стран метод «замены обложки» с международной на национальную в РФ проблематичен в применении по ряду причин, т.к. международные нормы не адаптированы к российским условиям. Так, для твердых коммунальных отходов значительна разница по составу отходов, плотности, что влияет на требования, к оборудованию и самой технологической сборке как для переработки отходов, так и для сжигания. В п.2 ст. 3 N 458-ФЗ РФ от 29.12.2014 г. направления госполитики в обращении с отходами приоритетны в следующем порядке: максимальное использование исходных сырья и материалов; предотвращение образования отходов, и т.д. Большинство данных стандартов нацелены не на максимальное использование отходов как вторичных ресурсов, а на сжигание, это касается и Справочников по НДТ: первый, внесенный в Бюро НДТ на обсуждение - по сжиганию отходов, поскольку прямых соответствий в ЕС Справочникам по использованию вторичных ресурсов нет. По экономической составляющей стандартизации: внедрение отходопереработки позволит дать, по разным оценкам, до 4,5% к ВВП РФ, сжигание же дает энергию ниже рентабельной и не принимаемую энергосбытовыми компаниями в сети. ТК 349 работал до 20.11.2015 (см. выше).

По указанным приоритетам рассмотрим стандартизацию направления в целом, используя сайт [GostPDF.ru](http://GostPDF.ru), где стандарты рассортированы по папкам в соответствии с общероссийским классификатором стандартов. В папке 13.30 «Отходы» 96 ГОСТов с основными названиями «Ресурсосбережение. Отходы в целом» и «Ресурсосбережение. НДТ», но не все устанавливают правила, рекомендации, процессы по переработке/утилизации промышленных и отходов потребления, лишь 5 (группа «Ресурсосбережение. Обращение с отходами»): ГОСТ Р 54533-2011 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы и методы утилизации полимерных отходов; ГОСТ Р 55087-2012 ...



Требования к контролю трансграничного перемещения отходов, предназначенных для операций по утилизации; ГОСТ Р 55090-2012 ... Рекомендации по утилизации отходов бумаги; ГОСТ Р 55091-2012 ... Рекомендации по утилизации и повторному использованию упаковки для напитков; ГОСТ Р 55838-2013... Требования к безопасному хранению списанных изделий перед утилизацией. Активно стандарты рационального обращения с отходами, в т. ч. радиоактивными, вводятся с 2011 г., их 23.

Стандартизация по указанному перспективному направлению необходима: нужно решать ряд задач, включая проблемы ограниченности ресурсов, всеми способами, включая переработку, утилизацию, рециклинг. На наш взгляд, существующие комитеты количественно продуктивны и формально справляются со своей задачей, но их область деятельности огромна. Целесообразно учредить отдельный ТК и включить в сферу разработок группу ОКС «Отходы» и входящие в нее подгруппы. Подобный уже существовал за № 349 «Обращение с отходами», однако его работу, как отмечено выше, необходимо значительно реорганизовать, в т.ч. и на иной основе [5], [6], [8], [9]. Особое внимание следует обратить на разработку ГОСТов, помогающих употребить с пользой ресурсы, получая ясные экономические выгоды.

### Литература

1. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. – Введ. 2002–06–30. – М.: Изд-во стандартов, 2002.

2. ГОСТ Р 52104-2003. Ресурсосбережение. Термины и определения. Введ. 2004–06–30. – М.: Изд-во стандартов, 2003.

3. Интернет-ресурс: Правовая Россия. Приказ от 20.01.2014 № 29. URL: <http://lawru.info/dok/2014/01/20/n132122.htm> (дата обращения: 16.04.2019).

4. Интернет-ресурс: Инфопортал России. Новости Регионов. Приказ от 20.11.2015 № 1430. URL: <http://www.regnews.org/law/bq/e9.htm>. Приказ от 01.08.2014 № 1236. URL: <http://www.regnews.org/law/pw/uu.htm>. Приказ от 14.12.2015 № 1561. URL: <http://www.regnews.org/law/mq/1g.htm> (дата обращения: 16.04.2019).

5. Интернет-ресурс: Официальный сайт федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. URL: [http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/Standardization/techcom](http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/Standardization/techcom) (дата обращения: 16.04.2019).

6. Шихалёв А.М., Ахметова И.А., Хамидулина Г.Р., Воронцов Д.П. Оценка и управление показателями качества при создании основных видов продукции. Модельный эксперимент (на материалах монографии Ю.И. Ребриха «Управление качеством») // Вестник экономики, права и социологии. - 2017 - №3. - С. 65-80.

7. Интернет-ресурс: Бюро НДТ. – URL: <http://www.burnout.ru/informacziya/tk113/tk113.html> (дата обращения 22.04.2019).

8. Кашапов Н.Ф., Шихалёв А.М., Воронцов-Д. П., Ахметова И.А., Хамидулина Г.Р. Многокритериальная оценка районов региона РФ, перспективных для расположения логистических объектов (на примере РТ) //

Материалы IX МНТК «ИМТОМ-2018», Ч. 2. - Казань: Фолиант, 2018. - С. 283-287.

9. Шихалёв А.М., Воронцов Д.П., Ахметова И.А., Хананова А.Ф. К вопросу о совершенствовании методик расчетов оптимизации деятельности органа местного самоуправления (на примере Республики Татарстан) // Материалы IX Международной научно-технической конференции «ИМТОМ-2018». Часть 2. - С. 278-283.

## ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Бу Нгок Зан, Нгуен Зуи Хынг, Дмитриева Александра Витальевна, Танеева  
Алина Вячеславовна, Новиков Вячеслав Федорович  
Казанский государственный энергетический университет  
г.Казань, ул.Красносельская, 51

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы диагностики маслonaполненного электрооборудования хроматографическими методами по анализу фурановых соединений, являющихся продуктами деструкции бумажной изоляции и попадающими в трансформаторное масло в процессе его эксплуатации. Приведены физико-химические характеристики фурановых соединений и их детальное описание.

**Ключевые слова:** диагностика, электрооборудование, трансформаторное масло, фурановые соединения.

**Abstract.** The paper deals with the issues of diagnostics of oil-filled electrical equipment by chromatographic methods for the analysis of furan compounds, which are the products of destruction of paper insulation and fall into the transformer oil during its operation. There are given physico-chemical characteristics of furan compounds and their detailed description.

**Keywords:** diagnostics, electrical equipment, transformer oil, furan connections.

Для диагностики высоковольтного маслonaполненного электрооборудования достаточно широко применяются инструментальные методы анализа, которые направлены в первую очередь на организацию технического контроля трансформаторного масла, где под воздействием негативных факторов, возникающих в процессе эксплуатации оборудования, протекают химические реакции, приводящие к его старению и ухудшению диэлектрических показателей [1-2]. Проведение диагностических работ по обследованию технического состояния трансформаторного оборудования было регламентировано приказом РАО «ЕЭС России» от 7 июля 1995 г. [3]. В соответствии с этим приказом начинаются технические разработки, направленные на решение вопросов диагностики трансформаторного оборудования, которые осуществляются путем комплексного анализа

электрических, химических и физических характеристик, периодичность которых регламентируется соответствующими руководящими документами.

К одним из основных методов диагностики маслonaполненного электрооборудования относятся хроматографические, которые направлены на определение концентрации индивидуальных или групповых компонентов трансформаторного масла. Наиболее широко применяется хроматографический анализ газов, растворенных в трансформаторном масле, на основе которого диагностируются электрические или тепловые неисправности трансформаторного оборудования [4]. Для диагностики деструкции бумажной изоляции в трансформаторном масле определяется содержание фурановых производных, которые ухудшают диэлектрические характеристики масла и откладываются на внутренней поверхности трансформаторного оборудования [5-6].

Для определения концентрации фурановых соединений в трансформаторном масле перспективным является метод тонкослойной хроматографии, который характеризуется достаточно высокой чувствительностью и экспрессностью [7-8]. Однако широкое применение этого метода ограничено достаточно продолжительной системой пробоподготовки и использованием большого количества химических реактивов.

В продолжении этих исследований нами методом тонкослойной хроматографии проводили анализ фурановых соединений в трансформаторном масле. В качестве объекта исследования использовали отработанное трансформаторное масло марки ГК-1, которое имеет сложный углеводородный состав с молекулярной массой до 340 атомных единиц. Оно состоит из парафиновых углеводородов (10-15%), нафтеновых и циклопарафиновых углеводородов (60-70%), ароматических углеводородов (15-20%), асфальтосмолистых веществ (1-2%), сернистых соединений (~1%), азотистых соединений (~0,8%). Трансформаторное масло ГК имеет небольшую теплопроводность и тангенс угла диэлектрических потерь не более  $0,5^0$ .






Фурановые соединения, образующиеся в трансформаторном масле в процессе его деструкции имеют самые различные свойства. В табл.1 приведены физико-химические свойства фурановых соединений.

Как видно из таблицы, фурановые соединения обладают самыми разнообразными химическими свойствами.

Оксиметилфурфурол образуется в трансформаторном масле в результате деструкции бумажной изоляции в результате химического разложения сахаров в кислой среде. Это легкоплавкие, бесцветные или желтоватые кристаллы или бесцветные жидкости, которые буреют при хранении. Оксиметилфурфурол смешивается с водой во всех соотношениях. Стандартным методом количественного определения оксиметилфурфуrolа является высокоэффективная жидкостная хроматография с ультрафиолетовым детектором [9].

Таблица 1

## Физико-химические свойства фурановых соединений

№ п/п	Наименование	Структура	Брутто- формула	Температура, °С		Мол. масса, г/мол ь	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>
				кипе- ния	плав- ления		
1	Оксиметил- фурфурол		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	116	34	126	1,29
2	Фурфурол		C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	162	-36	96	1,16
3	Фурфуриловый спирт		C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	171	-15	98	1,13
4	Ацетилфуран		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	173	33	110	1,10
5	5-метилфуран		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	187	52	110	1,11

Фурфурол обычно получается путем кипячения сельскохозяйственных отходов с серной кислотой. В этом случае происходит гидролиз полисахаридов целлюлозы, т.е. дегидратация. Фурфурол относится к тяжелокипящей жидкости, легко растворяется в большинстве полярных органических растворителей. Растворимость фурфурола в воде и алканах небольшая. При нагревании до температуры 25<sup>0</sup>С фурфурол разлагается с образованием монооксида углерода и фурана. В присутствии сильных кислот при нагревании кислород фуранового кольца присоединяет протоны и фурфурол полимеризуется. Под воздействием щелочей образуется фурфуриловый спирт [10].

Фурфуриловый спирт – это бесцветная жидкость, которая темнеет на воздухе, сильно реагирует с концентрированными минеральными кислотами. Хорошо растворяется в воде и в органических растворителях, хорошо осмоляется в присутствии фурфурола и фенола.

Оксиметилфурфурол – промежуточный продукт разложения сахаров, образуется из моносахаридов в кислой среде. Его определяют количественно методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым детектором.

Кроме фурановых соединений в трансформаторном масле могут образовываться алифатические спирты, контролируя которые, можно также проводить диагностику маслонеполненного электрооборудования [11].

Таким образом, проблема диагностики маслонеполненного электрооборудования, связанная с деструкцией бумажной изоляции, решается различными хроматографическими методами: высокоэффективной жидкостно-жидкостной, газо-жидкостной и тонкослойной хроматографией. Наиболее простым и экспрессным методом является тонкослойная хроматография с использованием пластинок, покрытых силикагелем.

### Литература

1. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В. Инструментальные методы анализа. В трех частях. Часть III. Газохроматографический контроль производственных процессов в энергетике. Под ред. проф. В.Ф.Новикова.- Казань: Казан. Гос. Энерг. ун-т.2018.-328с.
2. Rogers R.R. Experiences in the Interpretation of Incipient Faults in Power Transformers by Dissolved Gas-on-Oil Chromatography Analysis (A Progress Report)// Minutes of Forty-Fourths Int. Conf. of Doble Clients, 1977. Section. S-10-501.
3. О проведении диагностики технического состояния трансформаторного оборудования: приказ РАО «ЕЭС России» от 7 июля 1995, №304.
4. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. РД 153-34.0-46.302-00.-М.:ОАО «ВНИИЭ», 20012.-28с.
5. Методические указания по применению в энергосистемах тонкослойной хроматографии для оценки остаточного ресурса твердой изоляции по наличию фурановых соединений в трансформаторном масле.-М.: СПО ОРГРЭС.-1995.
6. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Определение фурановых соединений в трансформаторном масле газохроматографическим методом с использованием новых сорбентов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.-2016.-№1-2.- С.47-52.
7. Методические указания по применению в энергосистемах тонкослойной хроматографии для оценки остаточного ресурса твердой изоляции по наличию фурановых соединений в трансформаторном масле. -М.: СТПО ОРГРЭС. 1995.
8. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле.// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.-2016.-№1-2.-С.138-145.
9. Stahberg T., Fu, W.Woodley J.M., Riisager A. Synthesis of 5-(Hydroxymethyl)furfural in Ionic Luquids: Paving the Way to Renewicals./ Chem Sus Chem. 2011. Vol.4.P.451-458.
10. Джилкрист Т. Химия гетероциклических соединений.-М.: Мир. 1996.-С.247-464.
11. Дарьян Л.А., Коробейников С.М. Анализ качества устройства отбора проб, применяемых для хроматографического анализа газов, растворенных в изоляционных жидкостях.// Электричество.-2006.-№12.-С.62-64.

УДК: 665.7.03

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ СЕРАОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ МАСЛЯНОЙ ФРАКЦИИ АРЛАНСКОЙ НЕФТИ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОТИВ ОКИСЛЕНИЯ

Гайнуллина Лейсан Раисовна

Казанский государственный энергетический университет,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение  
предприятий и энергоресурсосберегающих технологий»,  
420066, РТ, г. Казань, Ул. Красносельская, 51.

В процессе адсорбционного разделения масляной фракции арланской нефти было выделено пять фракций сераорганических соединений. Экспериментальные данные показали, что фракции I-III с содержанием общей серы от 11,3 % до 7,4 % состоят на 96,5 %-83,8 % из сульфидов. Сераорганические соединения фракций IV и V не содержат в своем составе сульфидной серы, а состоят из тиофенов и их производных.

Фракции сераорганических были использованы в качестве присадки к обессеренной масляной фракции (содержание серы составляло 0,001 %) для изучения изменения ее эксплуатационных свойств. Фракции присадок IV и V в идентичных условиях проведения эксперимента проявляют инертность в процессе повышения стабильности против окисления фракции масла. Наилучшими антиокислительными свойствами проявили фракции I-III с концентрацией 0,5 %, состоящие из нефтяных сульфидов.

In the process of adsorption separation of the oil fraction of Arlan petroleum, five fractions of organosulfur compounds were distinguished. Experimental data showed that fractions I-III with a total sulfur content of 11.3% to 7.4% consist of 96.5% -83.8% of sulfides. Organosulfur compounds of fractions IV and V do not contain sulfide sulfur, but consist of thiophenes and their derivatives.

Fractions of organosulfur compounds were used as additives to the desulfurized oil fraction (sulfur content was 0.001%) to study changes in its operational properties. The fractions of additives IV and V under identical experimental conditions exhibit inertness in the process of increasing stability against oxidation of the oil fraction. The best antioxidant properties showed fractions I-III with a concentration of 0.5%, consisting of petroleum sulfides.

**Ключевые слова:** масляная фракция арланской нефти, сераорганические соединения, показатели стабильности против окисления.

Исследование сераорганических соединений масляных фракций нефти представляет значительный научно-практический интерес, поскольку в этих фракциях сосредоточена их основная масса [1, 2]. Сераорганические соединения нефтей различных месторождений также отличаются структурно-групповым составом, который в свою очередь влияет на качество конечного продукта.

Цель работы – исследование состава природных сераорганических соединений масляной фракции арланской нефти и их влияния на показатели стабильности против окисления.

Объектом исследования являлась масляная фракция с  $T_{кип} = 300-400$  °С арланской нефти и выделенные из нее адсорбционным методом на силикагеле марки АСК и оксиде алюминия природные сераорганические соединения. Было выделено пять фракций сераорганических соединений, физико-химические характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Физико-химические характеристик сераорганических соединений  
масляной фракции арланской нефти**

Наименование показателя	Фракция сераорганических соединений				
	I	II	III	IV	V
Плотность $\rho_4^{20}$	1,0	1,032	1,031	1,107	1,0827
Показатель преломления	1,556	1,574	1,583	1,68	1,627
Молекулярная масса	321	302	260	227	213
Содержание серы, % общей сульфидной	11,3	8,1	7,4	10,1	7,9
	10,9	7,6	6,2	отс.	отс.
Процент сульфидной серы от общей	96,5	93,8	83,8	-	-
Эмпирическая формула	$C_nH_{2n-5}S$ n=21	$C_nH_{2n-8}S$ n=20	$C_nH_{2n-10}S$ n=17	$C_nH_{2n-15}S$ n=15	$C_nH_{2n-15}S$ n=14

Из экспериментальных данных (табл. 1) следует, что фракции I-III с содержанием общей серы от 11,3 % до 7,4 % состоят на 96,5 %-83,8 % из сульфидов.

По данным ИК-спектроскопии наличие полосы поглощения в области  $1170\text{ см}^{-1}$  указывает на присутствие алкилзамещенных тианоциклоалканов. Полосы поглощения в области  $775\text{ см}^{-1}$  и  $745\text{ см}^{-1}$  указывает на присутствие сульфидов соответственно с пропильными и бутильными радикалами. Характерных полос поглощения для ароматических углеводородов ИК-спектроскопией не было обнаружено.

В результате исследования фракций I-III масс-спектроскопией было установлено, что сульфиды в этих фракциях представлены насыщенными соединениями, в основном, тиано- и тиабциклоалканами при отсутствии неконденсированных би- и трициклических сульфидов. Сераорганические соединения фракций IV и V не содержат в своем составе сульфидной серы.

Фракции IV и V по соотношению C:H представляют собой производные тиофена с конденсированными бензольными ядрами. С использованием ИК-спектроскопии во фракциях IV и V были обнаружены полосы поглощения в областях  $2955$ ,  $2921$  и  $2873\text{ см}^{-1}$ , а также в областях  $1587$ ,  $1481$  и  $1280\text{ см}^{-1}$ , что указывает на присутствие тиофенов и их производных. В УФ-спектрах

обнаружена интенсивная полоса 240 нм, которая указывает на присутствие полиалкилзамещенных тиофенов. ПМР-спектры в области 0,9 и 1,21 м.д. соответствуют протонам насыщенного кольца тиофена и его алкильным заместителям, а сигналы 1,92 и 2,18 м.д. указывают на наличие метильных заместителей тиофенового кольца. Фракции IV и V, вероятно, представляют собой полиалкилзамещенные тиофены и цикланотиофены с различными заместителями.

Масс-спектроскопический анализ сераорганических соединений фракций I-V показал (табл. 1), что основную массу фракции I представляют насыщенные сераорганические соединения – сульфиды, эмпирическая формула которых  $C_nH_{2n-5}S$  указывает на их циклическое строение [3]. Во фракции II соединения  $C_nH_{2n-8}S$  представлены тиаидами. Остальные соединения, представленные общими формулами  $C_nH_{2n-10}S$  и  $C_nH_{2n-15}S$ , относятся к алкил-, цикло- и бицикланобензтиофенам.

Фракции сераорганических соединений I-V были использованы в качестве присадки к обессеренной масляной фракции (содержание серы составляло 0,001 %) для изучения изменения ее эксплуатационных свойств, а именно, стабильности против окисления. Количество вводимых в обессеренную фракцию присадок изменялось в широком интервале 0,1 %-1,1%. Влияние количества присадок фракций I-V исследовали по количеству образовавшегося осадка по ГОСТ 6370-83 (рис. 1), величине кислотного числа по ГОСТ 6307-75 (рис. 2) и образованию низкомолекулярных летучих кислот по ГОСТ 981-75 (табл. 2).

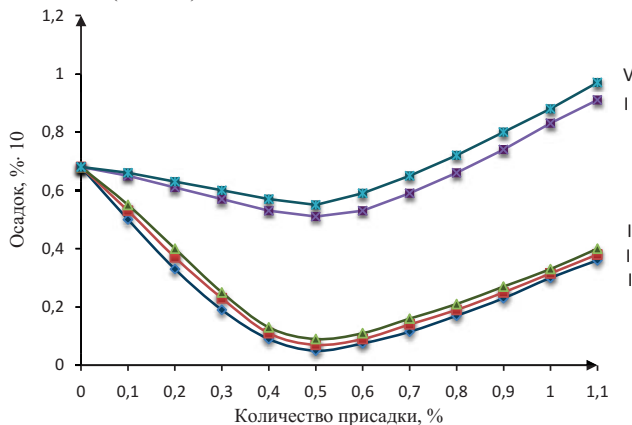


Рис.1. Влияние присадок I-V на количество образовавшегося осадка при старении масляной фракции



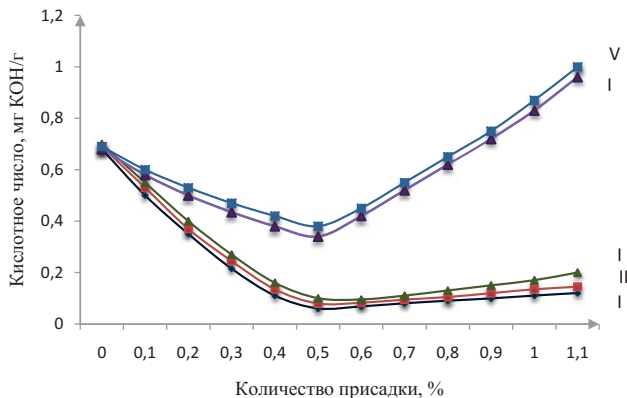


Рис. 2. Влияние количества присадок I-V на кислотное число

Присадки I-III, состоящие в основном из сульфидов, относятся к эффективным антиокислительным присадкам, поскольку в присутствии последних от 0,1 % до 0,5 % количество образовавшегося осадка уменьшается для всех присадок (I-III). Количество твердого осадка, образовавшегося во фракциях I, II и III при концентрации присадки, равной 0,5 %, соответственно составило 0,005 %, 0,007 % и 0,009 %. Дальнейшее увеличение количества присадок (I-III) до 1,1 % способствует увеличению образовавшегося осадка до 0,037 %, 0,038 % и 0,039 % соответственно.

Фракции сераорганических соединений IV и V, не содержащие в своем составе сульфидной серы, представленные производными бензтиофена, повышают стабильность против окисления масляной фракции соответственно в 1,58 раза и 1,4 раза (табл. 1). Однако наибольший антиокислительный эффект, при котором образуется минимальное количество осадка, 0,058 % и 0,06 %, достигается при содержании в масляной фракции 0,5 % присадок IV и V.

С увеличением концентрации присадок I-III от 0 до 0,5 % кислотное число снижается от 0,068 % до 0,006 %, 0,008 % и 0,01 % соответственно для всех исследованных присадок I-III (рис. 2). Повышение концентрации присадок I-III в масляной фракции от 0,5 % до 1,1 % сопровождается увеличением кислотного числа до 0,0105, 0,0146 и 0,02 мг КОН/г фракции соответственно. Этот факт указывает на нецелесообразность повышения концентрации присадок I-III в масляной фракции.

Фракции присадок IV и V в идентичных условиях проведения эксперимента по ГОСТ 981-75 проявляют инертность в процессе повышения стабильности против окисления фракции масла по сравнению с присадками I-III. Кислотное число в присутствии присадок IV и V в количестве 0,5 % снижается соответственно до 0,34 и 0,38 мг КОН/г фракции. Ход кривых I-III и IV-V идентичен, что указывает на одинаковый характер воздействия присадок на окисление углеводов масла. Таким образом, наилучшими

антиокислительными добавками к масляной фракции являются фракции I-III, состоящие из нефтяных сульфидов. Фракции присадок IV и V, представляющие собой производные тиофена с конденсированными бензольными ядрами, проявляют меньшие антиокислительные свойства по отношению к окислению углеводородов масляных фракций.

Влияние присадок фракции I-III концентрацией 0,5 % на образование летучих кислот приведено в таблице 2.

**Таблица 2**

**Влияние присадок сераорганических соединений на образование водорастворимых кислот**

Масляная фракция	Содержание водорастворимых кислот, мг КОН/1 г масла	
	Нелетучие	Летучие
Исходная масляная фракция	0,0045	0,0059
Масляная фракция+0,5 % фракции I	0,0030	0,0019
Масляная фракция+0,5 % фракции II	0,0035	0,0022
Масляная фракция+0,5 % фракции III	0,0037	0,0026
Требования по ГОСТ 982-80	0,005	0,005

Из данных, приведенных в таблице 2 следует, что все присадки фракции I-III способствуют снижению количества образовавшихся водорастворимых кислот.

#### Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что фракции сераорганических соединений, отличающиеся по показателю преломления и плотности, значительно отличаются и по их составу (содержанию различных сульфидов, тиофенов и их производных и т.д.). Изучение влияния выделенных фракций на показатели стабильности против окисления масляной фракции выявило эффективность присадки фракций I-III, содержащих в основном сульфидную серу и взятых в количестве 0,5 %.

#### Литература

1. Singh D., Chopra A., Mahendra P. K., Kagdiyal V., Saxena D. Sulfur compounds in the fuel range fractions from different crude oils // Petroleum Science and Technology. - 2016. - V. 34. - Is. 14. - P. 1248-1254. doi 10.1080/10916466.2016.1196218.
2. Петин А.В. Содержание серы в нефти // Форум молодых ученых. - 2017. - № 11 (15). - С. 759-765.
3. Новикова А.А., Соловьев М.Е. Квантово-химическое исследование реакций окисления в ненасыщенных углеводородах // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. - 2017. - Т. 60. - № 7. - С. 14-20.

УДК: 661.13

## РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ

Гайнуллина Лейсан Раисовна

Казанский государственный энергетический университет,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение  
предприятий и энергоресурсосберегающих технологий»,  
240066, РТ, г. Казань, Ул. Красносельская, 51.

Разработана эффективная установка для определения концентрации воздуха в объеме трансформаторного масла. Сравнительный анализ определения воздуха двумя различными методами – при помощи установки и газохроматографическим анализом показал, что данные методы равноценны, поскольку относительная ошибка при определении концентрации воздуха в масле составляет  $\pm 2,38$  %. Учитывая простоту конструкции установки, отсутствие дорогостоящей аппаратуры и дефицитных реагентов, данная установка может быть использована в энергетической и химической промышленности.

Effective installation is developed for definition of air concentration in volume of transformer oil. The comparative analysis of air definition by two various methods – by means of installation and the gas chromatographic analysis has shown that these methods are equivalent as the relative error when determining concentration of air in oil makes  $\pm 2,38\%$ . Considering simplicity of an installation construction, lack of the expensive equipment and scarce reagents, this installation can be used in energy and chemical industry. In power transformers is followed by growth of dielectric losses and decrease in electrical durability of oil.

Ключевые слова: трансформаторное масло, определение воздуха в масле.

Повышение надежности электроснабжения промышленных и гражданских объектов связано с увеличением срока службы и работоспособностью изоляции маслonaполненных трансформаторов, распределяющих электрическую энергию [1, 2]. Вместе с тем используемое в электрической аппаратуре в качестве изоляции трансформаторное масло подвержено старению за счет воздействия на него электрического поля и кислорода воздуха. Поэтому систематический контроль концентрации воздуха в масле способствует повышению срока его эксплуатации и увеличению длительности работы дорогостоящего электрического оборудования [2].

Цель работы – определение концентрации воздуха в трансформаторном масле селективной очистки, марки ТС (ГОСТ 10121-76).

В этой связи для определения концентрации воздуха в масле ТС, произведенного из оренбургской нефти, была разработана установка, схема которой представлена на рисунке 1.

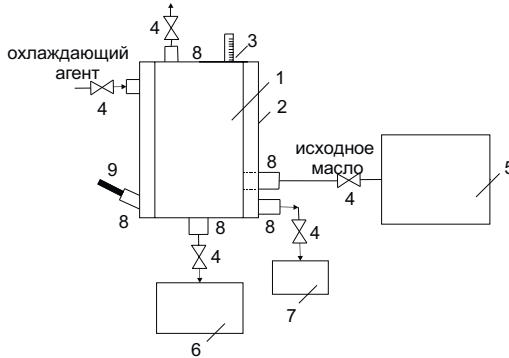


Рис. 1. Установка для удаления воздуха из трансформаторного масла  
 1 – сосуд для удаления воздуха из масла; 2 – рубашка для охлаждения масла; 3 – измерительная бюретка для определения количества воздуха, выделенного из масла; 4 – краны; 5 – масляный бак силового трансформатора; 6 – бак для слива обескислороженного масла; 7 – бак для слива использованного охлаждающего агента; 8 – патрубки; 9 – термометр

В основе разработанной технологической схемы установки (рис. 1), находится уникальная способность масла с понижением температуры выделять из своего объема воздух, который в условиях повышенных температур в электрическом поле способствует термохимической деструкции молекул углеводородов масла с образованием активных радикалов. Образовавшиеся продукты окислительного превращения способствуют образованию твердых, жидких и газообразных продуктов, приводящих к ухудшению условий теплоотвода из трансформатора, увеличению диэлектрических потерь, а в итоге к возрастанию скорости старения масла и нарушению нормальной работы электрооборудования на энергетических объектах.

Для выбора охлаждающего теплоносителя были использованы основные физико-химические характеристики масла – теплоемкость и кинематическая вязкость масла и зависимость их от температуры. Температурная зависимость кинематической вязкости и теплоемкости масла приведена на рисунке 2.

В соответствии с рисунком 2 температура 0 °С является оптимальной температурой охлаждающей среды, поскольку при 0 °С произошло пересечение кривых 1 и 2. Поэтому в качестве охлаждающей среды в сосуде 1 была использована смесь льда с водой.

При проведении экспериментальных исследований с целью избежания ошибочных результатов было использовано два метода определения количества воздуха в масле.

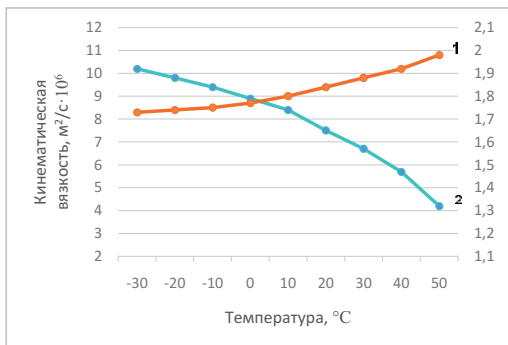


Рисунок 2. Зависимость теплоемкости и кинематической вязкости трансформаторного масла от температуры  
1 – теплоемкость; 2 – кинематическая вязкость

Первый метод – это определение воздуха в масле с использованием разработанной установки. Второй метод – использование для определения воздуха в масле широко распространенной в энергетике газовой хроматографии. Для определения количества воздуха, растворенного в трансформаторном масле, был использован хроматограф марки Кристал люкс-4000М, который снабжен детектором по теплопроводности, имеющим чувствительность  $1500 \text{ МВ} \cdot \text{см}^3/\text{г}$ . Газохроматографическая колонка представляет собой спираль, выполненную из нержавеющей стали, имеющей внутренний диаметр 3 мм и длину 2,5 м. Адсорбентом служили молекулярные сита  $\text{NaX}$ , имеющие размер 0,2-0,4 мм. Силикагель марки КСМ №5 с размером частиц 0,2-0,4 мм являлся осушителем.

Газохроматографический анализ проводили с применением микрошприца, имеющим вместимость  $2 \text{ см}^3$ , микроскопа (ГОСТ 25706-83), набора сит «Физприбор» (ГОСТ 6613-86), водоструйного насоса (ГОСТ 25336-820) и муфельной печи марки ПМ-8.

Газом-носителем являлся гелий (ТУ 51-689-75). При определении содержания воздуха в масле ТС шприцем отбирали пробу для проведения газохроматографического анализа. Количество отобранной пробы шприцем составляло от  $0,2 \text{ см}^3$  до  $0,5 \text{ см}^3$ .

Количество воздуха, выделенного из масла ТС, с использованием разработанной установки и газохроматографическим методом показано на рисунке 3. Количество воздуха, выделенного из масла и измеренного при помощи установки, составило 4,3 %, а при применении газовой хроматографии – 4,2 % (рис. 3). Относительная ошибка составляет  $\pm 2,38 \%$ , что указывает на возможность использования установки для определения количества воздуха в масле и его удаления из масла.

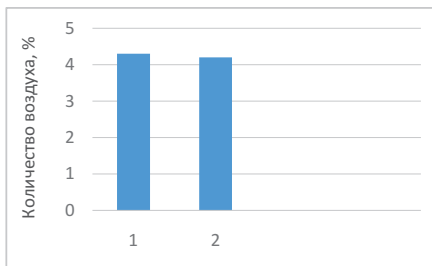


Рисунок 3. Гистограммы выделения воздуха маслом ТС.

При этом следует отметить преимущества установки над газохроматографическим методом:

- конструкция установки проста, не требует затрат на создание вакуума с целью понижения температуры масла для выделения из его объема воздуха;
- в отличие от метода газохроматографического анализа не требует дорогостоящей аппаратуры и дефицитных реактивов;
- при помощи установки определяется количество воздуха, содержащегося в масле с высокой точностью.

Учитывая преимущества установки по сравнению с газохроматографическим методом представляется целесообразным использовать последнюю в качестве экспресс-метода для определения количества растворенного в масле воздуха на энергетических объектах и промышленных предприятиях.

#### **Выводы:**

1. Разработан новый экспресс-метод, позволяющий определять концентрацию воздуха в объеме масла с высокой точностью.
2. Предложенная установка характеризуется простотой конструкции в отличие от газохроматографического метода не требует дорогостоящего оборудования и дефицитных реагентов.
3. Разработанная установка может быть использована на энергетических объектах и промышленных предприятиях для определения концентрации воздуха в масле.

#### **Литература**

1. Киреева Э.А. Особенности эксплуатации силовых трансформаторов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2017. №5-6. С. 76-81.
2. Wang X., Tang C., Huang B., Hao J., Chen G. Review of Research Progress on the Electrical Properties and Modification of Mineral Insulating Oils Used in Power Transformers // Energies. 2018. 11.487. doi:10.3390/en11030487.
3. Вилданов Р.Р., Тутубалина В.П. Концентрация воздуха в трансформаторном масле. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.129 p.

## РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ НА ВЕТРОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В РАМКАХ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

Галимуллин Ильшат Альбертович, студент-магистрант  
alchimik96@mail.ru

Шмелёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКиИС  
gn.shmelev@mail.ru

Ипполитов Артур Игоревич, студент-магистрант  
Азвалов Руستم Расулович, магистр

ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** Определение действительных ветровых нагрузок на временные сооружения является важной задачей ввиду отсутствия соответствующих схем в СП «Нагрузки и воздействия». Актуальность данной задачи связана и с трудоемкостью испытаний в специализированных аэродинамических трубах, а также с быстрым развитием вычислительной гидродинамики. В связи с этим выполнено численное исследование аэродинамики этих конструкций в программном комплексе ANSYS CFX для анализа течений жидкостей и газов. В статье представлено сравнение результатов со схемами ветрового давления для навесов из нормативных документов.

**Abstract.** Determination of the actual wind loads on temporary constructions is an important task due to the lack of appropriate schemes in the SP "Loads and effects". The relevance of this problem is associated with the complexity of tests in specialized wind tunnels, as well as with the rapid development of computational fluid dynamics. In this regard, a numerical study of the aerodynamics of these structures was made in the software package ANSYS CFX for the analysis of flows of liquids and gases. The article presents a comparison of the results with the schemes of wind pressure for awnings from normative documents.

**Ключевые слова.** Ветровые нагрузки, временные сооружения, гидрогазодинамика

**Введение.** В настоящее время трибуны с навесом широко применяются в качестве временных зрелищных сооружений. Так как ветер для них является доминирующей нагрузкой, именно действительные ветровые нагрузки на трибуны с навесом являются предметом исследования.

Из программ вычислительной гидрогазодинамики для выполнения необходимых расчетов был выбран комплекс ANSYS CFX, во многом за счет возможности точного моделирования ветровых воздействий и наглядности процесса численного моделирования. Анализ количественных и качественных результатов, полученных в ANSYS CFX, выполняется в ANSYS CFD-Post.

### **Численные исследования, методика и результаты**

На рис. 1 показана разбивка на конечные элементы в ПК ANSYS CFX модели несущего каркаса трибун объекта-прототипа с расстоянием между несущими колоннами трибун 33,184м, трибунной частью шириной 20м и

высотой 15м. По длине трибун несущие конструкции и задняя стенка были выполнены из однообразных стержневых элементов лесов. Несущий каркас по внутреннему периметру «подковы» был выполнен в виде трех рам. Колонны обеих рам были выполнены решетчатыми в виде отдельных секций разной длины с простыми узлами соединения.

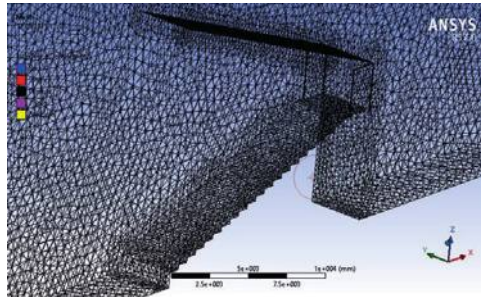


Рисунок 1 – Расчетная схема. Разбивка на конечные элементы

Разбивка расчетной области на конечные элементы выполнено в блоке Meshing ПК ANSYS. Выполнена разбивка расчетной области на тетраэдрические конечные элементы с размерами ребер до 500мм. Применена функция измельчения расчетной сетки в областях с большим градиентом изменения давления.

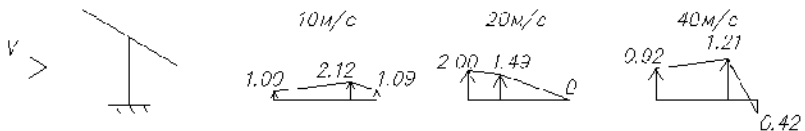


Рисунок 2 – Аэродинамические коэффициенты  $c_x$  для навеса с наклоном  $10^\circ$  при скоростях ветрового потока 10м/с, 20м/с и 40м/с.

Проведены численные эксперименты ветрового воздействия на навес под углом  $10^\circ$  с нагружением сплошным ветровым потоком со скоростями ветра 10м/с, 20м/с и 40м/с. На рис. 2 представлены результаты проведенного моделирования в схематичном виде.

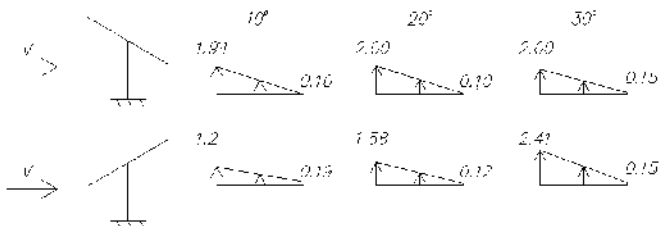


Рисунок 3 – Аэродинамические коэффициенты  $c_x$  для навеса при различных направлениях ветра и углах наклона навеса



Согласно СП «Нагрузки и воздействия», усилия передаваемые ветровым потоком имеют одинаковые характеры распределения и отличаются лишь количественно. Однако, согласно результатам нашего эксперимента, при изменении скорости ветрового потока характер обтекания ветрового потока меняется, зоны ускорения и торможения изменяют места дислокации и даже вовсе могут исчезнуть, появляются новые места срывов и разрыва потока, что приводит к сопротивлению свободного протекания потока и переносу масс ветрового потока, а собственно и давления. Распределение давления по поверхности навеса меняет свой качественный и количественный характер.

Численное моделирование показало, что при наличии трибун происходит увеличение ветровой нагрузки на конструкцию навеса, где максимальные давления различаются по сравнению с СП: при наклоне навеса 100 – на 51.2%; при 200 – 72.7%; при 300 – на 156.1%. После интегрирования давления по поверхности навеса и аналогичного сравнения с данными СП расхождения аэродинамических коэффициентов немного нивелируются, но все равно остаются с большими превышениями норм.

При наличии трибун и задней стенки, происходит увеличение ветровой нагрузки на конструкцию навеса, где максимальные давления различаются по сравнению с СП: при наклоне навеса 100 – в 2.2 раза; при 200 – 2.6 раза; при 300 – в 1.9 раза.

В случае с направлением ветра со стороны стенки, результаты следующие. По сравнению с СП «Нагрузки и воздействия», при наклоне навеса 10° распределение почти совпадает с нормативным и имеет небольшое превышение на конце вылета навеса из за присутствующих срывов потока. При наклоне в 20° давление на навес от ветрового потока минимально, в связи с изменением «истинного» наклона навеса относительно ветрового потока, и составляет всего 35% от нормативного значения давления. При значении угла наклона навеса в 30° характер обтекания ветрового потока совсем не похож на характер присущий без трибуной продувки, из за присутствия сильного отсасывающего фактора давление направлено в обратную сторону.

Также проведено численное моделирование ветрового воздействия на конструкции навеса с трибунами с углом наклона 10°, с прилегающим к нему рельефом в виде разработанным наклонным грунтом. Угол ската рельефа составляет 10°, располагается с наветренной стороны конструкции навеса и трибун.

В связи со всем вышеперечисленным, распределения давления по поверхности навеса меняет свой качественный и количественный характер, если сравнивать с данными СП «Нагрузки и воздействия» для типа конструкций навес. Характер распределения давления и аэродинамические коэффициенты не совпадают при сравнении.

### **Выводы**

1) Исследовав работу отдельностоящего навеса, расположенного под углом 10° к горизонту, при разных скоростях ветрового потока, получаем распределение давления по поверхности навеса, который меняет свой

качественный и количественный характер, что не учитывается в данных из СП «Нагрузки и воздействия».

2) Исследовав работу отдельностоящего навеса при разных углах наклона, определено, что характер обтекания ветрового потока почти схож с данными из СП «Нагрузки и воздействия». Количественное сравнение и анализ результатов показывает, что пиковые давления имеют максимальное отклонения значений аэродинамических коэффициентов в 43%.

3) Примененные методики математического моделирования и вычислительного эксперимента, а также реализующие ее программные средства обеспечивают приемлемую практическую точность, позволяют существенно уменьшить временные ресурсы на выполнение расчётов ветровых воздействий (средняя составляющая нагрузок на несущие конструкции, пиковые давления на фасадные конструкции) на здания.

### Список литературы

1. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие / В.А. Бруйка [и др]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
2. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. // Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – М., ИАСВ, 2007
3. Миронова Ю.В., Габдрахманова Л.М. Ветровые воздействия на существующие малоэтажные здания при размещении высотных и многоэтажных зданий в сложившейся застройке // Известия КГАСУ № 1 (39). – 2017 – с. 147-155

## СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Галяветдинова Сирина Ринатовна, КФУ, магистрант,  
[sirina-galyavi97@mail.ru](mailto:sirina-galyavi97@mail.ru)

Хафизов Ильдар Ильсурович, КФУ, Заместитель директора по образовательной деятельности, [Khafizov@kpfu.ru](mailto:Khafizov@kpfu.ru)

**Аннотация:** Существующая экологическая ситуация и тенденции ее изменения во многом определяются промышленным производством и хозяйственной деятельностью в целом. Несмотря на отдельные успехи и достижения, общая картина здесь продолжает ухудшаться. Основная причина этого заключается в низкой эффективности используемых механизмов экологического контроля и управления на промышленном производстве.

**Annotation:** The current environmental situation and trends in its changes are largely determined by industrial production and economic activity in General. Despite some successes and achievements, the overall picture continues to deteriorate. The main reason for this is the low efficiency of the environmental control and management mechanisms used in industrial production.

**Ключевые слова:** Эффективный экологический менеджмент, экологический аудит.

Введение: Экологический менеджмент стал применяться как управленческий процесс впервые в зарубежных нефтяных предприятиях для достижения цели улучшить экологический показатель и убедить общество в приемлемости экологического риска своей деятельности. Внедрение данной системы эффективна, так как при внедрении организация получает ряд преимуществ, таких как, систематическое снижение отрицательного воздействия на окружающую среду, систематическое сокращение производственных и эксплуатационных затрат, снижение природоохранных платежей и более эффективное выполнение требований природоохранительного законодательства.

Постановка цели и задачи: Уменьшить негативное воздействие на природу; повысить экологическую и экономическую эффективность деятельности предприятия; снизить образование отходов и их переработку.

Основная часть: Экологическим менеджментом считается безопасное управление, природными процессами которое определяется как биологическими особенностями объекта управления, так и социально-экономическими возможностями управляющего.

Экологический менеджмент является современным механизмом природоохранной деятельности, которая признана на международном уровне.[1]

Предметом экологического менеджмента считается: организационная структура, природопользования, экологический маркетинг, экологическая политика, экологическая и корпоративная культура, информация, мотивация, взаимодействие с общественностью и другие составные части системы управления.

Первыми, экологический менеджмент начали внедрять зарубежные нефтяные предприятия для достижения цели улучшить экологический показатель и убедить общество в приемлемости экологического риска своей деятельности.

При внедрении данной системы организация получает следующие преимущества:

- систематическое снижение отрицательного воздействия на окружающую среду;
- систематическое сокращение производственных и эксплуатационных затрат;
- снижение природоохранных платежей и более эффективное выполнение требований природоохранительного законодательства.

Одной из главных целей экологического менеджмента является повышение кредита доверия к тому предприятию, на котором он осуществляется, за счет последовательного улучшения экологической обстановки всех сфер деятельности.[2]

Экологический менеджмент – это инициативная и результативная деятельность экономических субъектов, направленная на достижение их

собственных экологических целей, проектов и программ, разработанных на основе самостоятельно принятой экологической политики.[3]

Основные цели и соответствующие критерии оценки их достижения в экологическом менеджменте связаны с процессами постоянного улучшения. Последовательное из года в год улучшение должно достигаться во всех экологически значимых аспектах деятельности экономических субъектов, где это практически достижимо. Таким образом, эффективный экологический менеджмент обеспечивает предприятию кредит доверия в отношениях со всеми заинтересованными в его деятельности сторонами. В этом заключается основное преимущество экологического менеджмента в сравнении с традиционным формальным экологическим управлением.

Необходимо подчеркнуть, что экологический менеджмент не отменяет и не заменяет существующее государственное и производственное административное экологическое управление, а дополняет его, являясь самостоятельной инициативной деятельностью предприятия. В целом, экологический менеджмент принято рассматривать не только как рыночный инструмент, способствующий развитию производства и получению дополнительной прибыли, но и как наиболее характерное и значимое проявление современной промышленной экологической культуры, культуры предпринимательства и рынка.

Важным элементом системы экологического менеджмента предприятия является его экологическая политика, которая формируется в рамках хозяйственной деятельности с учетом, состояния окружающей среды; требований законодательных и других государственных нормативно-правовых актов, регламентирующих деятельность предприятия. При этом важно установить уровень ответственности предприятия за состояние окружающей среды, экологическую безопасность.[4]

Одним из элементов системы экологического менеджмента является оценка воздействия на окружающую среду планируемых и осуществляемых работ предприятия, включающая экологические и хозяйственные аспекты. Хозяйственные аспекты включают возможность нормативно-правового регулирования; проблемы измерения характеристик воздействия; затраты на измерение уровня воздействий; влияние изменения характера деятельности или процесса на уровень воздействия. [5]

Предприятие должно идентифицировать и оценить все внешние и внутренние критерии. Внешние критерии – это нормативно-правовые и др. требования, непосредственно связанные с экологическими аспектами осуществляемой производственно-хозяйственной деятельности. Внутренние критерии разрабатываются и применяются при отсутствии внешних критериев, регламентирующих деятельность предприятий.

В настоящее время в мире уже накоплен опыт внедрения и функционирования систем экологического менеджмента, что позволило мировому сообществу выработать ряд документов, регламентирующих процедуры его внедрения.

Система экологического менеджмента дает организации возможность структурировать, связать воедино процессы, направленные на достижение последовательного улучшения, желаемая степень которого определяется самой организацией в зависимости от экономических и других обстоятельств. Хочу заметить, что практически невозможно создать совершенную СЭМ, хотя нужно отметить, что предприятия стараются, поэтому основной принцип, заложенный в систему экологического менеджмента (СЭМ) – постоянное последовательное улучшение. Создание и внедрение систем экологического менеджмента на предприятии осуществляется в несколько этапов:

#### 1. Экологический аудит.

Цель аудита — определить наиболее значимые экологические аспекты деятельности предприятия и, следовательно, определить возможные приоритеты для того, чтобы разработать экологические показатели и программу для снижения значимых воздействий на окружающую среду. Установление целевых экологических показателей.

Цель этапа – качественная и количественная оценка экологических аспектов с учетом существующего законодательства, практического опыта по управлению аварийными ситуациями.

#### 2. Формирование экологической политики предприятия.

Экологическая политика декларирует цели и принципы деятельности организации по отношению к окружающей среде, включая соответствие требованиям законодательства, а также заявления о постоянном улучшении экологических характеристик.

Экополитика создает рамки для установления и пересмотра целевых и плановых экологических показателей. В дополнение при формировании экологической политики необходимо принять во внимание следующее:

- согласованность с российским законодательством в сфере охраны окружающей среды;
- постоянное совершенствование экологических характеристик;
- предотвращение загрязнения.

Экологическая политика должна быть утверждена руководством и подписана руководителем предприятия.

Результаты и выводы: Система экологического менеджмента дает организации возможность структурировать, связать воедино процессы, направленные на достижение последовательного улучшения, желаемая степень которого определяется самой организацией в зависимости от экономических и других обстоятельств. Хочу заметить, что практически невозможно создать совершенную систему экологического менеджмента, хотя нужно отметить, что предприятия стараются, поэтому основной принцип, заложенный в систему экологического менеджмента – постоянное последовательное улучшение. При всей гибкости, относительности международных стандартов в направлении экологического менеджмента они содержат одно абсолютное требование – следование принципу последовательного улучшения.

### Использованные источники

1. Гатилова А.В. Экологический менеджмент [Текст] / А.В. Гатилова // – М.: 2003. – 175 с.
2. Дерягина С.Е. Экологический менеджмент на предприятии [Текст] / С.Е. Дерягина // – Екатеринбург: УрО РАН. – 2007. – 195 с.
3. Дерягина С.Е. Экологический менеджмент на предприятии [Текст] / С.Е. Дерягина // – Екатеринбург: УрО РАН. – 2007. – 195 с.
4. Анализ и совершенствование системы экологического менеджмента нефтеперерабатывающих предприятий (на примере АО "Танеко") Шамсутдинова З.Р., Хафизов И.И. Экономический вестник Республики Татарстан. 2016. № 2. С. 85-88.
5. Очистка сточных вод электрохимическими методами Каратаев О.Р., Шамсутдинова З.Р., Хафизов И.И. Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 22. С. 21-23.
6. Бондарук А.М. Система экологического менеджмента на предприятии [Текст] / А.М. Бондарук // Экология и промышленность России. – 2008. – №. 4. – 266 с.
7. IT-strategy and major aspects of quality management on the market of goods and services Khafizov I.I., Galimov A.N.
8. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Сер. "International Scientific-Technical Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2016, ISTC-IETEM 2016" 2017. С. 012038.

### ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ВОЛОКНИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ УВЛАЖНЕНИИ

Гиниятова Л.М., студент кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий»  
 Хабибуллина И.Ф., студент кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий»  
 Хайруллин А.Р., инженер кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий»  
 Гусячкин А.М., доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий»  
 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51 ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

**Аннотация.** В работе экспериментальным методом исследована теплопроводность волокнистых теплоизоляционных материалов при их увлажнении. Проанализировано влияние периодического затопления и высушивания теплоизоляционного материала на его теплозащитные характеристики.

**Abstract.** In this paper, the thermal conductivity of fibrous heat-insulating materials with different level moisture content is investigated. The influence of

periodic flooding and drying of the insulating material on its characteristics is analyzed.

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, относительная влажность, материал теплоизоляционный, базальтовая вата.

**Key words:** coefficient of thermal conductivity, relative humidity of heat-insulating material, rock wool.

**Введение.** Энергосбережение в топливно-энергетическом комплексе России на сегодняшний день остается актуальной проблемой. Ввиду распространенности тепловых сетей даже незначительное уменьшение тепловых потерь может привести к существенному энергосберегающему эффекту. Тепловые потери при транспортировке тепловой энергии во многом зависят от правильно выбранных теплоизоляционных материалов [1,2]. Условия эксплуатации также оказывают влияние на тепловые потери. Известно, что проникновение влаги в теплоизоляционные материалы может приводить к увеличению коэффициента теплопроводности [3,4]. При изменениях тепловлажностных режимов окружающей среды происходит усадка теплоизоляционных материалов. Периодическое подтопление изоляции при подземной прокладке трубопроводов приводит к ухудшению их теплозащитных характеристик [5]. Изменение плотности теплоизоляционных материалов при их увлажнении также оказывает влияние на их теплопроводность [4]. Нами ранее [6] было исследовано влияние влажности на теплопроводность волокнистых теплоизоляционных материалов при одном значении плотности. В данной статье рассматривается влияние влажности на теплопроводность современных волокнистых теплоизоляционных материалов в зависимости от их плотности. Рассмотрено влияние количества циклов намокание-сушка на их основные теплозащитные и физические характеристики.

#### **Описание деталей эксперимента**

При проведении экспериментальных исследований были подготовлены образцы из каменной ваты трех разных производителей, далее по тексту RW-1, RW-2, RW-3. Образцы имели размеры 150x150 мм, толщина образцов составляла 40 мм. Номинальная плотность образцов  $\rho_0 = 80 \text{ кг/м}^3$ . Для увлажнения материалов влага впрыскивалась равномерно по всей поверхности образцов до достижения необходимого содержания влаги в материале, что фиксировалось по показаниям электронных весов. Теплопроводность образцов определялась согласно методу для плоских образцов [7] на приборе ИТС-1. Более подробное описание и обоснование выбранной методики эксперимента дано в работе [6]. Средняя температура образцов,  $T$ , при проведении опытов поддерживалась равной  $26,7 \pm 2,5 \text{ C}$ . Измерения проводились для двух значений плотности образцов,  $\rho$ , 100 и  $140 \text{ кг/м}^3$ , которая задавалась искусственно зажатием образцов в приборе ИТС-1. Относительная влажность образцов,  $W$ , составляла 5; 9,5; 13,6%. Полученные результаты также сопоставлялись с результатами полученными в работе при тех же значениях  $W$  и  $\rho = 120 \text{ кг/м}^3$ . Средняя погрешность измерения коэффициента

теплопроводности составила 7,3%. Для материала RW2 оценивалось влияние циклов намокание-сушки на его основные характеристики. Для этого материал погружался в воду на 30 мин, после чего высушивался в сушильном шкафу при температуре 120 С, далее определялась его плотность и теплопроводность, затем цикл повторялся. Теплопроводность определялась на приборе ИТС-1 при  $T = 26,7 \pm 2,5$  С.

### Результаты исследования

С увеличением относительной влажности  $W$  наблюдается рост теплопроводности  $\lambda$  для всех исследованных теплоизоляционных материалов (рис.1).

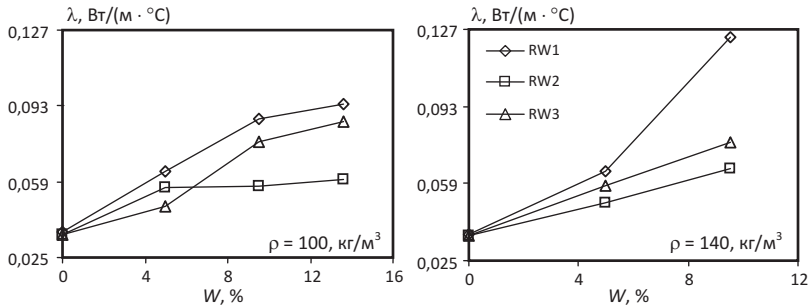


Рисунок.1. Зависимость коэффициента теплопроводности  $\lambda$  от относительной влажности  $W$  теплоизоляционных материалов

Влияние влаги существенней всего для теплоизоляционного материала RW1. Изменение плотности теплоизоляционных материалов  $\rho$  оказывает различное влияние на их коэффициент теплопроводности в зависимости от  $W$  (рис. 2). Для сухих теплоизоляционных материалов изменение плотности практически не оказывает влияние на их коэффициент теплопроводности. В зависимости от величины относительной влажности  $W$  и производителя теплоизоляционного материала значение коэффициента теплопроводности при увеличении плотности может как повышаться, так и понижаться. При этом влияние плотности существенней при максимальных значениях  $W$ .



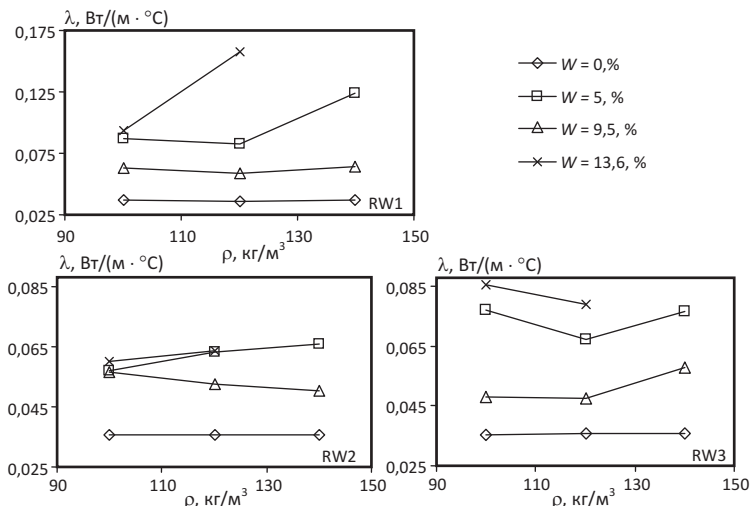


Рисунок 2. Зависимость коэффициента теплопроводности  $\lambda$  от плотности  $\rho$  теплоизоляционных материалов

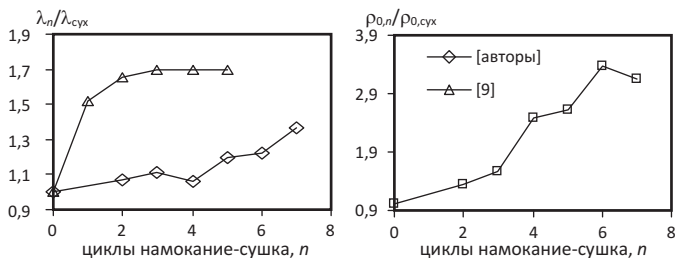


Рисунок 3. Влияние циклов намокание-сушка на коэффициент теплопроводности  $\lambda$  и плотности  $\rho$  теплоизоляционного материала RW2

На рисунке 3 представлено влияние количества циклов намокание-сушка на значение  $\lambda$  и  $\rho_0$  для материала RW2, при этом значение  $\lambda$  сопоставлено с результатами работы [5]. Как видно из рис. 3 при увеличении циклов намокание-сушка происходит увеличение коэффициента теплопроводности  $\lambda$  и плотности  $\rho_0$  теплоизоляционного материала. Несмотря на то, что увеличение  $\lambda$  согласуется с результатами работы [5], разница полученных значений  $\lambda_n/\lambda_{сух}$  достигает 63%. Отклонение результатов возможно обусловлено различиями условиями проведения эксперимента при определении коэффициента теплопроводности. Также существенные различия полученных значений  $\lambda_n/\lambda_{сух}$  возможно вызваны, тем что в работе [5] использовалась базальтовая вата другого производителя.

**Закключение.** В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено, что наличие содержания влаги в теплоизоляционных

материалах приводит к значительному увеличению их коэффициента теплопроводности  $C$  изменением плотности теплоизоляционных материалов их теплопроводность может как повышаться, так и понижаться в зависимости от степени увлажненности и производителя изоляции. Установлено, что периодическое затопление и высушивание приводит к повышению теплопроводности и плотности теплоизоляционного материала.

### Список литературы

[1] Zhang, L., Wang, Z., Yang, X., Jin, L., Zhang, Q., Hu, W. Thermo-economic analysis for directly-buried pipes insulation of district heating piping systems // *Energy Procedia*. 2017. Vol 105, 3369–3376 pp.

[2] Keçebaş, A., Ali Alkan, M., Bayhan, M. Thermo-economic analysis of pipe insulation for district heating piping systems // *Applied Thermal Engineering*. 2011. Vol 31, 3929–3937 pp.

[3] Abdou, A., Budaiwi, I. The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content // *Construction and Building Materials*. 2013, Vol 43, 533–544 pp.

[4] Jerman, M., Černý, R. Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials // *Energy and Buildings*. 2012, Vol. 53, 39–46 pp.

[5] Немова Т.Н., Лежнева Ю.А., Цветков Н.А., Алексеева Е.Г. Влияние изменения теплопроводности теплоизоляционных материалов на тепловые потери магистральных трубопроводов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016, № 5 (58), С. 151-160.

[6] Gusyachkin A.M., Sabitov L.S., Khakimova A.M., Hayrullin A.R. Effects of moisture content on thermal conductivity of thermal insulation materials// В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Сер. "International Scientific-Technical Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2018, ISTC-ИТЕМ 2018" 2019. С. 012029

[7] ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме 2000.

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ТЭК

А.Н. Долгова<sup>1,2</sup>, А.В.Ахмеров<sup>2</sup>, А.Л. Осипов<sup>2</sup>, Ю.В. Снигирева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»  
344038 г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного  
Ополчения, д. 2

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

**Аннотация.** Рассмотрен термический способ повышения эффективности транспортировки высоковязких жидкостей, на примере мазута М100. Получены графические зависимости динамической вязкости жидкости от температуры,

кинематической вязкости от расхода греющего пара и мощности электрогрелок при условии нагрева высоковязкой жидкости, а также критерия Прандтля от теплопроизводительности нагревателя.

**Annotation.** A thermal method for increasing the efficiency of high-viscosity liquids is considered, for example, fuel oil M100. The graphic dependences of dynamic viscosity on the temperature, the kinematic viscosity of the flow of heating steam and power elektrogrile subject to heat high viscosity fluids, as well as of the Prandtl number of the heat output of the heater.

**Ключевые слова:** высоковязкая жидкость, повышение эффективности, тепловая производительность.

Высоковязкая жидкость – жидкость, у которой величина кинематической вязкости при температуре окружающей трубопровод среды велика настолько, что перекачка такого вещества связана с очень большими потерями напора. Для повышения эффективности транспортировки высоковязких жидкостей широко применяется термический нагрев. Рассмотрим данный метод на примере высоковязкой жидкости – мазута марки М100.

В настоящее время на объектах ТЭК мазут широко используется в качестве топлива для паровых котлов и промышленных печей, а отдельные сорта мазутов используются для смазки грубых механизмов. Способы и длительность сливных и наливных операций, условия транспортировки топлива определяются вязкостью.

Вязкость является основным техническим свойством мазутов и определяет их маркировку. Вязкость мазутов определяется составом нефти, из которой они получены, характером технологического процесса и глубиной отбора масляных и более легких фракций. Она сильно зависит от температуры и может удваиваться при снижении температуры на 10 °С. В таких условиях течение мазута качественно не отличается от течения обычной гомогенной жидкости и соответствует уравнению Ньютона, однако требует повышенных затрат энергии, поскольку вязкость мазута намного выше вязкости легких нефтепродуктов [1-3]

Динамическую вязкость мазута марки М100 можно рассчитать по формуле Вальтера, которая справедлива в диапазоне температур 40-100°С [1]:

$$\mu = [\exp_{10}(\exp_{10}[9,855 - 3,751 \cdot \lg(t + 273)]) - 0,8] \cdot 10^{-6} \cdot \rho$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости мазута, Па·с;  $t$  – температура мазута, °С;  $\rho$  – плотность мазута, кг/м<sup>3</sup>.

На рисунке 1 получена зависимость динамической вязкости мазута от температуры. Проверка адекватности выражения была проведена путем сравнения с экспериментальными данными Здора В.О. Экспериментальные данные хорошо коррелируются с расчетными данными. Погрешность составила менее 10 %.

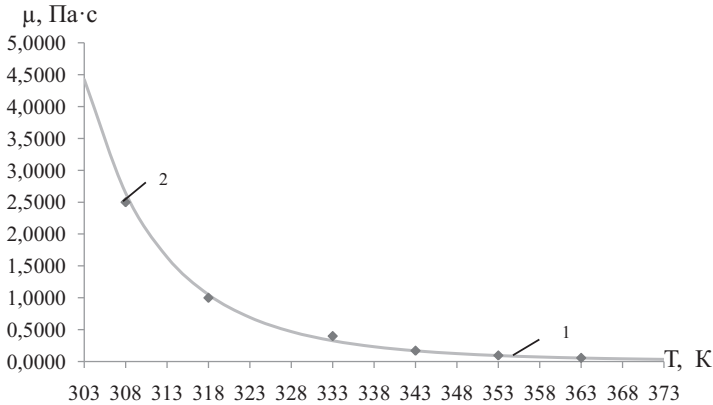


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости от температуры: 1 – расчет по уравнению Вальтера; 2 – экспериментальные данные Здора В.О. [2]

Термический нагрев высоковязкой жидкости в ТЭК осуществляется в трубопроводах и специальных подогревателях. Для подогрева в трубопроводах применяются подогреватели в виде паровых спутников, которые располагаются в одном теплоизоляционном кожухе с обогреваемым трубопроводом. Также применяются системы электрообогрева: прямого (ток пропускается непосредственно через обогреваемый трубопровод) и косвенного подогрева (с использованием нагревателя-спутника, параллельно или спирально намотанного на трубопровод и в виде нагревательных кабелей и лент). В качестве специальных подогревателей используются теплообменные аппараты различных конструкций.

Количество теплоты, получаемое высоковязкой жидкостью, определяется выражением:

$$Q = Gc_p\rho(t_2 - t_1).$$

где  $G$  - объемный расход высоковязкой жидкости, м<sup>3</sup>/ч;  $c_p$ ,  $\rho$  - плотность (кг/м<sup>3</sup>) и удельная теплоемкость высоковязкой жидкости (Дж/(кг·К));  $t_2$ ,  $t_1$  - конечная и начальная температура высоковязкой жидкости на выходе и входе из подогревателя, К.

Число Прандтля для высоковязкой жидкости может быть определено по формуле:

$$\text{Pr} = \frac{\nu\rho c_p}{\lambda},$$

где  $\nu$  - кинематическая вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda$  - теплопроводности, Вт/(м·К).

Используя данные выражения, определена зависимость критерия Прандтля от теплопроизводительности нагревателя (рис. 2). Расчет произведен при расходе мазута  $0,36 \text{ м}^3/\text{ч}$  и диапазоне температур  $30\text{--}100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Критерий Прандтля характеризует физические свойства жидкости, является мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке теплоносителя. При увеличении теплопроизводительности нагревателя критерий Прандтля падает.

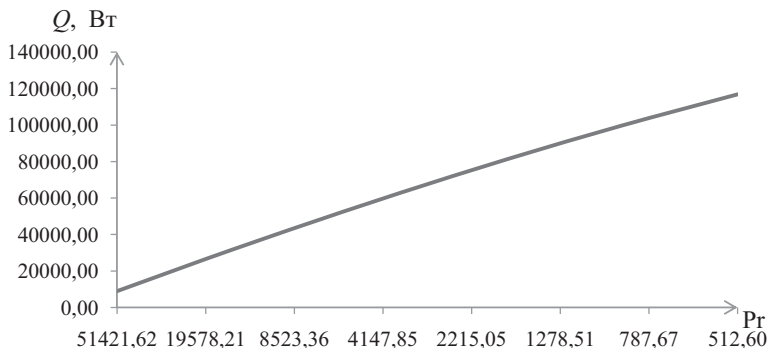


Рис. 2. Зависимость критерия Прандтля от теплопроизводительности нагревателя

На рисунках 3 и 4 получены зависимости изменения кинематической вязкости от термического нагрева греющим паром и электрогрелками.

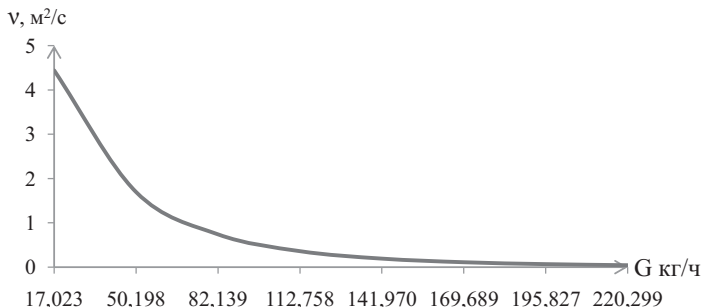


Рис. 3. Зависимость кинематической вязкости от расхода греющего пара

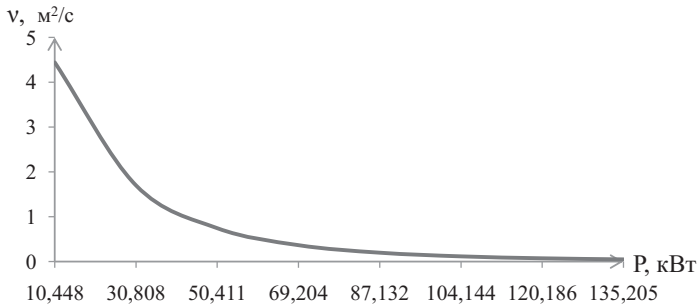


Рис. 4. Зависимость кинематической вязкости от мощности электрогрелок

По полученным зависимостям видно, что в процессе повышения температуры вязкость мазута М100 падает. Оптимальные параметры динамической вязкости для транспорта рассмотренной высоковязкой жидкости по трубопроводам и нормальной работы мазутных насосов составляют 0,17-0,32 Па·с, что соответствует 60-70°С, при дальнейшем повышении температуры вещества снижения вязкости незначительное. При расходе высоковязкой жидкости 3,6 м³/ч необходимое количество переданной тепловой энергии для снижения вязкости составляет 112-147 кг/ч греющего пара, а требуемая мощность электрогрелок при 1 часе работы – около 70 000 Вт.

#### Литература

1. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 612 с.
2. Здор В.О., Вачаргина Е.К., Камалов Р.Ф., Караева Ю.В. Реологические свойства мазута марки М100 // Вестник технологического университета, 2018. – Т.21. – №9. – С.66-68.
3. Яруллина А.А. Улучшение реологических свойств высоковязких жидкостей: маг. ... дис. – Казань, 2019. – 70 с.

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТРУБОПРОВОДОВ

А.Н. Долгова<sup>1,2</sup>, А.В. Ахмеров<sup>2</sup>, С.А. Юнак<sup>1</sup>, А.С.Руденко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»  
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного  
Ополчения, д. 2

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

**Аннотация.** В работе рассмотрена проблема снижения тепловых потерь в системах теплоснабжения предприятий ТЭК за счет использования тепловой изоляции трубопроводов. Проведен сравнительный анализ тепловой изоляции

теплопроводов: ППУ, минеральная вата, каучук вспененный, сверхтонкая теплоизоляция марки «Корунд». Получены графические зависимости тепловых потерь, КПД тепловой изоляции от диаметра трубопровода.

**Annotation.** The paper deals with the problem of reducing heat losses in heat supply systems of fuel and energy sector enterprises due to the use of thermal insulation of pipelines. A comparative analysis of the thermal insulation of heat pipes: PPU, mineral wool, foam rubber, ultra-thin insulation brand «Corund». Graphic dependences of heat losses, efficiency of thermal insulation on pipeline diameter are obtained.

**Ключевые слова:** изоляция, тепловые потери, прокладка трубопровода.

Изоляция трубопроводов — это очень важное мероприятие, которое предохраняет их от различных внешних воздействий, но и увеличивает эффективность, а также эксплуатационный срок магистрали. Конструкция тепловой изоляции состоит из основного теплоизоляционного слоя, наружного защитного покрытия и крепления. Основной теплоизоляционный слой обеспечивает защиту изолируемой поверхности от потерь теплоты, наружное защитное покрытие предохраняет основной теплоизоляционный слой от механических повреждений, увлажнений, воздействия агрессивных сред и т. д. Для изоляции тепловых сетей предприятий ТЭЖ, задача которых заключается в доставке тепла от котельных до потребителей, используются разные изоляционные материалы (табл. 1). В первую очередь перед такими материалами стоит задача по снижению тепловых потерь.

При выборе теплоизоляционных материалов и покровных слоев следует учитывать стойкость элементов теплоизоляционной конструкции к агрессивным факторам окружающей среды, включая возможное воздействие веществ, содержащихся в изолируемом объекте, а также данные материалы должны отвечать санитарно-гигиеническим требованиям и требованиям пожарной безопасности [1, 2].

В качестве теплоизолятора широко используется и минеральная вата, которая представляет собой волокнистый материал, получаемый из шлаков металлов или расплавленных каменных пород.

Пенобетонная изоляция – это легкий экологически чистый материал, не подвержен коррозии, с течением времени только набирает прочность.

Таблица 1. Характеристики изоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/м <sup>2</sup> К	Термическая стойкость, °С	Горючесть
Пенополиуретан (ППУ)	0,036	- 100°С...+150°С	Г2-Г4
Пенобетон	0,06	- 150°С...+660°С	НГ, ТГ(трудногорючий)
Минеральная вата	0,070	- 180°С...+700°С	НГ,Г1

Сверхтонкая теплоизоляция «Корунд»	0,0012	-60°С...+260°С	НГ,Г1
Каучук вспененный	0,03	-200°С...+5°С	Г1-Г3

Изоляция ППУ это синтетическое вещество ячеистой структуры из группы газонаполненных пластмасс, экологична, долговечна и проста в применении [1].

Жидкое керамическое теплоизоляционное покрытие «Корунд» представляет собой жидкую композицию на водной основе. Оно состоит из закрытопористых микрогранул пеностекла, пигментирующих, ингибирующих, антипиреновых и реологических добавок [2].

Вспененный синтетический каучук обладает минимальной гигроскопичностью и паропроницаемостью, надежно защищая трубопровод от влаги, конденсирующейся при перепадах температур, не гниет, не подвержен горению.

По методике в [3, 4] произведен сравнительный анализ следующих теплоизоляционных покрытий теплопровода при надземной прокладке: минеральная вата с покровным слоем из оцинкованной стали; пенополиуретан (ППУ) с покровным слоем из оцинкованной стали; пенобетон с покровным слоем из оцинкованной стали; сверхтонкая теплоизоляция марки «Корунд»; вспененный каучук.

Тепловой расчет трубопровода проводился при следующих параметрах: температура теплоносителя 100°С; температура окружающей среды -10°С; скорость ветра 5,1 м/с; диаметр трубопровода рассматривался в пределах 15-500 мм; толщина теплоизоляционного материала в зависимости от диаметра – 34-54 мм, тонкие теплоизоляционные материалы – 0,21-25 мм.

Получены графические зависимости коэффициента эффективности и тепловых потерь различных теплоизоляционных материалов от диаметра трубопровода (рис. 1, 2).

Рассмотрев различные теплоизоляционные материалы при надземной прокладке трубопроводов, целесообразно отдать предпочтение в пользу изоляции ППУ. Из рисунков 1 и 2 видно, что она обладает высоким коэффициентом эффективности тепловой изоляции и незначительными тепловыми потерями по сравнению с другими изоляционными материалами.



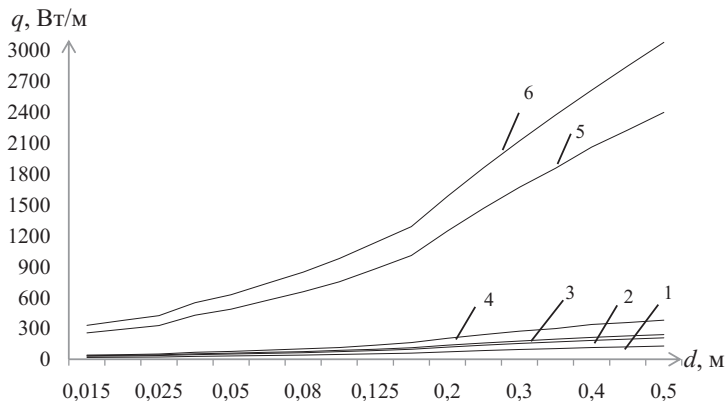


Рис. 1. Зависимость теплопотерь от диаметра трубопровода: 1 – ППУ; 2 – пенобетон; 3 – минеральная вата; 4 – сверхтонкая изоляция «Корунд»; 5 – каучук вспененный; 6 – трубопровод без изоляции

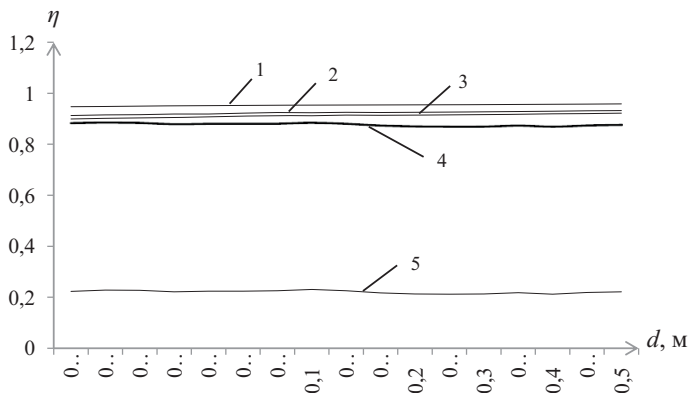


Рис. 2. Зависимости коэффициента эффективности от диаметра трубопровода: 1 – ППУ; 2 – пенобетон; 3 – минеральная вата; 4 – сверхтонкая изоляция «Корунд»; 5 – каучук вспененный

На основе полученных данных, для повышения эффективности данного теплоизоляционного материала, предложено 2 варианта монтажа покрывного слоя: 1 вариант – использование изоляции ППУ с покрывным слоем из вспененного каучука; 2 вариант – использование изоляции ППУ с покрывным слоем из оцинкованной стали и сверхтонкой теплоизоляции «Корунд».

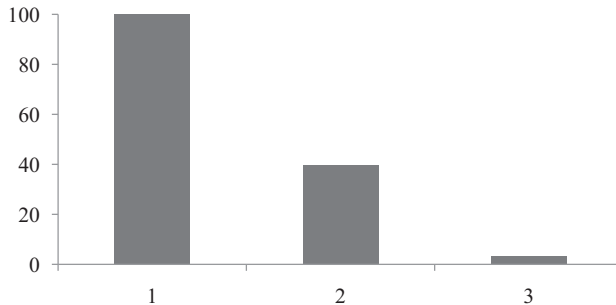


Рис.3. Процентная диаграмма средних значений тепловых потерь при трех способах монтажа покровного слоя изоляции ППУ: 1 – покровной слой из вспененного каучука; 2 – покровной слой из оцинкованной стали и сверхтонкой теплоизоляции «Корунд»

По мере расширения строительства все более важное значение приобретают вопросы надежности эксплуатации трубопроводов и экономичности их прокладки, что требует разработки наиболее рациональных решений, подтвержденных технико-экономическим обоснованием. Из рисунка 3 видно, что наиболее эффективным способом изоляции трубопровода при монтаже является применение пенополиуретановой изоляции при покровном слое из оцинкованной стали и сверхтонкой теплоизоляции «Корунд». Такой метод изолирования имеет наименьший процент тепловых потерь по сравнению с другими предложенными. В предлагаемых способах изоляции сделана попытка обобщить имеющийся опыт проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводов и улучшить данные знания с помощью внедрения новых средств изолирования трубопроводов при надземной прокладке.

#### Список литературы

1. ГОСТ 30732-2006. Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. – Москва, 2007. – 3 с.
2. Р-НП СРО ССК – 04 -2014. Рекомендации по применению сверхтонкой жидкой изоляции «Корунд». – Челябинск, 2016. – 8 с.
3. Моисеев Б. В., Земенков Ю.Д., Налобин Н.В., Земенкова М.Ю., Дудин С.М. Методы теплового расчета трубопроводов различного назначения. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 19 с.
4. СП.61.13330.2012. Свод правил. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. – Москва, 2013. – 69 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ АБСОРБЦИОННО – ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПЕРЕД КОМПЛЕКСНЫМ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ (КВОУ) ГТУ

Н.М. Закиева<sup>1</sup>, Гатиятов И.З.<sup>1</sup>, Л.С Сабитов<sup>1,2</sup>, Б.Ф. Тимершин<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет, г.Казань, Россия  
<sup>2</sup>ООО инженерный центр «Энергопрогресс», г. Казань, Россия  
[znm88@mail.ru](mailto:znm88@mail.ru), [sabitovls@eprog.tatenergo.ru](mailto:sabitovls@eprog.tatenergo.ru), [timershinbf@eprog.tatenergo.ru](mailto:timershinbf@eprog.tatenergo.ru)

**Аннотация:** при эксплуатации газовой турбины в штатных условиях содержания воздуха в составе газозвушной смеси достигает 98%. В теплый период года теплофизические свойства воздуха меняются. Повышение температуры и снижение плотности воздуха приводит к снижению электрической мощности ГТУ, увеличению удельного расхода топлива. Охлаждение воздуха на входе в газовую турбину позволяет компенсировать эти негативные факторы.

**Annotation:** when operating a gas turbine in normal conditions, the air content in the gas-air mixture reaches 98%. In the warm season, the thermophysical properties of air change. An increase in temperature and a decrease in air density leads to a decrease in the electric power of gas turbines and an increase in specific fuel consumption. The cooling of the air at the inlet to the gas turbine compensates for these negative factors.

**Ключевые слова:** абсорбционно – холодильная машина, газотурбинная установка, комплексное воздухоочистительное устройство, недовыработка электрической энергии, перерасход природного газа.

На рассматриваемой электростанции с целью установки АБХМ в составе ПГУ – 220 МВт, установлены две газовые турбина PG6111FA производство General Electric мощностью 77 МВт каждая. Они оснащены горелками с системой сухого подавления выбросов NOx, обеспеченными системами воздухозабора, которые укомплектованы необходимыми напорными камерами, фильтровальными модулями, шумоглушителями и противобледенительной системой для всасываемого воздуха.

В летний период недовыработка электрической энергии ввиду высокой температуры окружающего воздуха составляет согласно данным производственно – технического отдела 12206,89 МВт на одну установку ГТУ, данные по недовыработки электрической энергии по месяцам указаны в таблице 1.

Таблица 1. Сводная таблица по недовыработке электроэнергии в связи с высокой температурой наружного воздуха

Месяц	Недовыработка Э/Э, тыс. кВтч
Апрель	330,0745
Май	1593,0244
Июнь	2239,7154
Июль	3468,4574

Август	4169,1656
Сентябрь	391,9728
Октябрь	14,4805
Итого	12 206,89

С целью снижения влияния высокой температуры сжимаемого в компрессоре воздуха на выработку электрической энергии от парогазовой установки (ПГУ) в целом предлагается применить предварительное охлаждение воздуха перед компрессором в теплообменном аппарате комплексного воздухоподготовительного устройства (КВОУ). В качестве источника холода предлагается использовать бромисто-литиевую абсорбционную холодильную машину (АБХМ).

В испарителе абсорбционной холодильной машины (АБХМ) охлаждается хладоноситель, циркулирующий через теплообменник КВОУ. При работе АБХМ электрическая энергия потребляется только для приводов насосов (насос циркуляционной воды, насос раствора LiBr, насос этиленгликоля), а основным энергетическим ресурсом для выработки холода служит пар (возможны случаи применения горячей воды, отходящих дымовых газов).

В КВОУ осуществляется подготовка воздуха перед его подачей в компрессор газовой турбины, в частности фильтрация и охлаждение. Влага, образующаяся путем конденсации содержащихся в охлаждаемом воздухе водяных паров, представляет собой обессоленную воду, являющаяся ценным ресурсом на электрической станции, в связи с чем подлежит сбору и дальнейшему полезному использованию на собственные нужды электростанции.

Градирия предназначена для отведения низкопотенциальной «отработанной» тепловой энергии от АБХМ, объем которой определяется как сумма тепла, поступившего с потоками греющего источника и охлаждаемого воздуха.

Выполненный анализ существующего расхода охлаждающей воды на ПГУ электростанции выявил возможность подключения системы охлаждения абсорбера и конденсатора АБХМ к существующей системе оборотного водоснабжения электростанции, исключив, таким образом, затраты на строительство дополнительной градирни для АБХМ. Подключение АБХМ к циркуляционной системе водоохлаждения цеха ПГУ-220 МВт отражены в расчетах по определению экономической эффективности. Расход циркуляционной воды для одной установки АБХМ составляет 539 м<sup>3</sup>/ч (ТКП производителя АБХМ).

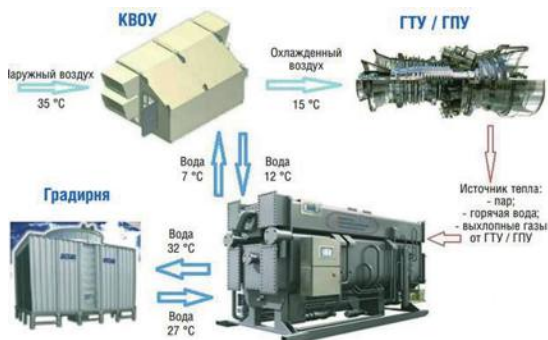


Рисунок 1 Блок-схема работы АБХМ в цикле с ГТУ

Недополученная прибыль предприятия, связанная со снижением объема вырабатываемой электроэнергии:

где:

- недополученная прибыль предприятия, руб.;
- стоимость отпускной электроэнергии, руб./тыс. кВтч;
- себестоимость вырабатываемой электроэнергии, руб./тыс. кВтч;
- объем невыработанной электроэнергии, тыс. кВтч;

$n$  – количество ГТУ, шт.

$$= (1170,88 - 1440) \cdot 12 \cdot 206,89 \cdot 2 = 257 \, 743,20 \text{ руб.}$$

Также существуют денежные штрафы связанные с недопоставкой мощности по ДПМ (договор о предоставлении мощности).

ДПМ предусмотрено, что нарушение продавцом обязательств по поставке мощности в установленном количестве может выражаться в:

- а) частичном невыполнении обязательства по поставке мощности объектом генерации в количестве, определенном в ДПМ (т.е. недопоставка мощности данного объекта генерации);
- б) полном невыполнении обязательства по поставке мощности в установленном ДПМ количестве - в случае продажи продавцом или отчуждения им иным способом введенного в эксплуатацию аттестованного объекта генерации.

Согласно данным ПТО рассматриваемой станции, денежные потери от штрафных коэффициентов составили 14 703 411,79 руб./год.

Затраты на капитальное строительство установок АБХМ приведены в таблице 2.

Таблица 2 Капитальные затраты на установку 2-х АБХМ

Статья затрат	Цена, руб. (без НДС)
Стоимость установки	49 205 504
<b>Затраты на СМР</b>	14 752 620
Монтаж вспомогательного оборудования, в том числе покупка и	

установка РОУ 14/5	
Заливка фундамента под оборудование в главном корпусе	
Строительство эстакады технологических трубопроводов	
Подключение (при необходимости) реконструкция ячеек) эл.оборудования к ячейкам	
Монтаж АБХМ	
Строительство здания АБХМ	<b>1 714 272</b>
Затраты на ПИР	<b>2 458 770</b>
Затраты на ПНР	<b>737 632</b>
Затраты на обслуживающий персонал (обучение)	<b>300 000</b>
Модернизация КВОУ	<b>25 875 000</b>
<b>Итого</b>	<b>95 013 693</b>

Суммарная недовыработка электрической энергии от двух ГТУ в период с апреля по октябрь 2016 г. составила 24 413,763 тыс. кВтч, что в денежном выражении составляет 9 876 158 руб. Затраты на оплату штрафов по ДПМ 14 703 411,79 руб. При внедрении АБХМ, потенциальная экономия с учетом эксплуатационных затрат составляет 17 090 230,63 руб./год при средней стоимости отпускной электроэнергии 1284 руб./МВт. Капитальные затраты на внедрение АБХМ составят 95 013 693 руб., с учетом модернизации КВОУ. Простой срок окупаемости для двух установок АБХМ составит 5,56 года.

#### Список используемой литературы

1. ГОСТ 23290-78. Установки газотурбинные стационарные. Термины и определения.
2. ГОСТ 21199-82. Установки газотурбинные. Общие технические требования.
3. Повышение эффективности использования газа на компрессорных станциях / В.А. Диньков, А.И. Гриценко, Ю.Н. Васильев, П.М. Мужилковский. – М.: Недра, 1974/-160 с.
4. Пономарев П.С. Вопросы рациональной эксплуатации газотурбинных установок: учебное пособие. – Уфа: ГОУ ВПО УГНТУ, 2003. – 88 с.
5. Инструкция по эксплуатации КВОУ на ПГУ КТЭЦ – 2.
6. Рудаченко А.В., Чухарева Н.В., Байкин С.С. Газотурбинные установки: учебное пособие. - Томск 2008 г. - с. 136

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПЛАНИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Закирова А.Р. к.т.н., доцент,  
Садыков З.Б. д.т.н., профессор,  
Раджабов Т.Р. магистрант  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

**Аннотация:** В статье рассматриваются меры по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики, акцентируется внимание на развитие электроэнергетики, в том числе на основе использования возобновляемых источников энергии

**Abstract:** The article considers measures to increase the energy and environmental efficiency of the Russian economy, focuses on the development of the electricity industry, including through the use of renewable sources of energy

**Ключевые слова:** электроэнергетика, энергоэффективность, энергоёмкость ВВП, энергосбережение

В последнее десятилетие в России вопросам планирования энергетики придается большое значение. Так в 2008г. вышел Указ Президента РФ "О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики", в котором был предусмотрен ряд мер по снижению к 2020 г. энергоёмкости ВВП РФ не менее чем на 40% по сравнению с 2007 годом.[1] В январе 2009 года вышло Распоряжение Правительства РФ №1-р «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года», которое включает комплекс мероприятий, направленных на создание условий, стимулирующих развитие использования возобновляемых источников для производства электрической энергии; определяет цели и принципы использования возобновляемых источников энергии, содержат целевые показатели объема производства электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии и ее потребления в совокупном балансе производства и потребления электрической энергии, устанавливают целевые показатели степени локализации производства основного и (или) вспомогательного генерирующего оборудования для производства электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии, а также меры по достижению этих показателей.»[2]

Последующие нормативные документы не имеют структурной ориентации по видам энергии, а нацелены на создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования и регулирования отношений по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в целом.

В ноябре 2009 года была утверждена распоряжением Правительства РФ N 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года», а также вступил в силу Федеральный закон N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о

повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ». Понятие энергоемкости упоминается в составе структуры предоставляемой физическим лицам, организациям, органам государственной власти и органам местного самоуправления актуальной информации о требованиях законодательства в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, о ходе реализации его положений; получения объективных данных об энергоемкости экономики РФ (в том числе ее отраслей), о потенциале снижения такой энергоемкости, о наиболее эффективных проектах и о выдающихся достижениях в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.[3]

В 2010 году постановлением Правительства РФ № 391 «О порядке создания государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и условий для ее функционирования» утверждены Правила создания данной государственной информационной системы.[4]В настоящее время функционирует экспертный портал, разработанный по заказу Министерства энергетики РФ, в котором представлена: актуальная информация о значимости и целесообразности энергосбережения на промышленных предприятиях, предприятиях торговли и сферы обслуживания, сельского хозяйства и др.; сведения об основных направлениях повышения энергетической эффективности производственного процесса и процесса потребления энергоресурсов в целом; рекомендации по разработке программы энергосбережения организации; материалы об организационных мероприятиях и технологических решениях, ориентированных на повышение энергоэффективности; реестр региональных организаций, предоставляющих услуги в сфере энергоаудита и энергосервиса, а также энергообъемных компаний и т. д. На портале даже представлена детская рубрика с мультиками, уроками и играми, но отсутствует информация с объективными данными об энергоемкости экономики РФ, а в разделе статистика приводятся лишь аналитические материалы по вопросам энергосбережения и энергоэффективности. В рубрике «В регионах» представлена статистическая информация десятилетней давности, хотя имеется интерактивная карта с показателями потребления энергетических ресурсов и энергоемкости, но без указания года сбора данных и возможности проследить динамику. [5]

В том же 2010 году утверждена государственная программа РФ "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года", направленная на обеспечение повышения конкурентоспособности, финансовой устойчивости, энергетической и экологической безопасности российской экономики, а также роста уровня и качества жизни населения за счет реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности на основе модернизации, технологического развития и перехода к рациональному и экологически ответственному использованию энергетических ресурсов. В данной программе отмечалось, что на тот период энергоемкость валового внутреннего продукта России в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в 2,5 - 3,5 раза выше, чем в развитых странах. [6]



На сайте Федеральной службы государственной статистики по запросу «энергоёмкость ВВП» можно получить данные за период с 2012 по 2017 годы, которые показывают стабильное снижение энергоёмкости в РФ. Однако по мнению исполнительного директора Центра по эффективному использованию энергии И. А. Башмакова динамику энергоёмкости ВВП следует рассчитывать иначе и при правильном расчете оказывается, мы не переходим к «зеленой» экономике, в которой энергоёмкость устойчиво снижается, а остаемся в зоне «красной» экономики с высокой энергоёмкостью. Т.е. получается, что энергоёмкость ВВП в 2012-2016 гг выросла на 0,5%, а не снизилась на 20,5% как показывает расчет с использованием ВВП в текущих ценах». [7]

Приведенная аналитика показывает, что требуется адекватная методика расчета энергоёмкости ВВП с применением системного подхода к анализу как базового инструмента эффективного управления энергией.[8]В рамках системного подхода требуется учет в разрезе источников выработки энергии, в частности, электроэнергии. МЭА предполагает, что электричество к 2050 г. займет первое место по доле в глобальном потреблении энергии (23–26%). По прогнозу Equinor доля электроэнергии к 2040 г. может вырасти до 24–27%. На европейском рынке, в рамках сценариев декарбонизации европейской энергетической стратегии, она может достичь 36–39% в 2050 г. Концерн «Shell» в своем сценарии «нулевых выбросов» предвидит даже 50%-ную долю электричества в мировом потреблении энергии к тому же сроку.[9]

В августе 2019 г. приказом Минэкономразвития РФ № 471 утверждена методика расчета энергоёмкости ВВП, результаты планируется опубликовать в ежегодном государственном докладе о состоянии в области энергосбережения и повышении энергетической эффективности в РФ. В данной методике уделено большое внимание анализу вопросов электроэнергетики.[10]

К методологическим подходам планирования развития электроэнергетики можно отнести также взаимосвязанные ГОСТ Р 58057-2018 «Планирование развития энергосистем. Общие требования» и ГОСТ Р 58058-2018 «Устойчивость энергосистем. Нормы и требования». Эти стандарты содержат требования к прогнозированию потребления и разработке балансов электроэнергии и мощности, общие требования к определению нормативного перспективного резерва мощности, к планированию развития генерирующих мощностей и электрических сетей, а также оценке экономической эффективности строительства и реконструкции объектов электроэнергетики и потребности в топливе электрических станций; устанавливают требования к параметрам электроэнергетического режима и их значениям, обеспечивающим выполнение требований к устойчивости электроэнергетических систем, а также требования к определению максимально допустимых и аварийно-допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях (допустимой нагрузки электростанций).[11]

#### **Список литературы:**

1 Указ Президента РФ от 04.06.2008 №889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской

экономики»URL: <http://docs.cntd.ru/document/902104125> (дата обращения 28.10.2019)

2 Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 8.01.2009 N 1-п)URL: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm> (дата обращения 28.10.2019)

3 ФЗ от 23.11.2009 №261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»URL: <https://rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html> (дата обращения 28.10.2019)

4 О порядке создания государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и условий для ее функционирования (утв. постановлением Правительства РФ от 1 июня 2010 г.№391) URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102348630&backlink=1&&nd=102138628> (дата обращения 28.10.2019)

5 Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности URL: <https://gisee.ru/regionsupport/> (дата обращения 28.10.2019)

6 Распоряжение Правительства РФ№2446-р от 27.12.2010 «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» URL: <https://rg.ru/2011/01/25/energoberejenie-site-dok.html> (дата обращения 28.10.2019)

7 Башмаков И.А. Что происходит с энергоемкостью ВВП России?//И.А. Башмаков/ Нефть.Газ.Химия (Энергоэффективность и экология): ООС. – 2018URL: [http://www.cenef.ru/file/Bashmakov\\_28.pdf](http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_28.pdf)(дата обращения 28.10.2019)

8 Kashapov N.F./System analysis of the energy complex of engineering enterprise as a basic tool of effective energy management/ Kashapov N.F., Gil'manshin I.R., Konahina I.A.// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Bristol-UK. -2014, December. -Vol. 69. -Conf.1.URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/69/1/012024/pdf> (дата обращения 28.10.2019)

9 Электрическая цивилизация URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2016/09/26/658434-elektricheskaya-tsivilizatsiya/>(дата обращения 28.10.2019)

10 Министерство экономического развития РФ//Департамент конкуренции, энергоэффективности и экологии URL: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depMB/2019080202>(дата обращения 28.10.2019)

11 Системный оператор единой энергетической системы URL: [http://so-ups.ru/index.php?id=press\\_release\\_view&no\\_cache=1&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=12899](http://so-ups.ru/index.php?id=press_release_view&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=12899) (дата обращения 28.10.2019)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ СЕТЧАТО- БАННЕРНОГО ОГРАЖДЕНИЯ НА ВЕТРОВУЮ НАГРУЗКУ В РАМКАХ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ

Ипполитов Артур Игоревич, студент-магистрант  
Шмелёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКиИС  
[gn.shmelev@mail.ru](mailto:gn.shmelev@mail.ru)

Галимуллин Ильшат Альбертович, студент-магистрант  
[alchimik96@mail.ru](mailto:alchimik96@mail.ru)

Хайдаров Ленар Ильнурович, ассистент кафедры МКиИС  
ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный  
университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования влияния проницаемости различных реально существующих баннерных полотен на ветровые нагрузки. Анализ выполнялся на основе компьютерного моделирования в ПК «Ansys Fluent». В ходе исследования определена эффективность применения различных типов баннеров, а также целесообразность применения проницаемых баннеров сравнительно с непроницаемыми аналогами.

**Abstract.** The article presents the results of the study of the influence of permeability of various real-life banner cloths on wind loads. The analysis was carried out on the basis of computer modeling in PC "Ansys Fluent ". In the course of the study, the effectiveness of different types of banners was determined, as well as the feasibility of using permeable banners in comparison with not permeable analogues.

**Ключевые слова.** Ветровые нагрузки, трибуна, навес, численные исследования.

**Введение.** В настоящее время баннерные полотна широко применяются в качестве ограждений временных зданий и сооружений. Так как ветер для таких зданий и сооружений является одной из основных нагрузок, представляет интерес применение проницаемых ограждающих элементов. В большинстве случаев проницаемые элементы устанавливаются перед закрытыми внутренними фасадами.

Нормами отечественных нормативных документов предполагается использовать результаты испытаний специальных макетов в аэродинамических трубах, позволяющих воспроизвести атмосферный пограничный слой. Но такие испытания очень трудоемки, причем для крупных и сложных моделей их приходится выполнять в специальных лабораториях, которые в наше время есть лишь в иностранных государствах.

Целью работы является изучение действительных ветровых нагрузок на трибуны с навесом при изменении проницаемости ограждающих материалов, подбор наиболее выгодного материала для использования в подобных конструкциях в будущем.

### Исследование проницаемости различных баннерных полотен

В 1956 году Б.Г. де Брей, эксперт по аэродинамике в Королевском авиационном центре Великобритании, провел серию испытаний в аэродинамической трубе, чтобы показать, как плоские пластины с отверстиями в них влияют на движущийся воздушный поток. Его эксперименты показали, что отверстия делают воздушный поток более стабильным, но было зафиксировано «только сравнительно небольшое снижение коэффициента сопротивления».

Вентиляционные отверстия действительно уменьшают ветровую нагрузку, но, как показал де Брей, снижение нагрузки относительно невелико, пока пористость не станет большой.



Рисунок 1 – Пример сетчатого баннера

Объект-прототип представляет собой временное сооружение, установленное специально для проведения соревнований по «Хайдайвингу» в рамках XVI Чемпионата мира по водным видам спорта 2015 года. Конструкция трибун с навесами располагалась на берегу реки Казанка для размещения зрителей.

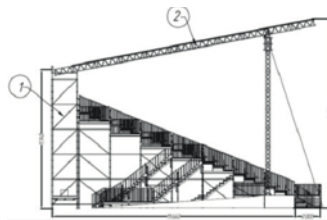


Рисунок 2 – Поперечный разрез конструкции трибуны с навесом. 1. Трибунная часть. 2. Навес

Сформируем 2 основные расчетные схемы – изменяя направление ветра – ветер набегает спереди сзади трибуны соответственно. В каждой схеме меняем проницаемость баннерной конструкции (см. рис. 3) и скорость ветра (5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26 м/с). Итого 64 побочных схемы на каждую основную. Для большей актуальности получаемых результатов были взяты реально существующие модели баннерных полотен.

Название баннера (производитель и модель)	Проницаемость, $\text{дм}/\text{м}^2\text{с}$
Ultraflex Ultramesh Supreme	1150
Ultraflex Premium 328	1400
Transprint Mesh Banner	1650
Ultraflex strip mesh Pro LTX	1736
ROTEX Airmesh 300	2052
Ultraflex Eclipse	2650
Avery Dennison MPI 4540	4444
ROTEX Airmesh 220	6394

Рисунок 3 – Проницаемость используемых баннерных полотен

Полученные результаты показали, что при увеличении проницаемости, нагрузки на трибуну уменьшаются, а эффективность растет, причем по экспоненте. Следовательно, выгоднее применять баннеры большой проницаемости. При применении малопроницаемых сетчатых баннеров эффективности практически не наблюдается. Это подтверждает упомянутые ранее опыты Де Брея.

Ветер, проходя через проницаемую стенку не так сильно теряет скорость, следовательно давление уменьшается, что подтверждают графики визуализации в ПК Ansys.

Зоны отрицательного давления уменьшаются как над навесом, так и после трибуны.

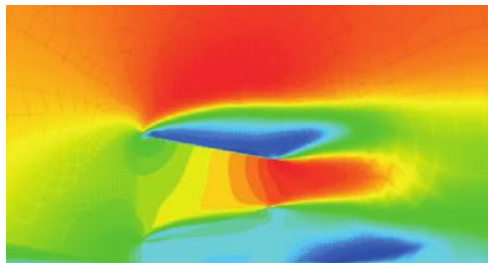


Рисунок 4 – Характер распределения скорости ветра при использовании непроницаемой стенки при встречном ветре

Воздух свободно проходит сквозь баннер, тем самым уменьшая нагрузки на трибуну и навес. При использовании непроницаемой стенки давление концентрируется на большей стенке, при использовании проницаемого баннера давление распределено между большей и меньшей стенкой.

## Выводы

1) При проектировании временных сооружений необходимо учитывать проницаемость ограждающих конструкций трибунной части и принимать аэродинамические коэффициенты на основе результатов продувок моделей

сооружений в аэродинамической трубе, либо результатов численных исследований. Это напрямую повлияет на безопасность эксплуатации временных сооружений.

2) Следует чаще применять проницаемые конструкции и, при прочих равных, из двух проницаемых баннеров выбрать как можно более проницаемый.

3) Примененные методики математического моделирования и вычислительного эксперимента, а также реализующие ее программные средства обеспечивают приемлемую практическую точность, позволяют существенно уменьшить временные ресурсы на выполнение расчётов ветровых воздействий (средняя составляющая нагрузок на несущие конструкции, пиковые давления на фасадные конструкции) на здания.

#### **Список литературы**

1. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие / В.А. Бруйка [и др]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
2. Белостоцкий А.М., Дубинский С.И. Некоторые аспекты верификации программных средств численного моделирования конструкций и сооружений // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering Volume 4, Issue 2. 2008
3. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. // Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – М., ИАСВ, 2007
4. Миронова Ю.В., Габдрахманова Л.М. Ветровые воздействия на существующие малоэтажные здания при размещении высотных и многоэтажных зданий в сложившейся застройке // Известия КГАСУ № 1 (47). – 2019 – с. 147-155

### **К ВОПРОСУ О КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СРЕД**

Колобанов Алексей Сергеевич  
Тарасова Наталия Владимировна  
Липецкий государственный технический университет  
398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30

В работе представлены результаты исследования коррозионной стойкости строительных конструкций ЦХПП и ЦДС ПАО «НЛМК». Установлено, что среднестатистический процент повреждаемости составляет 8,69%, а наибольший коррозионный износ элементов имеют участки с повышенной влажностью и газовыделениями. С использованием математической модели коррозии для цинка и стали, рассчитаны их ожидаемые коррозионные потери. Показано, что наибольшая потеря массы наблюдается на участках с концентрацией хлороводорода выше фонового значения. Результаты ускоренных коррозионных испытаний цинкового покрытия с размером кристаллита от 0,6

до 3,5 мкм показали, что уменьшение размера кристаллита до 0,6 мкм способствует уменьшению скорости коррозии до 0,6 г/м<sup>2</sup>год, что должно увеличить срок службы конструкции в 1,5-2 раза по сравнению с традиционными материалами.

The paper presents the results of a study of the corrosion resistance of building structures of DCRC and DDS PJSC «NLMK». It was established that the average percentage of damage is 8.69%, and the areas with high humidity and gas emissions have the highest corrosion wear of the elements. Using a mathematical model of corrosion for zinc and steel, their expected corrosion losses are calculated. It was shown that the greatest mass loss is observed in areas with a concentration of hydrogen chloride above the background value. The results of accelerated corrosion tests of zinc coatings with crystallite sizes from 0.6 to 3.5 μm showed that a decrease in crystallite size to 0.6 μm reduce the corrosion rate to 0.6 g/m<sup>2</sup>year, which should increase the design life by 1.5-2 times compared to traditional materials.

**Ключевые слова:** коррозионная стойкость, строительные конструкции, Zn-покрытие.

**Key words:** corrosion resistance, building structures, Zn-coating.

Одной из составляющих долговечности строительных конструкций металлургических производств является их коррозионная стойкость. Поскольку указанные конструкции эксплуатируются в агрессивных производственных газозвудушных средах необходимо учитывать состав производственной атмосферы, способствующей развитию процесса электрохимической коррозии. Исследователями установлены наиболее коррозионно-агрессивные компоненты атмосферы [1] и описаны различные математические модели развития коррозии в атмосферных условиях [2, 3], однако, характеристики атмосферы этих цехов могут изменяться в силу их технологического процесса, сезонных факторов, недостаточной естественной вентиляции цеха, приводящих к перепадам содержания агрессивных примесей на различных участках в разные климатические периоды. Особенно актуально это для тонколистовых конструкций, для защиты которых в настоящее время используют металл с цинковыми или полимерными покрытиями. Однако выбор оптимального покрытия должен базироваться на результатах систематических измерений скорости коррозии в конкретных условиях на различных участках производств.

Объектами исследования являлись цеха холодного проката ЦХПП (Цех Холодного Проката и Покровий) и ЦДС (Цех Динамной Стали) металлургического комбината ПАО «НЛМК». В цехе ЦХПП обследовано 2450 участков профнастила в 9 пролетах, из которых 536 участков эксплуатировались с дефектами и повреждениями, Среднестатистический процент повреждаемости – 21,8%. В цехе ЦДС обследовано 896 участков профнастила в 3 пролетах, из которых 78 участков эксплуатировались с дефектами и повреждениями. Среднестатистический процент повреждаемости, определяемый из соотношения количества участков профнастила с дефектами и повреждениям к общему числу обследованных участков, – 8,69%. Наиболее распространенные дефекты и повреждения

профнастила: замачивание атмосферным осадками – 18,5%, местное смятие элементов – 8,1%, локальная коррозия легкой (К1) и средней (К2) – 50,3%, сквозная коррозия – 23,1% от общего количества дефектов и повреждений.

Обследование состояния конструкций, эксплуатирующихся в условиях нормального режима (электромашинные отделения, отделения листоотделки) при сроке эксплуатации конструкций около 40 лет в газовой среде, не содержащей хлороводород, выявило наличие сплошного равномерного коррозионного износа элементов. Состояние конструкций, эксплуатирующихся в условиях наличия паров хлороводорода с периодическим замачиванием кровли, вследствие протечек гидроизоляционного ковра, характеризуется наличием значительных коррозионных повреждений. Так, при концентрации хлороводорода до 11 мг/м<sup>3</sup> (травильное отделение цеха ЦХПП) наблюдается разрушение лакокрасочного покрытия от 90 до 100% на поверхности конструкций.

На основании результатов статистических исследований коррозионного износа элементов конструкций покрытия цехов ЦХПП и ЦДС листопркатного производства ПАО «НЛМК» установлено, что наибольший коррозионный износ элементов имеют участки с повышенной влажностью и газовыделениями. Теоретический расчет скорости коррозии стали Ст3 и цинка в атмосферных условиях травильного отделения цехов ЦХПП и ЦДС рассчитаны по предложенной ранее математической модели [4]. В соответствии с ГОСТ 9.039-74 принято, что по суммарному времени сохранения фазовой пленки на поверхности металла атмосферу можно отнести к типу умеренно-влажной (время сохранения пленки составляет 2000 часов/год). Используя значения коэффициентов математической модели коррозии для цинка и стали, рассчитывались их ожидаемые коррозионные потери (табл. 1).

Таблица 1.

Результаты расчета теоретической скорости коррозии на разных участках ЦХПП и ЦДС, Км, г/м<sup>2</sup>год,

№	Пролет	Ось	Агрегат	Сталь Ст3	Цинк
ЦХПП					
1	Б-В	24	Листоотделка №4	148,8	3,1
2	В-Г	84	Агрегат полимерных Покровтий (АПП)	149,1	3,3
3	Г-Д	51	Агрегат продольной резки	149,8	4,1
4	Е-Ж	56	Склад х/к рулонов	150,5	4,7
5	Е-Ж	92	Агрегат непрерывного отжига (АНО)	149,3	3,5
6	И-К	48	Пятиклетевой Стан	152,2	6,5
7	М-Н	66	Склад травленных рулонов	155,1	8,7
8	М-Н	92	Выход из НТА	264,2	118,4
9	М-Н	72	Вход в НТА	155,2	9,4
10	М-Н	66	НТА	154,9	9,1



11	М-Н	55	Склад травленных рулонов	150,5	4,7
ЦДС					
12	А-Б	5	НТА. Ремонт НТА. Ванны закрыты	151,4	5,7
13	А-Б	5	НТА. Ремонт НТА. Кислотная ванна открыта	152,9	7,2
14	А-Б	3	НТА. Ремонт НТА Промывная ванна открыта	152,6	6,8
15	А-Б	2-3	НТА в рабочем состоянии. Замеры на уровне конструкций покрытия	152,2	6,4
16	А-Б	5-6	НТА в рабочем состоянии. Замеры на уровне конструкций покрытия.	156,5	10,8
17	А-Б	21-22	Нормализационный агрегат. НТА на ремонте. Замеры на уровне конструкций покрытия	149,5	3,7
18	А-Б	31-32	Агрегат подготовки рулонов. НТА на ремонте. Замеры на уровне конструкций покрытия	150,4	4,6
19	В-Г	9	термическое отделение	149,1	3,3
20	В-Г	28	термическое отделение	155,5	9,7
21	В-Г	10	термическое отделение	149,1	3,3
22	В-Г	28	термическое отделение	148,1	2,8
23	П-Р	9	Прокатный стан	148,6	3,5

Таким образом, наибольшая потеря массы наблюдается на тех же участках, где концентрация хлороводорода превышает фоновое значение: участок непрерывно-травильного агрегата и участок пятиклетьевого стана. Результаты статистических исследований свидетельствуют о том, что среднестатистический процент повреждаемости совпадает с участками, где коррозионная агрессивность цеховой атмосфера превышает фоновые значения.

Возможным направлением повышения коррозионной стойкости защитных цинковых покрытий следует рассматривать применение субмикро- и нанокристаллических покрытий или композитных покрытий системы «цинк – углеродные нанотрубки» [5]. Проведение ускоренных коррозионных испытаний цинкового покрытия с размером кристаллита от 0,6 до 3,5 мкм показало (табл. 2), что уменьшение размера кристаллита до 0,6 мкм способствует уменьшению скорости коррозии до 0,6 г/м<sup>2</sup>год.

Таблица 2.  
Результаты коррозионных испытаний цинкового покрытия в 3% NaCl

Показатель скорости коррозии	Размер кристаллита, мкм				
	3,5	2,7	2,0	1,5	0,6
$K_{\text{кр}}, \text{г/м}^2\text{год}$	1,2	1,1	1,0	1,0	0,6

Таким образом, использование в качестве защитных покрытий строительных конструкций, работающих в условиях агрессивных производственных сред, цинковых покрытий с размером кристаллита до 1 мкм позволит повысить срок службы конструкции в 1,5-2 раза по сравнению с традиционными материалами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайловский Ю.Н., Соколов Н.А. Новые представления о механизме стимулирующего действия сернистого газа на атмосферную коррозию металлов // Защита металлов. 1985. Т. 21. №2. С. 214-220.
2. Стрекалов П.В., До Тхань Б. Моделирование атмосферной коррозии углеродистой стали во влажных тропиках по результатам трехмесячных и годовых испытаний // Защита металлов. 2005. Т. 41. №3. С. 302-315.
3. Карпов В.А., Лапига А.Г., Калинина Э.В., Михайлова О.Л., Ковальчук Ю.Л. Моделирование атмосферной коррозии в тропическом климате Вьетнама // Коррозия: материалы, защита. 2016. № 8. С. 1-10.
4. Михайлов В.В., Колобанов А.С., Лифинцев О.И., Лифинцев А.И. Исследование коррозионной стойкости конструкций покрытия цехов холодного проката стали // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 7. С. 28-32.
5. Целуйкин В.Н., Корешкова А.А. О коррозионных свойствах композиционных покрытий цинк-углеродные нанотрубки // Коррозия: материалы, защита. 2014. №3. С. 31-34.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РФ

Кузнецова Мария Александровна, Зарипова Сирена Наилевна  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
[accic@ya.ru](mailto:accic@ya.ru), [zsn10@mail.ru](mailto:zsn10@mail.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты моделирования аварийности в электросетевых компаниях России на основе динамических рядов (по данным Министерства энергетики РФ (2004-2008 гг.))

**Annotation.** There are presented the results of accident rate simulation based on dynamic series in Russian electricity grid companies according to Power Engineering Ministry statistics (2014-2018)

**Ключевые слова:** электроэнергетика, аварийность, моделирование, динамический ряд

В последние годы производство и потребление электроэнергии в России динамично развиваются. Позитивные изменения в энергетической отрасли, направленные на повышение надежности действующих систем, сдерживаются рядом вызовов и угроз. Прежде всего, это высокая степень физического и морального износа энергетического оборудования, которая в ряде субъектов РФ превышает 80%, технологическое отставание. Износ оборудования и коммуникаций приводит к частым сбоям в работе энергосистем, является основной причиной крупных аварий, имеющих негативные социальные, экологические и экономические последствия.

Несмотря на то, что за последние 5 лет количество аварий на объектах электроэнергетики сократилось на 25,7% (рис.1), на 21,1% увеличилось количество аварий, связанных с повреждениями (отказами) систем автоматики и телемеханики на электростанциях и в электрических сетях [1].

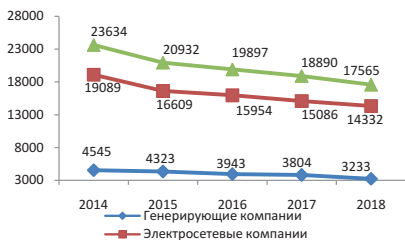


Рис.1. Динамика количества аварий на объектах электроэнергетики, ед.

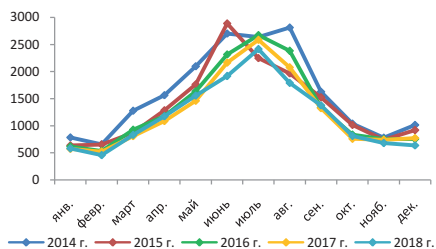


Рис.2. Интенсивность аварий в электросетевых компаниях в течение года

Аварии не только нарушают ритмичность работы предприятий, но и затрудняют своевременное выполнение организационных мероприятий, что обуславливает увеличение нагрузки на работников, приводит к увеличению количества несчастных случаев и возрастанию тяжести производственных травм. Установленное авторами наличие линейной зависимости между количеством несчастных случаев с работниками энергетических предприятий и количеством аварий в электрических сетях напряжением 110 кВ и выше (коэффициент корреляции 0,83) подтверждает необходимость прогнозирования аварийности – важнейшей характеристики работы системы, определяемой количеством технологических нарушений и их последствиями.

Со дня опубликования результатов исследования технологических нарушений оборудования энергетических объектов в 1997-1999 гг. ученых Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, основанных на методах математической статистики с применением регрессионного анализа, прошло более 15 лет [2]. За это время в электроэнергетике страны осуществлен переход от традиционной индустриальной модели к конкурентной модели

отрасли, изменилась и структура электроэнергетики - из региональных вертикально-интегрированных энергосистем были выделены потенциально конкурентные виды деятельности по производству и сбыту электроэнергии, ремонту и сервисным услугам. Эти преобразования, сопровождающиеся развитием производства и потребления электроэнергии, приводят не только к усложнению решения вопросов технологии, организации эксплуатации и управления технологическими процессами, но и возрастанию опасности нарушения электроснабжения значительных территорий. В этой связи представляет интерес исследование аварийности на объектах, функционирующих в рамках конкурентной модели энергетической отрасли.

Исходные данные  $Y$  представляют собой поток событий, характеризующихся появлением аварий на объектах электроэнергетики, или поток технологических нарушений, появляющихся в заранее неизвестные моменты времени. Данные  $Y$  можно записать в виде динамических рядов с событиями, происходящими в регулярные промежутки времени  $[t_i, t_{i+1}]$ . Потоки событий, характеризующихся появлением аварий на объектах электроэнергетики, всегда можно сделать регулярными, подобрав соответствующие интервалы. Анализ данных об аварийности на объектах электроэнергетики, взятых за 2014 - 2018 годы, показал, что для определения влияния различных процессов на аварийность в качестве интервала следует брать один месяц, а количество технологических нарушений в единицу времени принять за интенсивность потока технологических нарушений. Таким образом, объектом исследования являются потоки случайных событий во времени  $Y$ , у которых события характеризуются не только фактом появления аварий на объектах энергетической системы ( $Y_i$ ), но и конкретным неодинаковым во времени количеством таких аварий. В связи с тем, что аварии в электрических сетях электросетевых компаний составляют в разные периоды времени 62-88% всех аварий на объектах электроэнергетики, кроме того, ярко выраженные наибольшие и наименьшие значения интенсивности аварий наблюдаются в электросетевых компаниях (рис.2), в работе исследована интенсивность аварий в электрических сетях номинальным классом напряжения 110 кВ и выше ( $Y_2$ ). Входные данные  $Y_1, Y_2$  для моделирования аварийности взяты из открытых источников, представленных на сайте Министерства энергетики РФ [3].

В количестве аварий учтены аварии, произошедшие как по причинам, связанным с недостатками в технологической деятельности компаний, так и по причинам, не зависящим от деятельности компаний (воздействия посторонних лиц и организаций, птиц и животных, сверхнормативных стихийных явлений и иных форс-мажорных обстоятельств).

Для моделирования входные данные  $Y$  представлены в виде динамического ряда  $Y_t$  [4]:

$$Y_t = U_t + V_t + \varepsilon_t, \quad t = \overline{1, T}, \quad (1)$$

где  $U_t$  - тренд динамического ряда - регулярная компонента, характеризующая общую тенденцию,  $V_t$  - циклическая компонента,  $\varepsilon_t$  - случайная компонента, образующаяся под влиянием различных причин,  $n$  - число уровней наблюдения.

Корректировка исследуемых динамических рядов  $Y_1, Y_2$  осуществлена с использованием метода Ирвина, позволяющего выявить аномальные уровни рядов, не отвечающих потенциальным возможностям исследуемых событий, однако оказывающих существенное влияние на значения основных характеристик временных рядов и на их трендовые модели.

Трендовые компоненты  $U_i$  найдены аналитическими методами сглаживания. Для этого проанализированы пять типов зависимостей между переменными. Наиболее подходящие модели тренда определены методом наименьших квадратов.

Графики входных данных  $Y_1, Y_2$  показывают наличие циклических колебаний в исследуемых потоках событий (рис. 3).

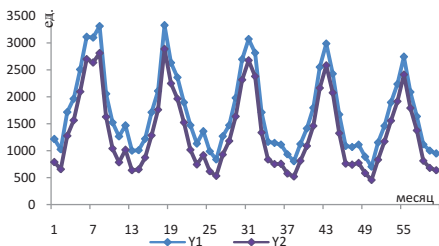


Рис.3. Графики изменения количества аварий

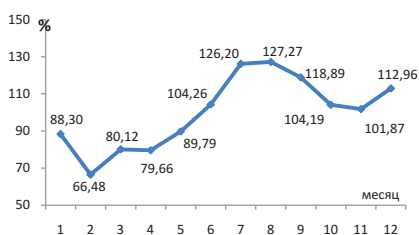


Рис.4. График сезонной волны

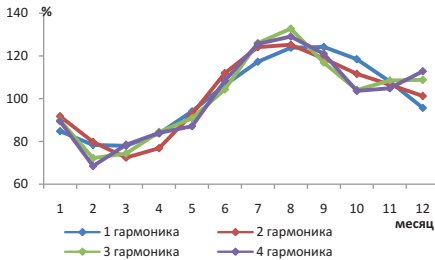
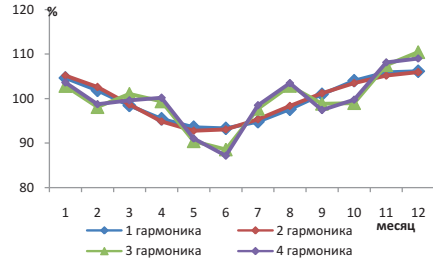
Сумма циклической и случайной компонент представляет собой остаток, образующийся после выделения из временного ряда тренда, который в чистом виде необходим для анализа динамики циклической волны:

$$Y_t - U_t = V_t + \varepsilon_t, \quad t = \overline{1, T}.$$

Если тренд найден правильно, то математическое ожидание случайной компоненты близко к нулю и ее колебания около среднего значения постоянны. В работе использованы два способа фильтрации циклических явлений - метод построения сезонных волн и гармонический анализ. Сезонные волны построены методом простой средней. На рис.4 представлен график сезонной волны для ряда, полученного из  $Y_1$  путем механического сглаживания по пяти точкам. Аналитическая модель сезонности получена с использованием ряда Фурье:

$$\bar{y} = a_0 + \sum (a_k \cos kt + b_k \sin kt),$$

где  $k$  – номер гармоники ряда Фурье. Так как от числа учтенных гармоник зависит степень точности аналитической модели, для каждого исследуемого временного ряда определены от одной до четырех гармоник в зависимости от формы циклической составляющей. Графики гармоник ряда Фурье приведены на рис.5-6.

Рис.5. Гармоники ряда Фурье для  $Y_1$ Рис.6. Гармоники ряда Фурье для  $Y_2$ 

Так как основной целью построения моделей является осуществление на их основе прогноза об интенсивности аварий на объектах электроэнергетики, произведена оценка качества моделей, построенных с учетом четырех гармоник для рядов  $Y_1$  и  $Y_2$ . Модель считается лучшей со статистической точки зрения, если она является адекватной и более точно описывает исходный динамический ряд. При уровне значимости  $\alpha=0,05$  все построенные модели оказались адекватными. По статистическим показателям наиболее точными являются модели:

$$\text{для } Y_1: y = -656,24\cos t - 507,41\sin t + 86,88\cos 2t - 82,35\sin 2t - 30,89\cos 3t - 37,58\sin 3t - 0,41\cos 4t - 4,5\sin 4t + 2008,7e^{-0,005t},$$

$$\text{для } Y_2: y = -606,15\cos t - 600,25\sin t + 163,08\cos 2t - 55,05\sin 2t - 20,76\cos 3t - 26,73\sin 3t - 10,29\cos 4t - 17,41\sin 4t + 1429,6e^{-0,006t}.$$

Полученные тренд-циклические модели позволяют осуществлять прогнозирование интенсивности аварий на объектах электроэнергетики, предвидеть максимумы и минимумы аварийности, запланировать мероприятия, направленные на ее снижение.

### Литература

1. Кожуховский И.С. Ключевые результаты реформы энергетики и новые вызовы. Региональная энергетика и энергосбережение. [Электронный ресурс]. URL: <https://energy.s-kon.ru/i-s-kojkhovskii-klyuchevie-rezultati-reformi-energoenergetiki-i-novie-vizov>
2. Васин В.П. Проблемы анализа аварийности в энергосистемах России / В.П.Васин, Я.Е. Гоник, В.А. Скопинцев // Известия РАН. сер.: Энергетика. -2001. - №4.-С. 35-51.
3. Аварийность. Министерство энергетики [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/267>
4. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем: Учеб. пособие.- М.: Дело, 2003. – 336 с.

## О СОСТОЯНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кузнецова Мария Александровна, Зарипова Сирена Наилевна  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
[accic@ya.ru](mailto:accic@ya.ru), [zsn10@mail.ru](mailto:zsn10@mail.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты анализа данных о пострадавших на предприятиях энергетической отрасли РФ в разрезе федеральных округов

**Annotation.** The results of the analysis of data on victims at the enterprises of the energy industry of the Russian Federation in the context of Federal districts are presented

**Ключевые слова:** энергетическая отрасль, условия труда, охрана труда, численность пострадавших

В последние годы производство и потребление электроэнергии в РФ динамично развиваются (рис.1). Рост производства достигается в основном за счет внедрения высоконадежного оборудования и прогрессивных технологий.



Рис.1. Динамика производства и потребления электроэнергии в России

Несмотря на то, что на предприятиях энергетической отрасли наблюдается общая тенденция к снижению численности пострадавших от несчастных случаев (рис.2), утверждать об улучшении положения в энергетической отрасли страны, а также в конкретно взятом регионе нельзя, поскольку снижение аварийности и травматизма в последние годы достигнуто в основном за счет закрытия отдельных предприятий и сокращения численности работников. Как показывает статистика [1], количество предприятий, производящих / распределяющих электроэнергию (далее - предприятия), и численность работников, занятых на этих предприятиях, имеют тенденцию к снижению: с 2016 по 2018 гг. количество предприятий по РФ сократилось на 11%, численность работников – на 20% (рис.3).

Позитивные изменения в энергетической отрасли, направленные на повышение надежности действующих систем, сдерживаются рядом вызовов и угроз, связанных с высокой степенью износа энергетического оборудования,

высоким уровнем зависимости от импорта оборудования и технологических услуг. Перечисленные факторы приводят не только к частым сбоям в работе предприятий, связанным с нарушением нормального режима всей или значительной части энергосистемы, но и затрудняют своевременное выполнение организационных мероприятий, что обуславливает увеличение нагрузки на работников, приводит к возрастанию тяжести производственных травм.

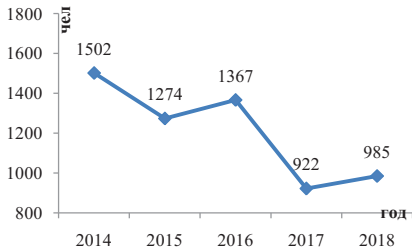


Рис.2. Численность пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более и со смертельным исходом, чел.

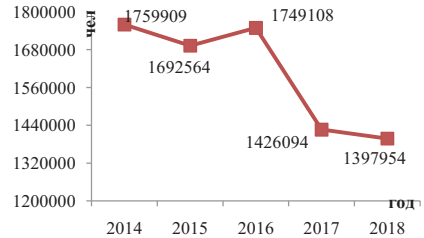


Рис.3. Численность работников предприятий электроэнергетики

Анализ статистических данных за 2014-2018 гг.:

- 1) о численности пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более и со смертельным исходом (чел.);
- 2) о численности пострадавших со смертельным исходом (чел.);
- 3) о численности пострадавших, частично утративших трудоспособность и переведенных с основной работы на другую на 1 рабочий день и более в соответствии с медицинским заключением, чел.;
- 4) о численности лиц с установленным профессиональным заболеванием в отчетном году, чел.;
- 5) удельный вес занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, %;
- 6) о числе чел.-дней нетрудоспособности у пострадавших с утратой трудоспособности на 1 раб. день и более и со смертельным исходом;
- 7) о средствах, израсходованных на мероприятия по охране труда за год, тыс. руб.<sup>1</sup>, показал, что в целом в РФ наблюдается благоприятная тенденция, характеризующаяся снижением количества предприятий с несчастными случаями, а также значений показателей 1 - 5, увеличением средств, израсходованных на мероприятия по охране труда.

Исследования, проведенные на основании значений показателей 1 - 7 в расчете на 1 работника предприятия федерального округа (ФО), показали, что в Дальневосточном ФО (ДФО) и Сибирском ФО (СФО) имеются существенные отклонения в большую сторону значений показателей 1 - 6 от их математического ожидания (МО) (Таблица 1).

<sup>1</sup> Значения показателя взяты с опережением на 1 год



Таблица 1

ФО	Средние значения показателей за 2014-2018 гг.						
	1	2	3	4	5	6	7
ЦФО	0,000642	0,000037	0,000009	0,000007	27,860	0,030465	16,4507
СЗФО	0,000887	0,000064	0,000017	0,000020	36,540	0,044327	14,0577 <sup>3</sup>
СКФО	0,000488	0,000058	0,000014	0,000000	23,240	0,027428	<b>6,8342</b> <sup>3,4</sup>
ЮФО	0,000536	0,000053	0,000008	0,000004	31,400	0,022252	11,0896 <sup>3</sup>
ПФО	0,000623	0,000056	0,000017	0,000033	37,340	0,030944	16,2111
УФО	0,000916	0,000058	0,000021	0,000020	42,080	0,045875	18,1363
СФО	<b>0,001131</b> <sup>4</sup>	0,000081	0,000024	<b>0,000115</b> <sup>3</sup>	<b>45,820</b> <sup>4</sup>	<b>0,053117</b> <sup>4</sup>	15,3134
ДФО	0,000756	0,000065	0,000021	0,000032	<b>45,040</b> <sup>4</sup>	0,038318	17,8881
МО <sup>2</sup>	0,000747	0,000059	0,000016	0,000029	36,165	0,036591	14,4976
СКО	0,000243	0,000025	0,000011	0,000038	8,470	0,013421	4,625

<sup>2</sup> отклонения значений от МО в большую сторону выделены в таблице в серых ячейках,

<sup>3</sup> показатель 6 предполагает выделение отклонений от МО в меньшую сторону,

<sup>4</sup> значения, находящиеся за пределами верхних или нижних границ интервалов, найденных с помощью значений МО и СКО

В Приволжском (ПФО), Уральском (УФО) и Северо-Западном (СЗФО) федеральных округах такие отклонения наблюдаются по трем, четырем и шести показателям соответственно. В Южном (ЮФО) и Северо-Кавказском (СКФО) федеральном округах отклонения наблюдаются по одному показателю 7. При этом в СФО значения показателей 1, 4, 5, 6 находятся за пределами верхних границ интервалов, полученных с учетом математических ожиданий и средних квадратических отклонений. В ДФО такое отклонение наблюдается по показателю 5, в СКФО - по показателю 6. Самая благоприятная ситуация наблюдается в Центральном ФО (ЦФО).

Следует отметить, что в СКФО и ЮФО, несмотря на то, что на 1 работника предприятия энергетической отрасли приходится меньше средств на мероприятия по охране труда, ситуация по другим показателям является более благоприятной, чем в других регионах. Значения коэффициентов парной корреляции  $r$  между показателем «средства, израсходованные на мероприятия по охране труда за год, тыс. руб.» и всеми остальными показателями свидетельствуют о наличии заметной и высокой тесноты связи между ними (в СЗФО, ПФО, УФО, СФО и ДФО): чем больше вложено средств на охрану труда 1 среднестатистического работника предприятия, тем меньше значения показателей 1 ( $r=-0,67$ ), 3 ( $r=-0,82$ ), 4 ( $r=-0,80$ ), 5 ( $r=-0,63$ ), 6 ( $r=-0,7$ ). Тем не менее, средств, вложенных на мероприятия по охране труда (в среднем 15,3 – 18,1 тыс. руб. в год на 1 работника предприятия), в том числе превентивного характера, не достаточно в ПФО, УФО, СФО и ДФО. Наиболее сложная ситуация с охраной труда работников на предприятиях энергетической отрасли наблюдается в СФО и ДФО – в регионах со сложными климатическими условиями. Несмотря на то, что СФО и ДФО являются динамично развивающимися регионами РФ, для которых приоритетными становятся вопросы качества жизни, существуют социальные проблемы, среди которых

одними из острых являются вопросы сохранения жизни и здоровья работников предприятий энергетической отрасли.

Для выявления «узких», с точки зрения безопасности труда, мест необходимо рассматривать конкретные субъекты РФ, входящие в эти федеральные округа, и предприятия энергетической отрасли, функционирующие на территории этих субъектов. Анализ состояния производственного травматизма, профессиональной заболеваемости, условий труда работников позволит наметить профилактические меры, направленные на улучшение условий труда и повышение уровня безопасности производства.

Возросшая интенсивность производственных процессов, динамика условий функционирования энергосистем существенно изменили требования к обеспечению устойчивости их функционирования. Потребовались не однократно устанавливаемые оптимальная структура и параметры системы, а оптимальное сопровождение этих систем, которое обеспечивало бы высокую степень адаптивности к динамично меняющимся внутренним и внешним условиям их функционирования.

Вслед за изменениями в производстве и распределении электроэнергии обновляются и проблемы охраны труда и промышленной безопасности. Решая эти проблемы, рассматривать их следует не «вообще» по стране, а применительно к конкретной ситуации, к сложившемуся состоянию производства. Это обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования технологических процессов и управления ими с учетом конкретных производственно-технических, природно-климатических и социально-экономических условий, повышает актуальность разработки методологии прогнозирования и средств обеспечения безопасного и эффективного функционирования энергосистем в субъектах РФ.

#### Литература

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://showdata.gks.ru/finder/>

УДК 004.942, 614.83

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЧЕЕЧНО-НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Купцов А.И., Гимранов Ф.М.,

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», artpb@yandex.ru

**Аннотация:** Рассматривается возможность применения ячеечно-нейросетевой модели для прогнозирования последствий выброса тяжелых газов в случае аварийного разрушения емкости. На примере распространения пропан-бутановой смеси показана практическая значимость использования ячеечно-нейросетевых моделей в прогнозировании аварий.

**Ключевые слова:** нейронные сети, топливно-энергетический комплекс, ячеечно-нейросетевая модель, выброс опасных веществ, прогнозирование

К объектам топливно-энергетического комплекса (ТЭК) относятся объекты системы совокупности производств, процессов, материальных устройств по добыче топливно-энергетических ресурсов, их преобразованию, транспортировке, распределению и потреблению как первичных, так и преобразованных видов энергоносителей.

В настоящее время актуально обеспечение промышленной, экологической и антитеррористической безопасности на объектах ТЭК (топливно-энергетического комплекса). При этом на таких объектах присутствует условная вероятность аварийной разгерметизации технологического оборудования, в котором хранятся углеводороды, с последующим выбросом опасных веществ и возникновением взрывоопасных зон. Возникает проблема прогнозирования распространения возможных выбросов этих опасных веществ. При этом последствия аварийных выбросов на объектах ТЭК могут быть различными: от экологического загрязнения атмосферы до образования взрывоопасных зон.

Для прогнозирования распространения используется широкий спектр математических моделей и методов, основанных как на «упрощенных» уравнениях, так и на сложных системах дифференциальных уравнений, описывающих динамику распространения газозоодушных облаков [1].

Математическое описание будет максимально корректно описывать реальные ситуации, если учитываются такие влияющие факторы, как: метеоусловия, рельеф местности, характер выброса и его местоположения, параметры вещества и т.д. В результате в большинстве моделей влияние этих факторов учитывается ограничено и упрощено, при их учете существенно возрастает длительность расчетов, и требуется огромные вычислительные мощности (например, в случае численных расчетов).

Одним из вариантов решения данных проблем является оперативное прогнозирование и учет изменения влияющих на распространение и рассеивание выброса опасных веществ, которое может быть достигнуто путем применения нетрадиционных подходов и методов, таким как например «симбиоз» моделей: численные расчеты на основе базисных уравнений аэрогазодинамики и искусственных нейросетевых моделей.

В практике математического моделирования описываемых процессов достаточно широко используются искусственные нейронные сети, которые позволяют эффективно решать практические задачи экологической и промышленной безопасности [2-5]. Данная работа посвящена применению ячеечно-нейросетевых моделей для решения задач безопасности на примере оценки последствий распространения взрывоопасных «тяжелых» газов в результате аварийного выброса на объекте ТЭК.

Общая постановка задачи ячеечно-нейросетевого моделирования была ранее поставлена в работе [2]. В ней в качестве объекта исследования рассматривается однородная среда, характеризующаяся различными

параметрами: температурой, концентрацией и другими. В общем случае параметры среды меняются во времени и в пространстве, что обусловлено внутренними и внешними условиями ее существования. Искомой является модель, которая позволит наилучшим образом описать состояние среды в любой ее точке в любой момент времени. Распространение аммиака прогнозируется на основе множества расчетов по интегральной модели «тяжелых газов».

Аналогичный подход, но уже на основе результатов численных расчетов применен нами. Рассмотрим пример ячеечно-нейросетевого моделирования на примере оценки последствий аварийного выброса пропан-бутановой смеси при разрушении емкости (14 м в диаметре и 13 м в высоту). Первоначально изучение поведения облаков тяжелых газов проводилось с помощью численного моделирования [6].

Смесь тяжелых газов, содержалась в емкости, а затем мгновенно освобождалась в присутствии застройки (9мх9мх9м), расположенного на расстоянии 50 м по направлению ветра от места выброса. Расчетные концентрации газа вычислены в различных точках. Расчеты проводились при различных метеоусловиях: учитывалась стратификация атмосферы, а также различное влияние скорости ветра (1 м/с, 2,5 м/с и 5 м/с).

Оценка последствий распространения тяжелых газов заключается, прежде всего, в расчете полей концентраций (в том числе: предельно-допустимых концентраций (ПДК) и нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП)) и их изменения во времени, так как именно они определяют размеры взрывоопасных зон, зон превышения ПДК и влияют на принятие решений по снижению и ликвидации негативных последствий для окружающей среды и человека.

Вся рассматриваемая расчетная область (размером 150м\*100м\*40м), разбита на 313722 ячейки [5]. Входными переменными нейронной сети – являлись состояния базовой ячейки и ячеек ее окружения (концентрации пропан-бутановой смеси) в предыдущий момент времени, а также параметры внешней среды: скорость ветра и температура атмосферного воздуха.

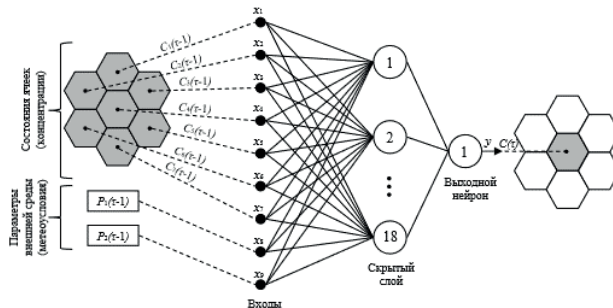


Рисунок - Схема ячеечно-нейросетевой модели для прогнозирования концентраций

Единственный выходной параметр нейронной сети– прогнозируемое состояние базовой ячейки на следующий момент времени. Таким образом, сеть включает несколько входных переменных и одну выходную (см. рис.). Несмотря на ограниченную обучающую выборку (девять расчетов численного моделирования) результаты изменения концентрации тяжелых газов во времени для определенной точки пространства (возле препятствия) получены удовлетворительные: при различных метеоусловиях средняя абсолютная ошибка рассчитанных концентраций составила около  $5,0 \text{ мг/м}^3$ . Результаты получены за короткий период времени вычислений по сравнению с численными методами, равный не более 10 минут. Это доказывает целесообразность применения ячеечно-нейросетевых моделей в оперативном прогнозировании аварий на опасных производственных объектах топливно-энергетического комплекса.

#### Литература:

1. Купцов А.И., Гимранов Ф.М. Свеча рассеивания: основы расчета. Казань: Академия Наук Республики Татарстан, 2018. 136 с.
2. Дударов С.П., Папаев П.Л., Кудряшов А.Н., Карибова Ю.А. Ячеечно-нейросетевые модели в задачах экологической безопасности // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. №2. С. 31-39
3. Папаев П.Л., Дударов С.П. Применение ячеечно-нейросетевых моделей для оценки последствий залповых выбросов аммиака на примере реальной химической аварии // Успехи в химии и химической технологии. 2012. №1. С. 29-30.
4. Кузнецова А.С., Купцов А.И., Гимранов Ф.М. Использование нейросетевой модели для прогнозирования в режиме реального времени последствий выброса опасного газа из технологического оборудования // Вестник технологического университета». 2019. №7. С. 114-119
5. Купцов А.И., Гимранов Ф.М. Нейросетевое прогнозирование распространения тяжелых газов в атмосферном воздухе при разрушении газгольдера // I Международная научно-практическая конференция «Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2019)». Материалы конференции. — Уфа: УГАТУ, 2019. — С. 110-115.
6. Ортина М.Н., Купцов А.И., Гимранов Ф.М. Математическое моделирование рассеивания облаков тяжелых газов в условиях промышленной застройки: влияние метеоусловий // Вестник технологического университета». 2017. №10. С. 115-118.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-1

Лаптева Елена Анатольевна, Тактамышева Рушания Рифадовна,  
Тюклина Кристина Витальевна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»,  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51

**Аннотация.** Электроэнергия стала тем ресурсом, без которого невозможно интенсивное развитие современных компаний и нормальное жизнеобеспечение домохозяйств.

Анализ рынка электроэнергии Татарстана показал, что в последнее время наблюдается устойчивый дефицит выработки электроэнергии. Сократить импорт электроэнергии в республику, снизить энергозависимость РТ от соседних энергетических систем и повысить надежность энергоснабжения потребителей Казанского энергорайона и предприятий нефтегазохимического кластера республики стало возможно путем модернизации генерирующих мощностей АО «Татэнерго».

**Abstract.** Electricity has become the resource without which intensive development of modern companies and normal life support of households is impossible. Analysis of the electricity market of Tatarstan showed that in recent years there has been a steady shortage of electricity generation. To reduce imports of electricity to the Republic, to reduce the energy dependence of RT from the neighboring energy systems and to improve power supply reliability of the Kazan power district and the enterprises of petrochemical cluster of the Republic was made possible by upgrading the generating capacities of JSC «Tatenergo».

**Ключевые слова:** модернизация, энергоснабжение, газовая турбина, парогазовая турбина.

**Keywords:** modernization, power supply, gas turbine, combined cycle turbine.

Республика Татарстан является одним из наиболее динамично развивающихся регионов России. Увеличение численности населения, быстрое развитие информационных и энергоемких технологий, расширяющаяся автоматизация производств, глобализация компаний и их рынков сбыта ведут к всевозрастающей потребности и неуклонному росту спроса на энергоресурсы. Однако проведенный анализ показал, что действующих генерирующих мощностей республики недостаточно для покрытия спроса на электроэнергию. Одной из причин данного факта является снижение конкурентоспособности генерирующих компаний Татарстана вследствие изношенности оборудования<sup>2</sup>. Например, дефицит выработки электроэнергии (рис. 1), который имел место в период с 2010 г. по 2017 г., компенсировался за счет импорта из соседних энергетических систем. Очевидно, что возникает угроза появления компаний-конкурентов из близлежащих регионов, стремящихся поставлять на рынок Татарстана более дешевую электроэнергию (например, генерируемую на ГЭС).

<sup>2</sup> Из-за отсутствия финансирования существовавших и резкого снижения ввода новых энергомощностей в период экономического спада вырос износ основного оборудования.

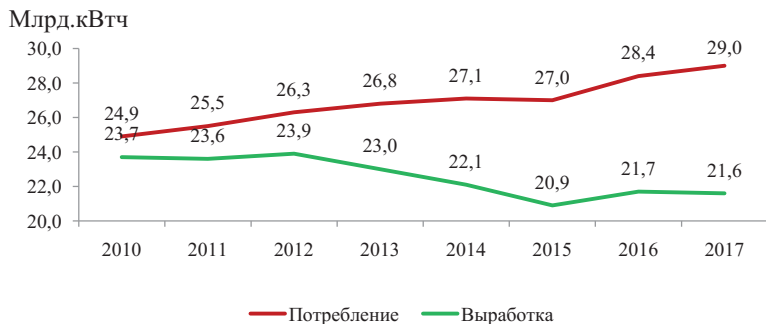


Рисунок 1. Динамика выработки потребления электроэнергии в Республике Татарстан

Все это свидетельствует о необходимости повышения конкурентоспособности генерирующих компаний Республики Татарстан, ввода новых мощностей, способных удовлетворить спрос на электроэнергию требуемых параметров в регионе.

С учетом внешних (например, импорт электроэнергии) и внутренних (существенное снижение потребления тепловой энергии в паре, мощности по тепловой энергии избыточны и требуют постоянных затрат на их содержание, а по электрической – исчерпаны, устарели и требуют коренной модернизации и др.) факторов компанией АО «Татэнерго» были определены стратегические цели развития компании (до 2035 года) и перечень приоритетных для реализации в 2014-2019 гг. проектов, направленных на обеспечение бесперебойного и надежного электро- и теплоснабжения потребителей, повышение энергоэффективности и энергосбережения, сохранение высококвалифицированного кадрового потенциала, развитие технологий дистанционного обслуживания потребителей, модернизация действующих мощностей, внедрение энергосберегающих технологий, ввод новых мощностей. Одним из них стал проект по повышению эффективности Казанской ТЭЦ-1 путем модернизации действующих и ввода новых мощностей (строительство двух энергоблоков с общей установленной мощностью 246 МВт). Нужно отметить, что данный проект вошел в состав приоритетных инвестиционных проектов Республики Татарстан, реализуемых в энергетическом комплексе согласно «Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 года» [1].

Основные целевые установки и результаты проекта представлены в таблице 1.

Таблица 1

## Целевые показатели проекта модернизации Казанской ТЭЦ-1

Наименование показателя	ед.изм.	факт 2017г.	ПГУ-246	Всего
Установленная мощность				
- электрическая	МВт	220	246	385
- тепловая	Гкал/час	530	109	542
Годовая выработка энергии -электрической	млн.кВтч	758,6	1645,6	2178,7
Годовой расход энергии на С/нужды				
- электрической	млн.кВтч	86,6	80,3	137,7
Годовой отпуск энергии:				
-электрической	млн.кВтч	672	1565,3	2041
-тепловой, в том числе	тыс.Гкал	1354,3	455,5	1232,7
в сетевой воде	тыс.Гкал	1191,78	455,5	1139,436
в паре	тыс.Гкал	162,516	0	93,264
Годовой расход условного топлива	тыс.тут	398,4	438,0	680,7
Удельный расход условного топлива:				
-на отпуск электроэнергии	г/кВтч	304,3	236,6	244,9
-на отпуск тепла	кг/Гкал	143,2	148,6	146,7

Очевидно, что ввод новых мощностей на 246 МВт в Казанском энергодефицитном районе позволяет снять ограничения по подключению к системе энергоснабжения новых и расширяющихся промышленных предприятий г.Казани, обеспечить наличие резерва в отпуске горячей воды с учетом перспективной застройки жилых районов, улучшить экологическую обстановку за счет снижения удельных выбросов загрязняющих веществ и минимизации сжигания угля, снизить себестоимость отпускаемой продукции (электрической и тепловой энергии), повысить надежность электро- и теплоснабжения потребителей, сократить импорт электроэнергии [2] в республику (рис. 2).

Предполагается, что в связи с низкими затратами топлива, гарантируемым (в рамках ДПМ<sup>3</sup>) сбытом генерируемой мощности и сформированным рынком сбыта тепловой энергии рыночный риск будет низким.

<sup>3</sup> Условия ДПМ предполагают гарантированную продажу всей электроэнергии, поставляемой по договорам мощности на протяжении 10 лет (при условии покрытия от 70% до 95% капитальных и эксплуатационных затрат), полную компенсацию затрат на технологическое присоединение к сетям, а также позволяют за счет повышенных индивидуальных тарифов на мощность строить новые генерирующие мощности и модернизировать имеющиеся [3, 4].



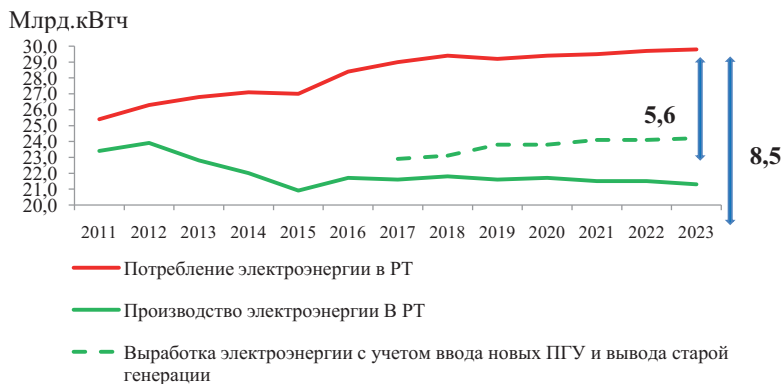


Рисунок 2. Прогноз сокращения импорта в Республику Татарстан

Таким образом, реализация данного проекта серьезно усиливает позиции компании АО «Татэнерго» – участника программы ДПМ (договор о предоставлении мощности) – на рынке электроэнергии Татарстана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт Министерства экономики РТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mert.tatarstan.ru/strategiya-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya.htm>, свободный (Дата обращения: 23.10.2019);
2. Хлебалин Ю.М. Оценка экономической эффективности модернизации и реконструкции действующих ТЭЦ // Промышленная энергетика, № 3, 2012, С. 2-4.
3. Пимениди К. ДПМ: меры ответственности, принципы расчета штрафов, освобождение от ответственности // Энергетика и право, №2, 2014, С. 28-32.
4. Сосенкина И.М., Любимова Н.Г. Модернизация тепловых электростанций // Материалы II-й Всероссийской научно-практической конференции «Приоритетные и перспективные направления научно-технического развития Российской Федерации». – Москва: Издательство Государственного университета управления, 2019. Россия. 12-14 марта 2019 г. С. 385-387.

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-1

Лаптева Елена Анатольевна, Тактамышева Рушания Рифадовна,  
Тюклина Кристина Витальевна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»,  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51

**Аннотация.** В настоящее время неотъемлемым условием надежного и безопасного энергоснабжения потребителей является внедрение новых

технических решений и инновационных технологий на всех стадиях производства электрической и тепловой энергии.

Выбор современных высокоэффективных технологий производства энергии, в частности, газовых турбин, основан на результатах технико-экономических расчетов.

Результаты анализа экономической эффективности модернизации Казанской ТЭЦ-1 говорят о ее целесообразности при условии получения АО «Татэнерго» доступ к ДПМ (договор о предоставлении мощности).

Проект позволяет АО «Татэнерго» сохранить и улучшить свою позицию на рынке электроэнергетики Татарстана и, тем самым, снизить энергозависимость региона.

**Annotation.** At present, the introduction of new technical solutions and innovative technologies at all stages of production of electric and thermal energy is an essential condition for reliable and safe energy supply to consumers.

The choice of modern high-efficiency energy production technologies, in particular, gas turbine, is based on the results of technical and economic calculations.

The results of the analysis of the economic efficiency of the modernization of the Kazan CHP-1 indicate its feasibility, provided that JSC Tatenergo receives access to the PDM (power supply agreement).

The project allows JSC Tatenergo to maintain and improve its position in the electricity market of Tatarstan and thereby reduce the energy dependence of the region.

**Ключевые слова:** модернизация, современные высокоэффективные технологии производства энергии, газовая турбина

**Keywords:** modernization, modern high-efficiency energy production technologies, gas turbine

В условиях роста динамики энергопотребления в Республике Татарстан в АО «Татэнерго» принята первоочередная задача – обеспечение надежного и безопасного энергоснабжения потребителей за счет реализации новых технических решений и инновационных технологий на всех стадиях производства электрической и тепловой энергии, в частности ввода новых генерирующих мощностей, основанных на парогазовых технологиях.

Мероприятия по модернизации Казанской ТЭЦ-1 подразумевают ввод двух энергоблоков с общей установленной мощностью 246 МВт. Представляется, что основным топливом будет служить природный газ, доставка которого будет осуществляться по специализированным инженерным сетям газоснабжения. Нужно отметить, что наличие первичной инфраструктуры (инженерные сети, транспортные пути и др.) позволяет сократить затраты на реализацию проекта и уменьшить срок ввода новых мощностей в эксплуатацию.

Отличительной стороной проекта модернизации Казанской ТЭЦ-1 является его экологическая направленность, так как предусматривается регулярный мониторинг окружающей среды, поддержание высокого уровня ответственности персонала в обеспечении экологической безопасности.

Для наиболее эффективного производства электроэнергии и утилизации отходящего тепла для производства пара, приводящего в действие паровую турбину, проектом предусматривается использование современных высокоэффективных технологий производства энергии, в частности, газовых турбин [1].

Основными аргументами, определяющими выбор в пользу предлагаемой парогазотурбинной установки, являются следующие факты [2]:

- данные парогазовые установки позволяют достичь электрического КПД более 50 %. Для сравнения, у работающих отдельно паросиловых установок КПД обычно находится в пределах 33-45%, для газотурбинных установок – в диапазоне 28-42%;

- парогазовая турбинная установка является испытанной и доступной технологией;

- парогазовая турбинная установка имеет высокую эффективность процесса производства энергии и эксплуатационную надежность;

- гарантированность поставок топлива;

- низкий уровень воздействия на окружающую среду, включая осязаемое снижение выбросов двуокиси серы и окисей азота в 2,5 раза, пыли и отходов сжигания топлива в котельных установках.

Таким образом, применение парогазовых турбин обеспечивает значительное увеличение объема производимой энергии без дополнительных затрат топлива и позволяет повысить эффективность использования топливных ресурсов [3].

Дата начала реализации проекта модернизации Казанской ТЭЦ-1 – 2016 год.

Проведенный анализ экономической эффективности проекта модернизации Казанской ТЭЦ-1 показал, что ввод новых генерирующих мощностей, основанных на парогазовых технологиях, имеет следующие положительные результаты:

1. он формирует положительные денежные потоки, дисконтированная величина которых превышает инвестиции, а это, в свою очередь, свидетельствует об экономической целесообразности принятия проекта;
2. внутренняя норма доходности выше, чем ставка дисконтирования (реализация проекта позволит не только покрыть затраты от вложенного капитала, но и принесет прибыль);
3. срок окупаемости меньше срока реализации проекта, то есть вложенные в проект инвестиционные затраты окупятся.

Представляется важным отметить тот факт, что реализация данного проекта и положительные показатели эффективности стали возможными только при условии получения АО «Татэнерго» доступ к ДПМ (договор о предоставлении мощности), так как без участия в данной программе проект модернизации Казанской ТЭЦ-1 – неэффективен, чистая приведенная стоимость проекта – отрицательная, внутренняя норма доходности ниже ставки дисконтирования.

Результаты расчетов экономической эффективности проекта с и без программы ДПМ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов экономической эффективности проекта модернизации Казанской ТЭЦ-1 с и без программы ДПМ

Показатель	с учетом ДПМ	без ДПМ
	Значение	
Чистая приведенная стоимость, млрд. руб.	0,092 / > 0	-4,586 / < 0
Внутренняя норма доходности, %	15,2% / > ставки дисконтирования	2,5% / < ставки дисконтирования
Дисконтированный период окупаемости, лет	21,79 / < срока реализации проекта	Нет / > срока реализации проекта

Оценив результаты проведенного нами анализа экономической эффективности проекта модернизации Казанской ТЭЦ-1, можно говорить о его целесообразности, поскольку участие в программе ДМП позволяет проекту окупиться.

Таким образом, подводя итоги, можно утверждать, что проект модернизации генерирующих мощностей ТЭЦ-1 приобретает высокую экономическую и социальную значимость: реализация проекта позволяет внедрить лучшие отечественные и зарубежные технологии в электроэнергетике; повысить самодостаточность энергосистемы Татарстана и надежность энергоресурсосбережения потребителей Казанского энергорайона; снизить дефицит выработки электроэнергии [4] в Республике Татарстан; повысить конкурентоспособность генерирующей компании Татарстана и укрепить позиции компании на рынке электроэнергии Татарстана; обеспечить устойчивое развитие экономики Республики Татарстан.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ростунцова И.А., Шевченко Н.Ю. Эффективность внедрения парогазовых технологий на действующем оборудовании ТЭС // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9 (часть 3) – С. 480-483.
2. Белков М.Л., Лобов Д.Д. Сравнительный анализ газотурбинных и парогазовых технологий производства энергии // Наука, техника и образование, № 7, 2018, С. 45-47.
3. Шелехова В.Б. Модернизация ТЭЦ-12 с целью повышения эффективности ее работы. // Сб. тр. молодых ученых ИСЭМ СО РАН «Системные исследования в энергетике», вып. 45. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. Россия. 17 марта-02 апреля 2015. С.56-61.
4. Хлебалин Ю.М. Оценка экономической эффективности модернизации и реконструкции действующих ТЭЦ // Промышленная энергетика, № 3, 2012, С. 2-4.

УДК 620.92

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ВЕТРОВОЙ И СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МОЩНОСТЬЮ 650 ВТ

Местников Николай Петрович<sup>1</sup>, Нуруллин Эльмас Габбасович<sup>2</sup>  
sakhacase@bk.ru<sup>1</sup>, nureg@mail.ru<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»<sup>1</sup>, ФГБОУ ВО «КГАУ»<sup>2</sup>

**Аннотация:** В данной статье описывается процедура исследования процесса генерации ветровой и солнечной электростанции мощностью 650 Вт с помощью стандартных лабораторных испытаний и оценкой полученных данных с последующим расчетом методом наименьших квадратов для определения зависимости объема мощности от скорости ветра, тока, напряжения и других технических параметров.

**Abstract:** This article describes the procedure for investigating the process of generating a 650 W wind and solar power plant using standard laboratory tests and evaluating the obtained data, followed by least squares method calculation to determine the dependence of power volume on wind speed, current, voltage and other technical parameters.

**Ключевые слова:** ветрогенератор, солнечные панели, среднегодовая скорость ветра, показатель солнечной инсоляции.

**Цель исследования:** Определить точную формулу расчета объема генерации ветрогенератора 500 Вт и солнечной панели 150 Вт с учетом основных технических параметров и требований эксплуатации.

**Материалы и методы:** Для составления подробного определения формулы расчета объема генерации ветрогенератора и солнечной панели следует рассмотреть карты солнечной активности, продолжительности солнечных дней в году, среднегодовой скорости ветра по России, выбор дня испытаний при безоблачной погоде и скорости ветра от 4 м/с. Внедрение ветро-солнечных станций на основе параллельной работы энергии ветра и солнца возможен вдоль северной части Якутии вдоль реки Лена и побережья Охотского моря Магаданской области и Хабаровского края, где отмечено на рисунке 1.



Рис. 1. Карта возможного внедрения гибридных станций в ДФО.

В рамках НИР была разработана математическая модель по расчету основных технических параметров ветро-солнечной электростанции с учетом на основе программы MathCad 14: географического положения, погодных

условий, объема солнечной инсоляции,  $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , средней скорости ветра, м/с, технические параметры выбранного оборудования, вспомогательные данные.

В итоге данная модель выдает необходимое количество солнечных панелей, аккумуляторов, инверторов, контроллеров и ветровых генераторов с указанием периода автономной работы гибридной станции. Для проверки данных полученных от математического моделирования гибридной станции была разработана и собрана гибридная станция в рисунке 2.



Рис. 2. Гибридная станция мощностью 650 Вт.

В виде места проведения лабораторных испытаний был выбран участок в г. Казани на месте Казанского энергетического университета у арки между корпусами «В» и «Д», так как в данном месте скорость ветра достигает от 4 м/с на осенний период. Испытания были проведены отдельно для солнечной панели 150 Вт (далее – ФЭП) и ветрогенератора 500 Вт (далее – ВЭУ). Эксперименты №1 и №2 с ФЭП был проведен в солнечный день с 12:00 по 14:40 часов, где измерены:

1. Освещенность  $E$  [лк];
2. Напряжение  $U$  [В];
3. Ток  $I$  [А];
4. Коэффициент пульсации  $K_n$  [%].
5. Вид погоды;
6. Количество малых фотоэлектрических преобразователей  $n$  [шт].

Таблица 1.

Эксперимент №1 ФЭП от 12.09.2019.

Время	$E$ [лк]	$U$ [В]	$I$ [А]	$K_n$ [%]	Вид погоды
12:00	7790	14,8	7,14	0	Солнце
12:20	7850	14,4	7,42	0	Солнце
12:40	8300	14,23	7,38	0	Солнце
13:00	7800	14,88	7,38	0	Солнце

В ходе изучения параметров эксперимента №1 были установлены следующие зависимости.

1. Зависимость тока [I] от освещенности [E] при эксперименте №1.

$$I = 10.2961 - 0.00346 * E$$

2. Зависимость тока [I] от напряжения [U] и освещенности [E] при эксперименте №1.

$$I = 2.8089 - 0.00363 * E + 0.6145 * U$$

Далее проведен эксперимент №2 ФЭП с изменением на 4 ед. количества фотоэлектрических преобразователей на каждый шаг эксперимента. В испытуемом ФЭП содержится 36 ед. преобразователей с общей площадью  $1,5*0,5 \text{ м}^2$ .

Таблица 2.

Эксперимент №2 ФЭП от 13.09.2019.

n [шт]	U [В]	I [А]	P, Вт
36	14,8	7,14	105,7
32	13,31	0,43	5,72
28	13,05	0,07	0,91
24	13,03	0,07	0,91

В ходе изучения параметров эксперимента №1 были установлены следующие зависимости.

3. Зависимость мощности [P] от количество малых фотоэлектрических преобразователей [N] освещенности [E] при эксперименте №2.

$$P = 37.956 + 0.01829 * N - 2.9634 * U + 15.5379 * I$$

Эксперимент №3 ВЭУ был проведен в ветреный день с 10:00 по 12:00 часов, где измерены:

1. Скорость ветра V [м/с];
2. Напряжение U [В];
3. Ток I [А];

Таблица 3.

Эксперимент №3 ВЭУ от 11.10.2019.

Время	V [м/с]	U [В]	I [А]
10:00	5,30	8,06	2,02
10:15	3,20	7,06	1,52
10:30	7,58	10,58	3,81
10:45	7,69	12,10	3,87

На основе данных показателей были рассчитаны показатели мощности ВЭУ по двум формулам:

$$P_{взу} = U_{взу} * I_{взу} * \cos\varphi(1)$$

, где  $U_{взу}$  – напряжение [В],  $I_{взу}$  – ток ВЭУ [А],  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности равный 0,9.

Формула 1 основана на показании напряжения и тока ВЭУ, полученных из эксперимента и имеют высокую точность с учетом погрешности измерительных устройств.

$$N_{взу} = 0,185 * D^2 * V^3$$

, где  $N_{вэу}$  – мощность ВЭУ [Вт],  $D$  – диаметр ротора [м],  $V$  – скорость ветра у ротора [м/с].

Далее сравнены две мощности из формул на рис. 1.

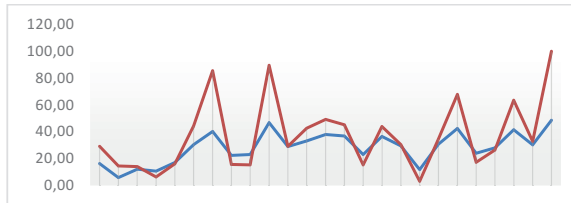


Рис. 3. Сравнение показателей мощности по току и скорости ветра.

, где синим цветом изображена величина мощности по формуле 1, а оранжевым цветом изображена величина мощности по формуле 2.

С учетом абсолютной погрешности, которая при формуле 1 равна 28,8% и формуле 2 равна 17,9 % было рассчитано отличие [Кстаб] (далее – коэффициент стабилизации) этих двух мощностей:

$$K_{стаб} = \frac{P_{ср.вэу}}{N_{ср.вэу}} = 0,76 \quad (3)$$

, где  $P_{ср.вэу}$  – средняя установленная мощность ВЭУ за все время эксперимента по формуле 1,  $N_{ср.вэу}$  – средняя установленная мощность ВЭУ за все время эксперимента по формуле 2.

Таким образом, вследствие проведенных расчетов и эксперимента №3 установлено, что для расчета мощности маломощных ВЭУ до 1 кВт в диапазоне ветров от 3 до 10 м/с формула 2 должна быть изменена в следующем виде:

$$N = 0,185 * K_{стаб} * D^2 * V^3 \quad (4)$$

, где  $N$  – мощность ВЭУ [Вт],  $D$  – диаметр ротора [м],  $V$  – скорость ветра у ротора [м/с],  $K_{стаб}$  – коэффициент стабилизации.

Выводы: По итогам статьи были получены новые формулы расчета генерации ФЭП и ВЭУ малой мощности до 1-2 кВт с учетом основных технических параметров. Разброс данных математического моделирования на MathCaf 14 и лабораторных данных от ветро-солнечной станции мощностью 650 Вт составляет до  $\pm 15\%$ .

### Источники

1. Воронков Э.Н. (2017), «Солнечная энергетика может стать одним из ключевых факторов формирования нового технологического цикла», В сборнике: Промышленная энергетика. 2017. № 4. с. 48-53.

2. Константинов А.Ф., Нетрадиционные энергоисточники Якутии/ Отв.ред.: Бурянина Н.С. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. – с. 121-123.

3. Хэ Кай, Су Линь, Воронков Э.Н. (2018), «Вклад возобновляемой энергетики Китая в формирование глобального технологического цикла», В сборнике: Вестник МЭИ. 2018. № 6. С. 43—50.



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА УПРУГОДЕФОРМИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАВЕСОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ВРЕМЕННОГО УКРЫТИЯ ЗОН ПРОИЗВОДСТВА РЕМОНТНЫХ И МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Михайлов Виталий Витальевич, Чесноков Андрей Владимирович  
Долматов Иван Викторович

Липецкий государственный технический университет,  
398600, г. Липецк, ул. Московская, 30

**Аннотация.** Рассмотрена строительная конструкция, предназначенная преимущественно для временного укрытия зон производства ремонтных и монтажных работ. Конструкция состоит из несущего каркаса, покрытого гибкой полимерной мембраной. Напряжённо-деформированное состояние упругодеформируемого верхнего пояса предлагается находить из дифференциального уравнения изогнутого бруса. Форма бруса под нагрузкой и изгибающие моменты представлены тригонометрическими рядами. Приводятся выражения для коэффициентов ряда, задающего эпюру моментов в брусе. Решение дифференциального уравнения изогнутого бруса сводится к решению системы линейных уравнений.

**Abstract.** Building structure, primarily intended for temporary sheltering of production areas for repair and installation works, is considered. The structure consists of a bearer frame, covered with a polymer membrane. Stress-strain state of bending-active top chord is proposed to be found from the differential equation of a beam, subjected to bending. The shape of the beam under load and bending moments are represented by trigonometric series. The coefficients of the series of bending moments are given by expressions. The solution of the differential equation of the top chord is obtained in the form of the solution of a set of simultaneous linear equations.

**Ключевые слова:** bending-active, дифференциальное уравнение изгиба, тригонометрические ряды.

Ремонтные и монтажные работы, для повышения качества и снижения издержек, требуют временного укрытия от негативного воздействия окружающей среды. Рассматриваемые конструкции навесов [1] состоят из упругодеформируемого каркаса 1, покрытого гибкой полимерной мембраной 2 (рис. 1).

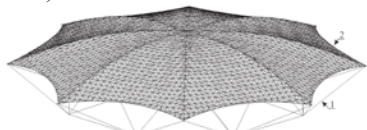
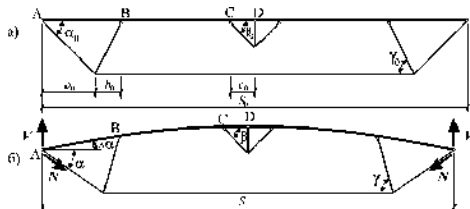


Рис. 1. Конструкция временного навеса

Рис. 2. Упругодеформируемый каркас [2] (плоская модель): а – исходное положение, б – эксплуатационное положение



Каркас рассматриваемого навеса относится к т.н. «bending-active»-системам [3 - 6]. Верхний пояс, состоящий из прямолинейных стеклопластиковых стержней, приобретает куполообразную форму за счёт натяжения тросов нижнего пояса. Деформируясь в упругой стадии, конструкция навеса может быть смонтирована на различных участках производства временных работ.

Напряжённо-деформированное состояние верхнего пояса каркаса рассматриваемого навеса предлагается находить из дифференциального уравнения изогнутого бруса [7]:

$$\frac{d^2 Y(x)}{dx^2} \approx -\frac{M(x)}{E_b \cdot I_b}, \quad (1)$$

где  $Y(x)$  - функция формы бруса (рис. 3);  $M(x)$  - изгибающий момент в сечении  $x$  (рис. 4);  $E_b$  - модуль упругости материала бруса;  $I_b$  - момент инерции поперечного сечения.

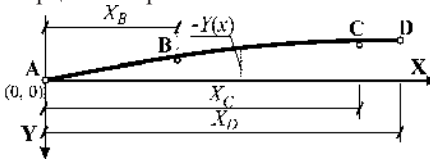


Рис. 3. Геометрическая схема верхнего пояса каркаса

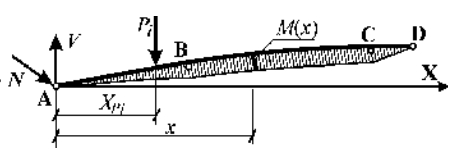


Рис. 4. Схематичная эпюра моментов в верхнем поясе

Для решения дифференциального уравнения (1) функцию формы изогнутого бруса и зависимость изгибающих моментов предлагается разложить в тригонометрические ряды [8]:

$$Y(x, \psi) = \sum_{k=1}^K \psi_k \cdot \sin(k \cdot \pi \cdot x / S), \quad (2)$$

$$M(x, \mu) = \sum_{k=1}^K \mu_k \cdot \sin(k \cdot \pi \cdot x / S), \quad (3)$$

где  $\vec{\psi}$  и  $\vec{\mu}$  - вектора коэффициентов разложения функций;  $K$  - число учитываемых расчётом элементов ряда;  $S$  - пролёт конструкции.

Подставляя (2) и (3) в (1) и приравнивая элементы рядов, имеющие одинаковые индексы  $k=1..K$ , получим систему из  $K$  линейных уравнений, позволяющую определить неизвестные коэффициенты  $\psi_k$ :

$$k^2 \cdot \frac{\pi^2}{S^2} \cdot \psi_k = \frac{\mu_k}{E_b \cdot I_b}, \quad (4)$$

Рассмотрим действие внешней нагрузки, симметричной относительно середины пролёта. Коэффициенты  $\mu_k$  функции (3) получим в виде:

$$\mu_k = \begin{cases} 2 \cdot \mu_{1/2, k}; & k - \text{нечётное} \\ 0.0; & k - \text{чётное} \end{cases} \quad (5)$$

где  $\mu_{1/2,k}$  вычислим из теории рядов Фурье [9]:

$$\mu_{1/2,k} = \frac{2}{S} \cdot \int_0^{X_D} M(x) \cdot \sin(k \cdot \pi \cdot x / S) dx \quad (6)$$

Выражение (6) можно представить в виде:

$$\mu_{1/2,k} = \frac{2}{S} \cdot (\Omega \cdot \overset{\rightarrow}{\psi} + \overset{\rightarrow}{\omega}) \quad (7)$$

где

$$\omega_u = \omega_{ad,u} + \omega_{bd,u} + \omega_{cd,u} + \omega_{Pi,u}, \quad u = 1 \dots K, \quad (8A)$$

$$\Omega_{k,u} = \Omega ad_{k,u} + \Omega bd_{k,u} + \Omega cd_{k,u} \quad (8B)$$

где (обозначения в (9) – (11) приведены на рис. 2 – 4):

$$\omega_{ad,u} = (V - N \cdot \sin(\alpha)) \cdot f_1(0, X_D, u) \quad (9A)$$

$$\omega_{bd,u} = N \cdot \sin(\alpha) \cdot [f_1(X_B, X_D, u) - X_B \cdot f_0(X_B, X_D, u)] \quad (9B)$$

$$\omega_{cd,u} = \left[ \sum_i P_i (X_{Pi} - X_D) + X_D V - N \cdot \sin(\alpha) \cdot X_B \right] \cdot \frac{f_1(X_C, X_D, u) - X_C \cdot f_0(X_C, X_D, u)}{X_C - X_D} \quad (9B)$$

$$\omega_{Pi,u} = \sum_i P_i [X_{Pi} \cdot f_0(X_{Pi}, X_D, u) - f_1(X_{Pi}, X_D, u)] \quad (9Г)$$

$$\Omega ad_{k,u} = N \cdot \cos(\alpha) \cdot f_2(0, X_D, k, u) \quad (10A)$$

$$\Omega bd_{k,u} = \frac{N \cdot \sin(\alpha)}{\tan(\gamma)} \cdot \left[ f_2(X_B, X_D, k, u) - f_0(X_B, X_D, k) \cdot \sin\left(\frac{u \cdot \pi \cdot X_B}{S}\right) \right] \quad (10B)$$

$$\Omega cd_{k,u} = N \cdot \frac{f_1(X_C, X_D, k) - X_C \cdot f_0(X_C, X_D, k)}{X_C - X_D} \cdot \left( \sin\left(\frac{u \cdot \pi}{2}\right) \cdot \frac{\sin(\alpha + \gamma)}{\sin(\gamma)} - \sin\left(\frac{u \cdot \pi \cdot X_B}{S}\right) \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\tan(\gamma)} \right) \quad (10B)$$

где

$$f_0(x_1, x_2, u) = \int_{x_1}^{x_2} \sin(u \cdot \pi \cdot x / S) dx, \quad f_1(x_1, x_2, u) = \int_{x_1}^{x_2} x \cdot \sin(u \cdot \pi \cdot x / S) dx \quad (11A, Б)$$

$$f_2(x_1, x_2, k, u) = \begin{cases} \int_{x_1}^{x_2} \sin(k \cdot \pi \cdot x / S) \cdot \sin(u \cdot \pi \cdot x / S) dx, & npu \quad k \neq u \\ \int_{x_1}^{x_2} (\sin(k \cdot \pi \cdot x / S))^2 dx, & npu \quad k = u \end{cases} \quad (11B)$$

В качестве примера рассмотрена упругодеформируемая конструкция, имеющая следующие начальные геометрические размеры [2] (рис. 2):  $a_0 = 1.5$ ,  $b_0 = 0.0$ ,  $c_0 = 1.0$ ,  $S_0 = 12.26$  м,  $\alpha_0 = 45^\circ$ ,  $\beta_0 = 45^\circ$ . Верхний пояс выполнен из стеклопластиковой трубы с наружным диаметром  $D_b = 125$  мм и толщиной стенки  $t = 6.25$  мм, модуль упругости  $E_b = 2.4 \cdot 10^4$  МПа. Нижний пояс принят из стальных тросов с наружным диаметром 10.1 мм, модуль упругости  $E_{cab} = 1.3 \cdot 10^5$  МПа. Натяжение троса нижнего пояса на величину  $\Delta L_p = 1.0$  м привело к изменению пролёта до  $S = 12.03$  м и изменению угла между

диагональным элементом и горизонталью до  $\alpha = 27.7^0$ . Координаты узлов верхнего пояса вдоль оси X составили  $X_B = 1.44$ ,  $X_C = 5.03$ ,  $X_D = 6.015$  м (начало координат – в опорном узле А).

Внешняя нагрузка  $q_{LD} = 1.0$  кН/м приведена к сосредоточенным силам, расположенным на одинаковом расстоянии между узлами верхнего пояса. В соответствие с [2] вычислено усилие в диагональном элементе нижнего пояса от внешней нагрузки:  $N = 15.9$  кН.

Сравнение результатов статического анализа, полученных по предложенной методике, и результатов программного комплекса EASY – на рис. 5.

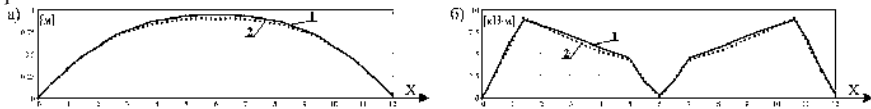


Рис. 5. Очертание верхнего пояса – а, эпюра моментов в верхнем поясе под действием внешней нагрузки – б; 1 – результаты предложенной методики, 2 – результаты, полученные в программном комплексе EASY

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрена строительная конструкция, предназначенная для временного укрытия зон производства ремонтных и монтажных работ.
2. Получены выражения для коэффициентов тригонометрического ряда, задающего изгибающие моменты в верхнем поясе при воздействии нагрузки, симметричной относительно центра пролёта конструкции.
3. Форму верхнего пояса исследуемой конструкции предлагается найти из дифференциального уравнения изогнутого бруса, решение которого сводится к решению системы линейных уравнений.
4. Предложенная методика может быть использована на этапе вариантного проектирования и для поиска оптимальных параметров конструкции.
5. Дальнейшее совершенствование предложенной методики должно быть в её расширении на неравномерные внешние нагрузки и воздействия.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chesnokov A.V. Bending-active dome-shaped structure / A.V. Chesnokov, V.V. Mikhaylov, I.V. Dolmatov // Structural membranes 2017. Proc. of the VIII international conference on textile composites and inflatable structures. Munich, Germany, 9-11 October, 2017. P. 427 – 435.
2. Chesnokov A.V. Bending-active frame: analysis and estimation of structural parameters / A.V. Chesnokov, V.V. Mikhaylov, I.V. Dolmatov // Softening the habitats. Sustainable innovation in minimal mass structures and lightweight architectures. Proc. of the TensiNet Symposium 2019. – Milan, Italy, 3-5 June, 2019. P. 111-122.
3. Lienhard J. Bending-active membrane structure / J. Lienhard // Tensinews. No. 22, 2012. P. 9.

4. Lienhard J. Active bending, a review on structures where bending is used as a self-formation process / J. Lienhard, H. Alpermann, C. Gengnagel, J. Knippers // International Journal of Space Structures. Vol. 28, No. 3-4, 2013. P. 187-196.

5. Lienhard J. Bending-active structures. Form-finding strategies using elastic deformation in static and kinematic systems and the structural potentials therein: Univ. Stuttgart, 2014, 211 p.

6. Van Mele T. Shaping tension structures with actively bent linear elements / T. Van Mele, L. De Laet, D. Veenendaal, M. Mollaert, P. Block // International Journal of Space Structures. Vol. 28, No. 3-4, 2013. P. 127-135.

7. Fertis D.G. (2006), Nonlinear structural engineering with unique theories and methods to solve effectively complex nonlinear problems. Berlin Heidelberg: Springer.

8. Chesnokov A.V. Analysis of cable structures by means of trigonometric series / A.V. Chesnokov, V.V. Mikhaylov // Structural membranes 2017. Proc. of the VIII international conference on textile composites and inflatable structures. – Munich, Germany, 9-11 October, - 2017. - p. 455 – 466. Режим доступа: congress.cimne.com/membranes2017/frontal/Doc/Ebook2017.pdf

9. Tolstov G.P. Fourier Series. Dover Publications, 2012, 352 p.

## УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА

Мусина Фирюза Азатовна, [f\\_musina@inbox.ru](mailto:f_musina@inbox.ru)

Харитонова Ольга Сергеевна, [olga.220499@mail.ru](mailto:olga.220499@mail.ru)

Бронская Вероника Владимировна, [dveronika@mail.ru](mailto:dveronika@mail.ru)

Игнашина Татьяна Вячеславовна, [ighnashina00@mail.ru](mailto:ighnashina00@mail.ru)

Володченко Татьяна Витальевна, [f\\_musina@inbox.ru](mailto:f_musina@inbox.ru)

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Бальзамов Денис Сергеевич, [dbalzamov@mail.ru](mailto:dbalzamov@mail.ru)

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

**Аннотация.** Анализ гидродинамики и теплообмена в тонкой пленке жидкости, стекающей по вращающейся поверхности диска представлено как для постоянной температуры, так и для постоянных граничных условий теплового потока.

**Abstract:** The analysis of hydrodynamics and heat transfer in a thin film of liquid flowing down the rotating surface of the disk is presented both for a constant temperature and for constant boundary conditions of the heat flux.

**Ключевые слова:** охлаждение жидкой пленки, вращение, повышение теплопередачи, анализ.

**Keywords:** cooling of a liquid film, rotation, increase in heat transfer, analysis.

Вращающийся диск как элемент промышленных реакторов приобретают популярность в проведении быстрых многофазных реакций, поскольку они

предлагают развитую межфазную поверхность, и короткое время пребывания. Жидкость подается в центр диска, сверху в пространство между пленкой жидкости и неподвижным диском. Скорость вращения обычно высока (до 3000 об/мин), которая генерирует тонкие, неустойчивые и волнистые жидкие пленки над диском. Уменьшение скорости вращения за счет направленной подачи потока газа позволит снизить энергозатраты и сохранить эффективность дискового распыления. Жидкость перемещается в потоке пленки от центра к периферии. Благодаря тонкой пленке, созданной диском, эти реакторы предлагают развитую поверхность контакта фаз, высокие коэффициенты массопередачи между жидкостью и газом над жидкостью. Это особенно выгодно при выполнении быстрых реакций, таких как сжигание нефти, абсорбция и полимеризация. Эти реакторы также показали потенциальные преимущества в таких процессах, как увлажнители, пылевые коллекторы, сушилки, испарители и т.д. Благодаря этим преимуществам механическое разделение с помощью дисков также нашли свое применение в производстве химикатов и фармацевтических препаратов.

Цель нашего исследования состояла в том, чтобы представить анализ теплообмена тонкой пленки жидкости, радиально вытекающей на круговой диск, включая эффекты инерции и вращения [1-3].

Жидкость стекает с вращающегося диска, нагреваясь при этом электрическим нагревателем. В экспериментальных исследованиях [4-6] были найдены толщина пленки жидкости и коэффициенты теплоотдачи. Измерения толщины жидкой пленки были выполнены емкостным зондом [5] или оптическим методом [6]. Задача нами была рассмотрена в радиальных ( $r$ )-и осевых ( $z$ )-координатах, предполагающих симметрию. В этом случае в цилиндрической системе координат над вращающимся круглым диском безразмерные определяющие уравнения имеют вид

Уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{\tilde{r}} \frac{\partial}{\partial \tilde{r}} (\tilde{r} \tilde{u}_z) + \left( \frac{r_0}{h_0} \right) \frac{\partial \tilde{u}_z}{\partial \tilde{z}} = 0 \quad (1)$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{1}{\tilde{r}} \frac{\partial}{\partial \tilde{r}} (\tilde{r} \tilde{u}_z^2) + \left( \frac{r_0}{h_0} \right) \frac{\partial \tilde{u}_z}{\partial \tilde{z}} [\tilde{u}_z \tilde{u}_z] = \frac{\tilde{r}}{Ro} + \frac{1}{Re} + \left[ \frac{1}{\tilde{r}} \frac{\partial}{\partial \tilde{r}} (\tilde{r} \frac{\partial \tilde{u}_z}{\partial \tilde{r}}) + \left( \frac{r_0}{h_0} \right) \frac{\partial^2 \tilde{u}_z}{\partial \tilde{z}^2} - \frac{\tilde{u}_z}{\tilde{r}^2} \right] \quad (2)$$

Уравнение сохранения теплоты:

$$\frac{1}{\tilde{r}} \frac{\partial}{\partial \tilde{r}} (\tilde{r} \tilde{u}_z \theta) + \left( \frac{r_0}{h_0} \right) \frac{\partial}{\partial \tilde{z}} [\tilde{u}_z \theta] = \frac{1}{Pe} \left[ \frac{1}{\tilde{r}} \frac{\partial}{\partial \tilde{r}} \left( \tilde{r} \frac{\partial \theta}{\partial \tilde{r}} \right) + \left( \frac{r_0}{h_0} \right)^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial \tilde{z}^2} \right] \quad (3)$$

где  $Re \equiv \frac{u_0 r_0}{\nu}$ ,  $Ro \equiv \frac{u_0^2}{\omega^2 r_0^2}$ ,  $Pe \equiv \frac{u_0 r_0}{\alpha}$ ,  $\nu$  - кинематическая вязкость и  $\alpha$  -

температуропроводность, считаются постоянными.

Безразмерные параметры:  $\tilde{r} \equiv \frac{r}{r_0}$ ,  $\tilde{u}_r \equiv \frac{u_r}{u_0}$ ,  $\tilde{z} = \frac{z}{h_0}$ ,  $\tilde{u}_z = \frac{u_z}{u_0}$ ,  $\theta_T \equiv \frac{T-T_0}{T_0-T_i}$ ,  
 $\theta_q = \left(\frac{k}{q_0 h_0}\right) (T - T_i)$

где  $r_0$  – радиус на входе в диск,  $u_0$  – скорость входной струи жидкости,  $h_0$  – высота воротника,  $\theta_T$  – безразмерная температура для постоянной температуры стенки,  $\theta_q$  – его аналог для постоянного теплового потока на стенке.  $T_0$  – температура поверхности диска в случае постоянной температуры стенки,  $T_i$  – температура на входе струи жидкости,  $q_0$  – тепловой поток подаваемый на диск.

В итоге толщина пленки может быть записана в точной форме, как,

$$\tilde{\delta} = \left[ \frac{3Ro \left( \frac{r_0}{h_0} \right)^2}{\text{Re}} \right]^{1/3} \frac{1}{\tilde{r}^{2/3}}$$

Для принятой модели получены параметры течения вязкой пленки жидкости при разных технологических параметрах (рис.1).

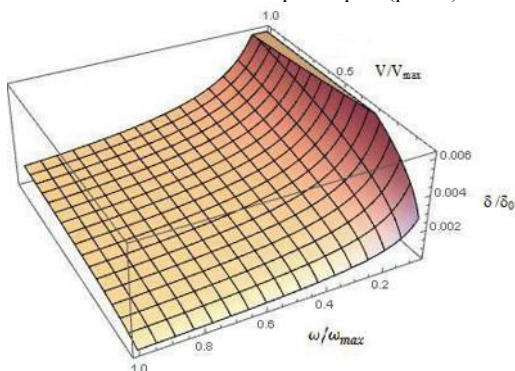


Рис.2. Зависимость безразмерной толщины пленки от приведенной угловой скорости и приведенному расходу жидкой фазы.

При малых скоростях вращения  $Ro=1000$  толщина пленки сначала увеличивается по радиусу диска, а затем начинает истончаться при внешних радиусах за счет эффекта вращения. Толщина пленки уменьшается с увеличением входной скорости или числа Рейнольдса, а максимальная толщина пленки смещается в сторону больших радиусов с увеличением  $Re$ . При высоких скоростях вращения  $Ro=0,5$  толщина пленки имеет радиальный распад, при этом толщина пленки продолжает уменьшаться с увеличением инерции.

При высоких скоростях вращения величина числа Нуссельта увеличивается с увеличением числа Рейнольдса (рис.3).

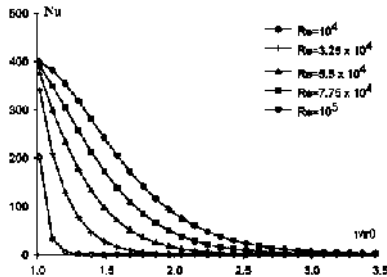


Рис.3 Изменение числа Нуссельта при постоянном тепловом потоке на стенке по поверхности диска для различных чисел Рейнольдса для случая низкого вращения ( $Ro = 1000$ )

Истончение пленки жидкости за счет инерции и вращения обуславливает увеличение числа Нуссельта. Эффектом нагрева пленки жидкости, снижающим градиент температуры и тепловой поток при водит к уменьшению Nu при больших радиусах. Усиление теплообмена за счет вращения подтверждается увеличением критерия Нуссельта по сравнению со значениями при низких скоростях вращения

При малых значениях угловой скорости (т.е. при высоком Ro), изменение числа Нуссельта аналогично случаю с постоянной температурой стенки, за исключением того, что величина числа Нуссельта выше, чем для постоянной температуры стенки.

Установлено, что вращение значительно усиливает теплообмен в пленке жидкости. По мере уменьшения скорости вращения максимум в изменении числа Нуссельта исчезает и непрерывно уменьшается с увеличением радиального расстояния. Положение максимума смещается к меньшим радиусам с увеличением скорости вращения, то есть с уменьшением Ro.

Более сильная зависимость для постоянной температуры стенки может быть логически обоснована на основании того факта, что истончение пленки жидкости оказывающее сильное влияние на градиент температуры на стенке (постоянная температура стенки), чем для постоянного теплового потока.

### Библиографический список

1. Зиннатуллина Г.Н., Давыдов А.В., Бронская В.В., Зиннатуллин Н.Х. «Расчет основных технологических параметров центробежных пленочных тепло- и массообменных аппаратов», Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 3. С. 89-92.
2. Зиннатуллина Г.Н., Давыдов А.В., Байбеков Р.Р., Зиннатуллин Н.Х., Бронская В.В. «Расчет основных технологических параметров центробежных пленочных аппаратов», Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 22. С. 240-244.
3. Давыдов А.В., Бронская В.В., Зиннатуллин Н.Х. «Гидродинамика тонкопленочного центробежного теплообменника», Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 23. С. 145-147.



4. Rice, J., Faghri, A., and Cetegen, B. M., 2005, “Analysis of a Free Surface Film From a Controlled Liquid Impingement Jet Over a Rotating Disk Including Conjugate Effects With and Without Evaporation,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, 48, pp. 5192–5204

5. Thomas, S., Hankey, W., Faghri, A., and Swanson, T., 1990, “OneDimensional Analysis of the Hydrodynamic and Thermal Characteristics of Thin Film Flows Including Hydraulic Jump and Rotation,” *ASME J. Heat Transfer*, 112, pp. 728–735

6. Ozar, B., Cetegen, B. M., and Faghri, A., 2003, “Experiments on the Flow of a Thin Liquid Film Over a Horizontal Stationary and Rotating Disk Surface,” *Exp. Fluids*, 34, pp. 556–565.

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

Нгуен Зуи Хынг, Ву Нгок Зан, Дмитриева Александра Витальевна,  
Танеева Алина Вячеславовна, Новиков Вячеслав Федорович  
Казанский государственный энергетический университет,  
г.Казань, ул.Красносельская, 51

**Аннотация.** В работе проведена оценка надежности трансформаторного оборудования по результатам анализа отработанного изоляционного масла методом радиальной хроматографии на пластиках “Sorbfil”, модифицированных люминисцентным составом. Показано, что на тонкослойных пластинках происходит групповое разделение компонентов отработанного трансформаторного масла, что может служить диагностическим признаком для оценки надежности трансформаторного оборудования.

**Abstract.** In this paper, the reliability of transformer equipment was evaluated based on the results of analysis of spent insulating oil by radial chromatography methods on “Sorbfil” plastics modified with luminescent composition. It is shown that on thin-layer plates there is a group separation of components of the spent transformer oil that can serve as a diagnostic sign for an assessment of reliability of the transformer equipment.

**Ключевые слова.** Надежность, диагностика, оценка, трансформатор, компонент

**Keywords.** Reliability, diagnostics, evaluation, transformer, component

В силовых трансформаторах в качестве диэлектриков заливается изоляционное масло и используется электротехнический картон. С течением времени под влиянием различных негативных факторов, возникающих в процессе эксплуатации маслonaполненного электрооборудования, изоляционное масло и электротехнический картон подвергаются деструкции, вследствие чего ухудшается работа силовых трансформаторов, что может привести к выходу их из строя. Поэтому в практике оценки силового маслonaполненного электрооборудования применяют различные инструментальные методы контроля, которые позволяют провести диагностику

трансформаторов в процессе их эксплуатации, т.е. без остановки для профилактики и ремонта [1-3].

Для диагностики маслonaполненного электрооборудования широко применяются хроматографические методы контроля, которые позволяют проводить исследование газов, выделяющихся в процессе эксплуатации оборудования из трансформаторного масла [4], фурановых соединений, являющихся продуктами деструкции картона [5] и антиокислительной присадки, добавляемой в свежее трансформаторное масло с целью продления срока его эксплуатации [6-8].

В настоящей работе проведена оценка надежности трансформаторного оборудования по результатам хроматографического метода анализа. Экспериментальную часть работы проводили с использованием тонкослойных пластинок «Sorbfil» с люминесцентным слоем, который позволяет визуально фиксировать изменения в качественном составе отработанного трансформаторного масла без наличия сложной аналитической аппаратуры. Элюат, в качестве которого использовали н-Гексан, подавался в середину тонкослойной пластинки периодически в объеме 4 мкл, через 2-3 минуты. Общий объем элюента составлял 20 мкл.

На рис. 1 приведена радиальная тонкослойная хроматография отработанного трансформаторного масла, из которой видно, что происходит разделение компонентов трансформаторного масла на группы, соответствующие парафиновым, нафтеновым и ароматическим углеводородам. Кроме того, желтым цветом выделяются асфальтены, смолы и фурановые соединения, которые образуются в результате деструкции бумажной изоляции трансформаторного оборудования и попадают в трансформаторов масло. В свежем трансформаторном масле изменения не были обнаружены.

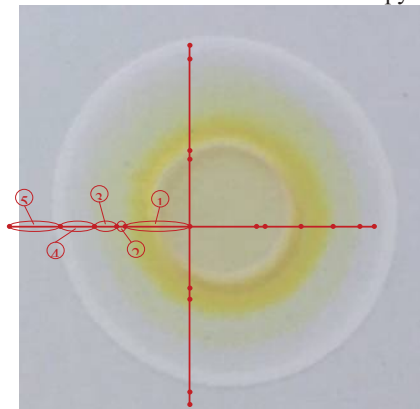


Рис.1 Радиальная тонкослойная хроматография отработанного трансформаторного масла марки ГК-1. Элюент гексан. Тонкослойные пластинки «Sorbfil» с люминесцентными слоями. Объем подаваемого Элюента в центр пластинки 20 мкл.

На рис.2 приведена радиальная тонкослойная хроматограмма отработанного трансформаторного масла под влиянием постоянного магнитного поля. Как видно из рис., количество радиальных колец на хроматограмме уменьшается. Полоса соответствующего кольца концентрируется в более узкой области хроматограммы. Это свидетельствует о том, что происходит дополнительная ориентация молекул под влиянием постоянного магнитного поля.

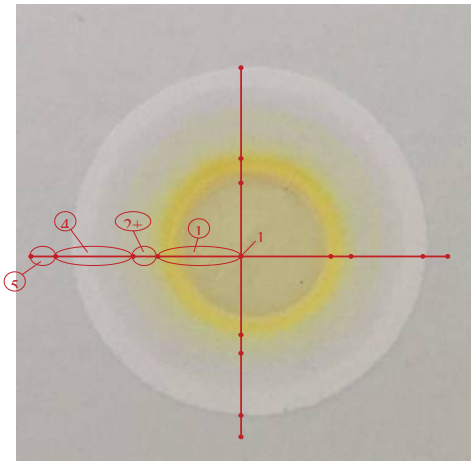


Рис.2 Радиальная тонкослойная хроматография отработанного трансформаторного масла марки ГК-1 под влиянием постоянного магнитного поля. Элюент гексан. Тонкослойные пластинки “Sorbfil” с люминесцентным составом. Объем подаваемого элюента в центр пластинки 20 мкл.

Состав трансформаторного масла:

- |                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 1. Парафиновые углеводороды   | 10 – 15%   |
| 2. Нафтены и циклопарафины    | 60 – 70%   |
| 3. Ароматические углеводороды | 15 -20%    |
| 4. Асфальтены + смолы         | 1 – 2%     |
| 5. Азотистые соединения       | 0,8%       |
| 6. Нафтеновые кислоты         | 0,02%      |
| 7. Ионол                      | 0,2 – 0,5% |

### Литература

1. Львов М.Ю., Кутлер П.П. Физико-химические методы в практике оценки состояния силовых трансформаторов в условиях эксплуатации: Учебно-методическое пособие. - М.: ИУЭ ГУУ, ВИПК-энерго, ИПК госслужбы, 2003. - 20 с.

2. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле рд 153-34. 0-46. 302-00 МОСКВА, 2001

3. Huo-Ching Sun, Yann-Chang Huang, Chao-Ming Huang A Review of Dissolved Gas Analysis in Power Transformers Energy Procedia. 2012, N14, p.-1220 – 1225.

4. Singh S, Bandyopadhyay M. Dissolved gas analysis technique for incipient fault diagnosis in power transformers: a bibliographic survey. IEEE Electrical Insulation Magazine . 2010; 26 (p): 41–46.

5. Карташова А. А., Новиков В.Ф. Определение фурановых соединений в трансформаторном масле газохроматографическим методом с использованием новых сорбентов// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – И 1 -2. – с.47 -52.

6. Рудаков О.Б., Фан Винь Тхинь. Применение микроколоночной ВЭЖХ для контроля ионола трансформаторном масле // Сорбционные и хроматографические процессы. - 2008. ,Т.8, Вып.1. – С.141-146.

7. Методика выполнения измерения массовой доли производных фурана: 5-гидроксиметилфурфурола, фурфурола, 2-ацетилфурана, 5-метилфурфурола, и ингибитора окисления «Агидол-1» («Ионол») в энергетических электроизоляционных маслах маслonaполненного и силового оборудования[Электронный ресурс]. – М.: ФГУП ВНИИМС. Свидетельство об аттестации N34-06 от 28.06.06.

8. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В., Инструментальные метода анализа. В трех частях, ЧП. Газохроматографический контроль производственных процессов в Энергетике. Монография. Под ред. Проф. новиков В.Ф. Казань: гос. энерг. ун –т. 2018. 328с.

УДК 536.246

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ СИНТЕЗЕ БСПЭ**

Плющев Владимир Викторович, ФГБОУ ВО «КНИТУ», [vp220293@gmail.com](mailto:vp220293@gmail.com)

Назарова Мария Алексеевна, ФГБОУ ВО «КНИТУ», [mashynia-lovely@mail.ru](mailto:mashynia-lovely@mail.ru)

Бронская Вероника Владимировна, ФГБОУ ВО «КНИТУ»,  
[dweronika@mail.ru](mailto:dweronika@mail.ru)

Аминова Гузель Абдул-Бариевна, ФГБОУ ВО «КНИТУ»,[a\\_guzel@mail.ru](mailto:a_guzel@mail.ru)

Мануйко Галия Вагизовна, ФГБОУ ВО «КНИТУ»,

[galiya\\_vm@mail.ru](mailto:galiya_vm@mail.ru)

Шайхетдинова Рамиля Сайдашевна, ФГБОУ ВО «КНИТУ»,[rami21@yandex.ru](mailto:rami21@yandex.ru)

**Аннотация.** Представлена комплексная двухфазная модель основана на двух моделях: well-mixed и two-phasesmodel. Получены профили концентраций и температур в микрочастицах, а также определены средние концентрации и температуры на активных центрах катализатора.

**Abstract.** The complex two-phase model is presented based on two models: well-mixed and two-phase model. The profiles of concentrations and temperatures in microparticles are obtained, and the average concentrations and temperatures at the active sites of the catalyst are determined.

**Ключевые слова:** моделирование, кинетика, микроструктура, этилен.  
**Keywords:** modeling, kinetics, microstructure, ethylene.

Блок-сополимер пропилена и этилена – это недорогой, экологически чистый продукт, синтез которого протекает в две стадии – полимеризация пропилена (стадия 1) и сополимеризация пропилена и этилена (стадия 2).

Полимеризация пропилена (стадия 1) в жидком мономере протекает в трубчатых петлевых реакторах с рубашкой [1,2]. Петлевой реактор используется по причине того, что он обеспечивает низкую стоимость и высокую теплопередачу, и поддерживает равномерное распределение катализатора, температуры и давления. Жидкий пропилен и водород (катализатор) подаются в петлевой реактор непрерывно. Реакция полимеризации является экзотермической; теплота реакции удаляется с помощью реакторных рубашек. Гомогенная смесь пористых сфер полипропилена (где находится активный катализатор), суспендированных в жидком пропилене, циркулирует внутри контура реактора. Далее полученный полимер подают в газофазный реактор с псевдооживленным слоем, где осуществляется процесс сополимеризации полипропилена и этилена в газовой фазе (рис.1).

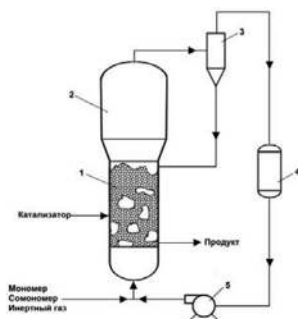


Рис. 1. Схема газофазной полимеризации этилена в псевдооживленном слое катализатора: 1 - зона реакции; 2 – зона разделения; 3 – циклон; 4 – теплообменник; 5 – компрессор.

На сегодняшний день существует ряд технологических сложностей, главной из которых является теплоотвод. Реакция полимеризации сильно экзотермическая и при недостаточном отводе тепла могут образовываться локализованные точки перегрева и, как следствие, нарушение режима псевдооживления. Сложность моделирования такого процесса заключается в необходимости учитывать множество взаимодействий между фазами. Отличительной особенностью рассматриваемой газофазной полимеризации

является то, что система не вовлекает газовую фазу в зону полимеризации. Полимеризация происходит в пограничном слое между твердым катализатором и матрицей полимера. Роль газовой фазы заключается в транспортировке мономеров, перемешивании частиц полимера и удалении теплоты реакции. Данные проблемы невозможно решить без аппарата математического моделирования [3,4].

Для решения поставленных задач взята за основу математическая модель, предложенная К.В.МСАулие, J. P. Taibot и T. J. Harris[5]. Комплексная двухфазная модель основана на двух моделях: well-mixed и two-phasesmodel, согласно которым были введены некоторые допущения:

1. Псевдооживленный слой состоит из двух фаз (фаза пузыря и сплошная фаза);
2. Реакция происходит только в сплошной фазе в режиме минимального псевдооживления;
3. Избыточный газ проходит через слой фазы пузыря.
4. Пузыри растут только до максимально стабильного размера. Поскольку пузыри достигают максимального размера у основания слоя, предполагается, что у них одинаковый размер. Они проходят через слой с постоянной скоростью, коэффициенты тепло- и массообмена являются средними по высоте слоя.
5. Сплошная фаза действует в режиме идеального смешения.
6. Радиальными градиентами концентрации и температуры можно пренебречь, поскольку пузыри распределены равномерно по дну.
7. Существует незначительное сопротивление тепло- и массообмену между газом и твердыми частицами в сплошной фазе (когда частицы катализатора малы и активность катализатора не высока).
8. Используется средний размер частиц, агломерация частиц в модели не рассматривается.

Исследуемая двухфазная модель представлена системой материального и теплового балансов [6,7]:

$$C_{bc} = C_c + \exp \frac{K_{bc} H}{U_b K_{bc} * H} U_b$$

$$U_c \frac{C_0 - C_c}{H} = Q \frac{C_c}{V_c \rho_p} k_p e^{\frac{E_a}{RT_0}}$$

$$C_c X_{kt} \rho_p \frac{1 - \varepsilon_{mf}}{\varepsilon_{mf}} + \Delta K_{bc} \frac{C_{bc} - C_c}{(1 - \Delta)} \varepsilon_{mf} = 0$$

$$T_{bc} = T_c + (T_0 - T_c) \left( U_b \frac{c_{pg}}{H_{bc} H} \right)$$

$$AU_c (1 - \Delta) C_0 \varepsilon_{mf} c_{pg} (T_0 - T_c) + c_{pg} k_{bc} (c_b - c_c) V_b (T_{bc} - T_c) +$$

$$+ H_{bc} V_b (T_{bc} - T_c) + \Delta H k_p \exp_c \frac{-E}{RT_0} C_c * X_{kt} \rho_p \frac{1 - \varepsilon_{mf}}{\varepsilon_{mf}} = 0,$$

где  $T_0$  температура входящего газа,  $c_{pg}$  теплоемкость газовой фазы,  $\rho_p$  плотность БСПЭ,  $U_b$  скорость фазы пузыря,  $U_c$  скорость реакции в сплошной среде,  $H$  высота реактора,  $K_{fc}$  коэффициент массопередачи из пограничного слоя в сплошной фазы,  $K_{bc}$  коэффициент массопередачи из фазы пузыря в сплошную фазу,  $H_{bc}$  коэффициент теплопередачи из фазы пузыря в сплошную фазу,  $\epsilon_{mf}$  доля пустот в слое при минимальной скорости псевдоожижения,  $T_c$  температура в сплошной фазе,  $V_c$  объем сплошной фазы,  $C_b$  концентрация газообразного мономера в фазе пузыря,  $C_c$  концентрация газообразного мономера в сплошной фазе.

Система дополнена уравнениями для нахождения средних значений концентрации и температуры мономера, а также уравнениями материального и теплового балансов для одиночного пузыря:

$$\bar{C}_b = C_c + \exp\left(\frac{K_{bc} * H}{U_b}\right) \frac{U_b}{K_{bc} * H}$$

$$\bar{T}_b = T_c + (T_0 - T_c) \left( \frac{U_b C_{pg}}{H_{bc} H} \right) \left( 1 - \exp\left(\frac{-H_{bc} * H}{U_b * H}\right) \right)$$

$$T_b = T_c + \exp\left(\frac{H_{bc} * H}{U_b * C_b * c_{pg}}\right) \frac{K_{bc} * H}{U_b}$$

$$C_b = C_c + \exp\left(\frac{K_{bc} * H}{U_b}\right) \frac{U_b}{K_{bc} * H}$$

где  $C_b$  концентрация газообразного мономера в фазе пузыря,  $C_c$  концентрация газообразного мономера в сплошной фазе,  $H_{bc}$  коэффициент теплопередачи из фазы пузыря в сплошную фазу,  $H$  высота реактора,  $U_b$  скорость фазы пузыря,  $c_{pg}$  теплоемкость газовой фазы,  $T_0$  температура входящего газа,  $T_c$  температура в сплошной фазе.

Получены зависимости температуры от высоты псевдоожиженного слоя реактора, при различной входной скорости газа и температуре входа мономера (рис.2,3).

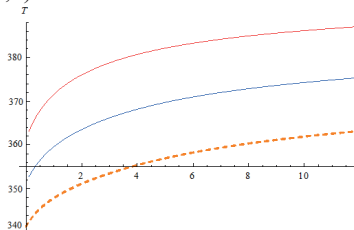


Рис. 2 Зависимость температуры мономера от высоты сплошной фазы в аппарате при  $T_0=340$ ,  $T_{01}=350$ ,  $T_{02}=360$ ,  $C_0=20$  кг/м<sup>3</sup>,  $U_0=0.34$ ;

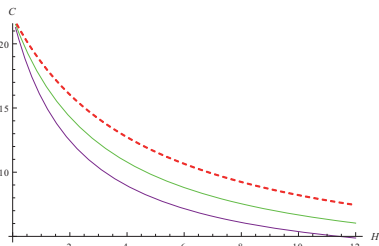


Рис.3 Зависимость концентрации мономера от высоты фазы пузыря в аппарате при  $T_0=340$ ,  $T_{01}=350$ ,  $T_{02}=360$ ,  $C_0=20$  кг/м<sup>3</sup>,  $U_0=0.34$ ;

Система уравнений двухфазной модели была решена методом Рунге-Кутты 4 порядка. Получены профили концентраций и температур в микрочастицах, а также определены средние концентрации и температуры на активных центрах катализатора.

В результате исследований пришли к выводу, что необходимо снизить температуру стадии сополимеризации до  $60^{\circ}\text{C}$  за счет снижения эффективности теплосъема стадии 2 примерно на 45% по отношению к стадии, при этом производительность линии не изменится и БСПЭ будет содержать не менее 15 % масс.

### Библиографический список

1. Назарова М.А., Мануйко Г.В., Бронская В.В., Аминова Г.А., Шайхетдинова Р.С./ Расчет процесса отвода теплоты при синтезе полипропилена в петлевом реакторе/ Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. Сборник научных статей международной научной конференции. Казань. 2019. С. 93-95.
2. Плющев В.В., Бронская В.В., Мануйко Г.В., Аминова Г.А./ Разработка математической модели процесса синтеза БСПЭ в реакторе с псевдооживленным слоем/ Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. Сборник научных статей международной научной конференции. Казань. 2019. С. 99-102.
3. Плющев В.В., Бронская В.В., Аминова Г.А., Мануйко Г.В./ Моделирование газофазной полимеризации этилена в псевдооживленном слое катализатора- Математические методы в технике и технологиях-ММТТ, 2017г., т.7, стр. 65-67.
4. Аминова Г.А., Мануйко Г.В., Бронская В.В., Игнашина Т.В., Захарова О.В., Дьяконов Г.С./ Математическое моделирование процесса синтеза бутадиенового каучука на кобальт- и неодимсодержащих каталитических системах в каскаде реакторов с теплоотводом - Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2008. Т. 50. № 11. С. 2029-2034.
5. K. B. McAulie/ A Comparison of two-phase and well-mixed models for fluidized bed polyethylene reactors- Chem.Eng. Sci/ J. P. Talbot, T. J. Harris- N-13. 1994.
6. Zacca J., Ray W. /Modelling of the liquid phase polymerization of olefins in loop reactors./ Chem. Engineering Science 1993 Vol.48 № 37 P. 43-65  
Young M., Chang W, Ma C. /Polymerization kinetics and modeling of a metallocene cyclic olefin copolymer system/ Eur Ploymer Journal 2003 Vol.39 № 1 P. 65-71.



## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТА ТЕПЛОПРОВОДА ПО АНАЛИЗУ СПЕКТРА КОЛЕБАНИЙ

Политова Татьяна Олеговна,  
Зиганшин Шамиль Гаязович,  
Ваньков Юрий Витальевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
PolitovaTatyana@yandex.ru; shz@list.ru; yvankov@mail.ru

**Аннотация:** работа посвящена экспериментальному исследованию дефектных участков трубопроводов. Проанализированы изменения амплитудно-частотной характеристики трубопроводов в зависимости от давления.

**Ключевые слова:** трубопроводы, дефект, диагностика, обработка сигнала.

Опыт эксплуатации тепловых сетей в России показывает, что контроль за реальными тепловыми потерями на них, как правило, не проводится, хотя в ряде случаев можно выявить, что до 50% транспортируемой теплоты не доходит до потребителя из-за нарушения (отсутствия) теплоизоляции и утечек теплоносителя. Старение трубопроводов из-за коррозии происходит в 2-3 раза быстрее расчетных нормативов. Статистика показывает, что на каждые 100 км двухтрубных водяных сетей ежегодно выявляется около 30-40 повреждений.

Обеспечение надежности при строительстве и эксплуатации трубопроводов является важной составляющей их функционирования. Старение трубопроводов (около 60% находятся в эксплуатации более двадцати лет) ставит задачу предупреждения серьезных аварий и катастроф, в том числе путем обнаружения коррозии. Создание системы мониторинга и диагностики трубопроводных систем, т.е. переход на систему автоматизированного контроля за состоянием трубопроводов и технического оборудования, позволило бы обеспечить безаварийную эксплуатацию трубопроводов с увеличением срока их службы, снизить себестоимость доставки энергоносителей потребителям и экономить потребляемое топливо.

Все это требует применения максимально достоверных диагностических решений для выдачи обоснованного прогноза работоспособности всей системы и выявления потенциально опасных участков. Это позволило бы обосновать необходимость дополнительной гидроизоляции, дренажа, утепления перекрытий каналов, а также возможность разработки способов их эффективной работы.

Для решения задачи в лабораторных условиях проводились исследования на экспериментальном стенде (рис.1), моделирующего участок тепловой сети с циркулирующей жидкостью и возможностью нагружения давлением до 0,4 МПа. Цель работ – исследование собственных частот участка трубопровода с движущимся в нем теплоносителем и изучение влияния дефектов трубопровода на его акустические характеристики.

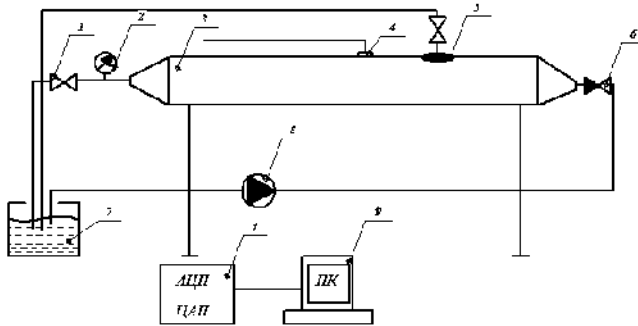


Рис. 1 Экспериментальный стенд: 1 – вентиль; 2 – манометр; 3 – трубопровод; 4 – дефект; 5 – пьезодатчик; 6 – обратный клапан; 7 – емкость; 8 – насос; 9 – АЦП-ЦАП; 10 – компьютер

Регистрация акустического сигнала в исследуемом трубопроводе (3) осуществляется с помощью пьезоэлектрического датчика (4). Затем АЦП (9) переводит аналоговый сигнал в цифровой и происходит запись сигнала на диск компьютера (10), после чего осуществляется его обработка. Запись и обработка сигнала проводится специально созданными программами в среде LabVIEW. Насос (8) обеспечивает циркуляцию жидкости с необходимым давлением, которое, в свою очередь, регулируется вентилем (1) контролируется манометром (2).

Проведен ряд экспериментов на участке трубопровода без дефекта, а также несколько серий экспериментов на участке трубопровода с различными дефектами. Для моделирования различных форм и размеров дефектов применялись металлические насадки с отверстиями.

Характеристики насадок:

1 - центральное отверстие  $d=8\text{мм}$  (рис. 2а)

2 - центральное отверстие «типа трещина»  $l=2\text{мм}$ ,  $b=0,5\text{мм}$  (рис. 2б)



а б

Рис. 2 Модели дефектов

Полученные в ходе экспериментов на стенде данные позволили выявить закономерности, связанные с изменением частотного диапазона в акустических спектрах трубопроводов в зависимости от создаваемого давления и наличия дефекта (рис. 3 -7).

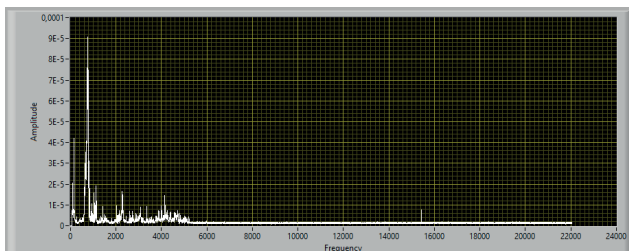


Рис.3 Сигнал бездефектного трубопровода

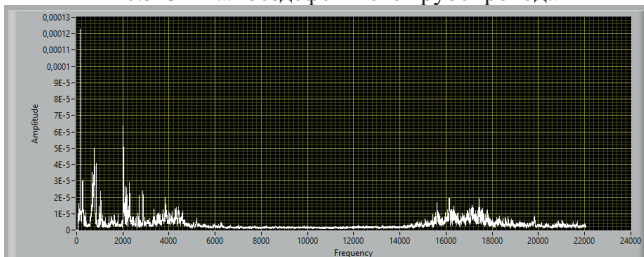


Рис.4 Сигнал трубопровода с дефектом диаметром 8 мм при давлении 2 атм.

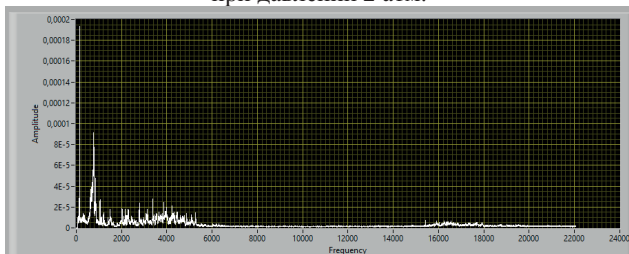


Рис.5 Сигнал трубопровода с дефектом диаметром 8 мм при давлении 0,5 атм.

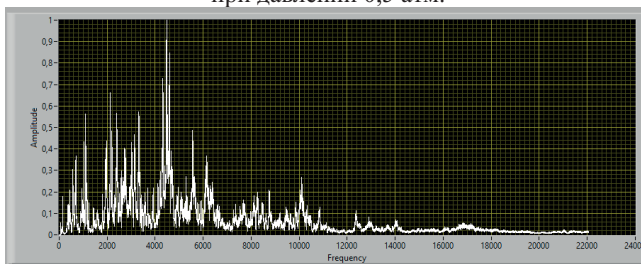


Рис.6 Сигнал трубопровода с дефектом «типа трещина» при давлении 2 атм.

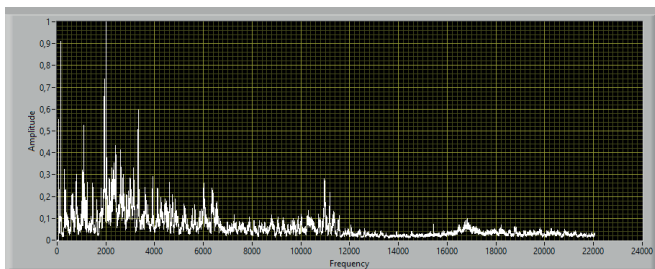


Рис.7 Сигнал трубопровода с дефектом «типа трещина» при давлении 0,5 атм.

Анализ экспериментальных результатов показал:

1. В спектре бездефектной трубы присутствуют преимущественно низкие частоты. Тогда как в спектрах дефектных труб выявились более высокие частоты.
2. С увеличением давления теплоносителя повышается интенсивность сигнала от дефекта.
3. Выявлены закономерности, которые связаны с изменением частотного диапазона.
4. Эксперименты показали высокий уровень достоверности результатов.

### Литература

1. Серов В.В. Изучение влияния коррозионных дефектов на параметры колебаний трубопроводов на ранней стадии зарождения / Ваньков Ю.В., Серов В.В., Зиганшин Ш.Г., Измайлова Е.В. // Казань: Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 11-12, С.144–153.
2. Серов В.В. Устройство для диагностирования трубопроводов: пат. на пол. модель 108551. Рос. Федерация: МПК F17D 3/00 / Серов В.В., Ваньков Ю.В., Зиганшин Ш.Г., Измайлова Е.В.; заявл. 12.04.2011, опубл. 20.09.2011, бюл. №26.
3. Ziganshin Sh.G., Izmailova E.V., Maryashev A.V. Technique for search of pipeline leakage according to acoustic signals analysis. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings electronic edition. 2017. С. 8076416. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076416

## СБОРНО-РАЗБОРНЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ КОНСТРУКЦИИ С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Сайфуллин Наиль Эдуардович, магистр  
Шмелёв Геннадий Николаевич, доцент, зав. кафедрой МКиИС

[gn.shmelev@mail.ru](mailto:gn.shmelev@mail.ru)

Гимазетдинов Айваз Расимович, студент-магистрант

[aivazaivaz1313@gmail.ru](mailto:aivazaivaz1313@gmail.ru)

Хайдаров Ленар Ильнурович, ассистент кафедры МКиИС

ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

**Аннотация.** С целью изучения действительной работы элементов стержневых сборно-разборных конструкций, поиска и совершенствования их конструктивных решений, выполнен расчет систем с жесткими диагональными элементами и систем, полученных частичной заменой стандартных диагоналей на гибкие связи в виде преднапрягаемых и не преднапрягаемых тросовых затяжек.

**Abstract.** In order to study the actual operation of the elements of rod collapsible structures, search and improve their design solutions, the calculation of systems with rigid diagonal elements and systems obtained by partial replacement of standard diagonals with flexible connections in the form of prestressed and non-prestressed cable tightening was performed.

**Ключевые слова.** Стержневые конструкции, гибкие связи, перераспределение усилий.

**Введение.** Цель работы – изучение действительной работы элементов стержневых сборно-разборных конструкций поиск и совершенствование их конструктивных решений.

В сооружения выполненных из модульных лесов диагональные элементы служат для придания пространственной жесткости сооружения, для уменьшения расчетной длины вертикальных элементов, для восприятия сдвиговых перемещений ячейки, вызванных неравномерными вертикальными перемещениями соседних стоек и горизонтальными нагрузками. В сооружении с полным набором диагональных элементов присутствует большое количество мало нагруженных элементов. В связи с этим возможно выполнить разряженную схему для более эффективного использования. Заменяв жесткие диагональные элементы тросовыми затяжками и уменьшением числа диагональных элементов в продольном направлении.

### **Численные исследования**

Задача состоит в анализе НДС исходной системы с жесткими диагональными элементами и систем, полученных частичной заменой стандартных диагоналей на гибкие связи в виде преднапрягаемых и не преднапрягаемых тросовых затяжек.

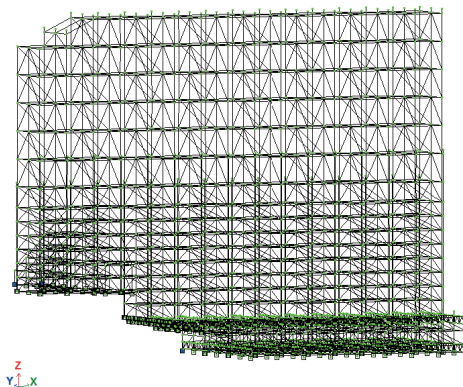


Рисунок 1 – Исходная схема

Выполнен расчет исходной схемы в ПК ЛИРА – САПР 2013 R3. На систему приложены нагрузки от собственного веса, пригруза и ветровой нагрузки. Пульсационная составляющая ветровой нагрузки учтена средствами ПК ЛИРА – САПР. Расчет произведен совместно с упругим основанием, условно сложенным песчаным грунтом.

Из полученных результатов следует вывод:

-самыми загруженными являются диагонали поперечных рам нижнего яруса стенки и контрфорса  $N_{max}=12.3$ , что превышает предельное усилие  $N=1.264t$ .

-диагонали продольных рам загружены на 19% ( $K_{max}=201/1040=0.19$ );

-в ригелях усилия составляют  $N_{max}=4.78t$  что превышает предельное усилие  $N=3.1t$ .

-перемещения вдоль оси Y 1320 мм превышают  $H/75=25500/75=340$ .

-ригелей 1182 шт.;

-диагональных элементов 2412 шт.;

-стоек 1719 шт.;

общий вес элементов составляет 46999.2 кг

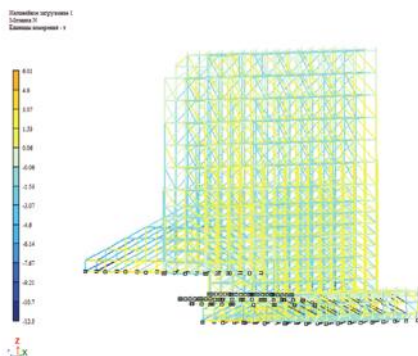


Рисунок 2 – Усилия N в исходной схеме

Проведем замену диагональных элементов поперечных рам на гибкие преднапрягаемые тросы из стального троса общим диаметром 6мм конструкции 1х7 (1+6) по DIN 3052 (аналог гост 3062-80) маркировочной группы 1570 МПа. Предварительное натяжение тросов создается при помощи талрепов.

Ввиду необходимости учета динамических нагрузений (пульсация ветра) моделирование предварительного натяжения в ПК ЛИРА – САПР произведено при помощи задания температурных нагрузок на тросовые затяжки согласно закону линейного теплового расширения. Введен условный коэффициент линейного температурного расширения ( $\alpha=3,08386091 \times 10^{-4}$ ), позволяющий изменять усилие натяжения в стержне на 100 кг при его охлаждении на 1°C.

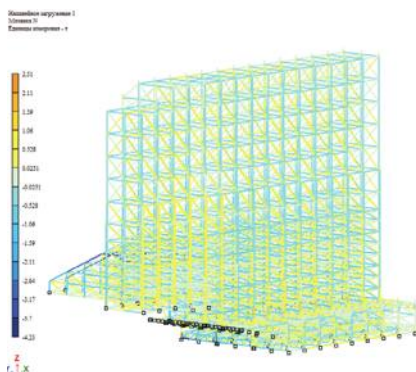


Рисунок 3 – Усилия N в схеме с тросовыми затяжками

Из полученных результатов:

- перемещения вдоль оси Y равны 119 мм;
- усилия в тросах затяжки равны 2600 кг, что составляет 83% от разрывного усилия;

- масса элементов для сборки системы составила  $3333.2+2544.75=27353.55$ кг (стандартные элементы Layher + масса троса затяжек без учета узловых элементов крепления).

-после замены стандартных диагональных элементов на тросовые затяжки уменьшились горизонтальные перемещения вдоль оси Yc 1322 мм до 204 мм что не превышает  $H/75=25500/75=340$ .

-самыми загруженными являются стойки нижнего яруса  $N_{max}=3.76$ т что не превышает предельное усилие  $N=4,6$ т.

-в ригелях усилия составляют  $N_{max}=1,78$ т что не превышает предельное усилие  $N=3.1$ т.

### **Выводы**

Замена жестких диагональных элементов на тросовые затяжки приводит к увеличению жесткости конструкции в 4 раза, уменьшению продольных усилий в элементах, уменьшению материалоемкости.

### **Список литературы**

1. Морозов С.В., Алифанов Л.А., Ереско С.П. Оценка технического состояния стержневых элементов металлоконструкций с несовершенствами формы// Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева: Межвузовский сборник научных трудов. – Красноярск, 2010. – с.158- 161.

2. Beale R.G. Scaffold research — a review. Journal of constructional steel research 2014. p.188–200

3. Chandransu T, Rasmussen KJR. Geometric imperfection measurements and joint stiffness of support scaffold systems. Proceedings of the sixth international conference on advances in steel structures, Hong Kong; 2009. p.1075–1082.

4. Хайдаров Л.И., Шмелев Г.Н., Зиятдинов Э.К. Построение расчетных схем мобильных пространственных стержневых конструкций, моделирующих их действительную работу // Известия КГАСУ № 2 (40). –2017 – с. 139-145

## **АНАЛИЗ ТОПЛИВА МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ.**

© Ю.В. Снигирева, В.Ф. Новиков.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

**Аннотация.** В работе рассмотрены газохроматографические методы анализа моторных топлив с использованием различных методик, капиллярных колонок высокой эффективности, селективных детекторов. Описываются перспективные методы определения индивидуального и группового состава моторного топлива, а также различных оксигенатов.



**Annotation.** The paper considers gas chromatographic methods of analysis of motor fuels using various methods with the high-efficiency capillary columns and selective detectors. Those advanced methods allows to determine different complex composition of motor fuel and various oxygenates as well.

**Ключевые слова:** контроль, качество, хроматография, методы, компоненты, состав, углеводороды, селективность, разделение, колонка.

Основным потребителем нефтепродуктов в нашей стране является транспорт, на долю которого приходится около 60% энергетических ресурсов [1]. Как известно современные транспортные средства являются энергоемкими и потребляют значительное количество топлива, от качества которого зависит надежность и долговечность работы эксплуатационного оборудования. Поэтому к современным транспортным средствам предъявляются жесткие требования по повышению надежности и долговечности их эксплуатации. При этом основным критерием их безотказной работы является снижение расхода топлива и повышение его качества. Моторное топливо относится к расходным материалам и оказывает основное влияние на эксплуатационные характеристики двигателей внутреннего сгорания. Поэтому знание индивидуального и группового состава моторного топлива, его эксплуатационных характеристик, токсикологических особенностей и влияние на экосистему и организм человека играет важную роль [2].

Для контроля качества моторного топлива широко применяется газожидкостная хроматография, которая позволяет в процессе однократного ввода пробы получить качественную и количественную информацию о его составе и физико-химических свойствах. При этом используются различные методические варианты газожидкостной хроматографии, в том числе анализ индивидуального компонентного состава моторного топлива с использованием высокоэффективных капиллярных колонок, многомерной хроматографии и различных детекторов [3-5].

В настоящее время газохроматографические методы анализа являются основными при контроле состава моторного топлива. Для фиксации анализируемых компонентов в моторном топливе наиболее широкое распространение получил пламенно-ионизационный детектор, а для идентификации различных хроматографических пиков хромато-масс-спектрометры различных типов. Это позволило кроме определения индивидуального состава моторного топлива определять также температуру кипения и его принадлежность к определенному типу. Большинство анализируемых индивидуальных компонентов бензина группируются в одном из пяти фрагментов углеводородов: парафиновые углеводороды (линейные), изопарафиновые углеводороды (разветвленные алканы), олефиновые углеводороды (алкены), нафтеновые углеводороды (циклоалканы) и ароматические углеводороды [6].

Несмотря на широкое распространение хроматографических методов контроля моторного топлива они постоянно совершенствуются в плане

повышения точности анализа и уменьшения времени разделения пиков индивидуальных компонентов. Это связано с тем, что моторные топлива относятся к сложным соединениям, содержащим сотни компонентов с близкими физико-химическими характеристиками. Поэтому селективность разделения хроматографических пиков относится к одной из сложных задач, решение которой возможно путем использования новых детектирующих устройств, более совершенных капиллярных или поликапиллярных хроматографических колонок, а также программного обеспечения [7].

Детальный анализ углеводородного состава моторного топлива позволяет проводить хроматографический анализ с выявлением до 600 индивидуальных соединений, многие из которых не идентифицированы. С этой целью используют сто метровую капиллярную колонку, заполненную полидиметилсилоксаном, соединенную с пламенно-ионизационным детектором. Эксперимент проводится с программированием температуры хроматографической колонки с криогенной начальной температурой 5°C. Время анализа составляет 174 минуты [8]. Более совершенные методы хроматографического анализа моторного топлива позволяют сокращать время анализа до 38 минут. В этом случае возникает проблема с идентификацией хроматографических пиков, так как многие из них плохо разделяются [9].

Перспективным методом определения индивидуального и группового состава в моторном топливе является многомерная газожидкостная хроматография, когда определяются отдельные парафиновые, олефиновые, нафтеновые, а также ароматические углеводороды. Кроме того имеется возможность определять концентрацию в моторном топливе оксигенатов, которые способствуют более полному сгоранию топлива, так как в своём составе содержат кислород. Многомерная газожидкостная хроматография позволяет проводить анализ за более короткое время, не превышая 40 минут. Это система имеет четыре хроматографические колонки, заполненные различными по селективным характеристикам стационарными фазами, что усложняет хроматографический анализ, так как могут возникнуть утечки газоносителя через неплотности в соединениях, что приводит к более длительному времени сервисного обслуживания газохроматографической аппаратуры [10].

Для измерения насыщенных, олефиновых и ароматических соединений в моторном топливе используется силикагель, который позволяет разделять эти группы углеводородов на фракции, которые фиксируются с использованием флуоресцентных индикаторов [11].

Для анализа нафталинов, которые способствуют образованию сажи в процессе сгорания моторного топлива, используется ультрафиолетовая спектроскопия и спектрофотометрия с поглощением разбавленного топлива в области 285 нм. Ароматические углеводороды, бифенилы и тиофены также обладают этой областью ультрафиолетового поглощения, что вносит существенные погрешности в результаты анализа. [12].

С целью определения олефиновых углеводородов в моторном топливе применяют метод малеинового ангидрида, который добавляли к пробе, её нагревали в результате чего образуется малеиновая кислота, измеряемая

колориметрическим титрованием [13], а также с использованием газовой хроматографии с масс селективным детектором, высокоэффективной жидкостной хроматографии, ядерного магнитного резонанса, вольтамперометрии и инфракрасной спектроскопии [14]. В последнее время начали использовать вакуумную ультрафиолетовую спектроскопию, которую используют в качестве детектора для газожидкостной хроматографии [15-16].

На капиллярной колонке, заполненной полидиметилсилоксаном определяли концентрацию кислородосодержащих соединений, таких как метанол, этанол, а также углеводороды, бензол, толуол, этилбензол, метилнафталины [17-18].

### Литература

1. Гумеров Ф.М., Усманов Р.А., Мазанов С.В. и др. Биодизельное топливо. Перезертификация в сверхкритических флюидных условиях. Монография. – Казань. Изд-во ООО «Инновационно издательский дом», «Бутлеровское наследие». 2017 - 360 с.
2. Бадыштова К.М., Берштадт Я.А., Богданов Т.И. и др. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочное издание: Под ред. В.М. Школьников - М.: Химия. 1989 - 432 с.
3. Hodgson A., Cochran J., Diekmann J., Schonert R. *Gaz Chromatography - Vacuum Ultraviolet Spectroscopy: A Versatile Tool for Analysis of Gasoline and Jet Fuels*// *Chromatography, May / June. 2019, P.18-23.*
4. Kanaujia, P., *Gas Chromatography: Petroleum and Petrochemical Applications*, in *Encyclopedia of Analytical Science (Third Edition. 2019, Elsevier Ltd. p. 217-231.*
5. Beens, J. and U. Brinkman, *The role of gas chromatography in compositional analyses in the petroleum industry. Trends in Analytical Chemistry, 2000. 19(4).*
6. Kosal, N., A. Bhairi, and M.A. Ali, *Determination of hydrocarbon types in naphthas, gasolines and kerosenes: a review and comparative study of different analytical procedures. 1990, Fuel. p. 1012-1019.*
7. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В. *Инструментальные методы анализа. В трех ч. Ч. III. Газохроматографический контроль производственных процессов в энергетике: монография под ред. проф. В.Ф. Новикова.- Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018.-328 с.*
8. International, A., *D6730-01 Standard Test Method for Determination of Individual Components in Spark Ignition Engine Fuels by 100-Metre Capillary (with Precolumn) High-Resolution Gas Chromatography. 2016.*
9. Dunkle, M.N., et al., *Quantification of the composition of liquid hydrocarbon streams: Comparing the GC-VUV to DHA and GCxGC. J Chromatogr A, 2019. 1587: p. 239-246.*
10. International, A., *D6839-18 Standard Test Method for Hydrocarbon Types, Oxygenated Compounds, and Benzene in Spark Ignition Engine Fuels by Gas Chromatography. 2018.*

11. International, A., D1319-14 Standard Test Method for Hydrocarbon Types in Liquid Petroleum Products by Fluorescent Indicator Adsorption. 2014.
12. International, A., D1840-07 Standard Test Method for Naphthalene Hydrocarbons in Aviation Turbine Fuels by Ultraviolet Spectrophotometry. 2017.
13. International, A., UOP326-17 Diene Value by Maleic Anhydride Addition Reaction. 2017.
14. Andrade, D.F., D.R. Fernandes, J.L. Miranda, Methods for the determination of conjugated dienes in petroleum products: A review. *Fuel*, 2010. 89: p. 1796-1805.
15. Bai, L., et al., Permanent gas analysis using gas chromatography with vacuum ultraviolet detection. *J Chromatogr A*, 2015. 1388: p. 244-50.
16. Schug, K.A., et al., Vacuum ultraviolet detector for gas chromatography. *Anal Chem*, 2014. 86(16): p. 8329-35.
17. International, A., D8071-17 Standard Test Method for Determination of Hydrocarbon Group Types and Select Hydrocarbon and Oxygenate Compounds in Automotive Spark-Ignition Engine Fuel using Gas Chromatography with Vacuum Ultraviolet Absorption Spectroscopy Detection (GC-VUV). 2017.
18. Walsh, P., M. Garbalena, and K.A. Schug, Rapid Analysis and Time Interval Deconvolution for Comprehensive Fuel Compound Group Classification and Speciation Using Gas Chromatography-Vacuum Ultraviolet Spectroscopy. *Anal Chem*, 2016. 88(22): p. 11130-11138.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ FLUENT ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОЛИВОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Старовойтова Е.В., Галеев А.Д.

ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет

420015, Российская Федерация, г. Казань, Карла Маркса, 68

**Аннотация:** Для обеспечения промышленной безопасности объектов получения, хранения и транспортировки СПГ необходима достоверная оценка последствий возможных аварийных утечек и проливов, сопровождающихся образованием взрывоопасных паровоздушных облаков. В статье представлена проверка разработанной математической модели рассеивания паровоздушного облака при истечении СПГ в атмосферу путем сравнения расчетных результатов с данными экспериментов серии Falcon. Численные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

**Annotation:** To ensure the industrial safety of facilities for receiving, storing and transporting LNG, a reliable assessment of the consequences of possible accidental leaks and spills accompanied by the formation of explosive vapor clouds is necessary. The article presents a test of the developed mathematical model for the dispersion of a vapor cloud during LNG discharge into the atmosphere by comparing the calculated results with the data from the Falcon series experiments. Numerical results are in good agreement with experimental data.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ, выброс опасных веществ, авария

**Keywords:** liquefied natural gas, emission of hazardous substances, accident

Топливо-энергетический комплекс играет важнейшую роль в мировой экономике, т. к. без его продукции невозможно функционирование всех без исключения отраслей. За последние несколько лет в мире вырос спрос на природный газ в качестве энергоносителя, что привело к большому количеству заявок на размещение, строительство и эксплуатацию новых терминалов приема сжиженного природного газа (СПГ), особенно в Европе и Северной Америке. Растущий спрос на сжиженный природный газ и возможность того, что некоторые из новых терминалов будут расположены вблизи населенных районов, вызвали вопрос о безопасности транспортировки и регазификации СПГ. В связи с этим, одним из важных факторов оценки риска является прогнозирование размеров зон поражения для проектирования новых предприятий с СПГ. Другим не менее важным фактором является реализация методов снижения риска для уменьшения возникающей опасности при аварийных проливах СПГ в атмосферу.

Наиболее распространенным случаем аварии является частичная разгерметизация оборудования со сжиженным газом. При истечении газа образуется смесь пара и жидкости в виде аэрозольных капель, которые формируют протяженные и взрывоопасные облака, способные причинить вред не только окружающей среде, но и человеческому организму. Эти причины обуславливают актуальность изучения данной темы.

Для обеспечения безопасности людей и минимизации последствий аварии необходимо использовать научно обоснованные подходы и заранее предсказывать возможный ход аварии. При оценке последствий аварий важное значение имеют надежные прогнозы распределения опасных веществ в атмосфере.

На сегодняшний день доступны несколько программных продуктов, способных моделировать рассеивание пара с учетом многочисленных физических явлений. Для расчета сложных систем, таких как разлив СПГ, наиболее приемлемо CFD-моделирование [1, 2, 3, 4, 5]. Целью данной работы является проверка разработанной математической модели рассеивания паровоздушного облака при истечении СПГ в атмосферу путем сравнения расчетных результатов с данными экспериментов серии Falcon. Особенностью экспериментов Falcon является наличие ограждения вокруг источника выброса.

В настоящее время существует достаточно большое количество экспериментальных исследований по истечению сжиженных газов. Однако эксперименты в условиях сложного рельефа местности и наличия препятствий представлены в недостаточном количестве.

Для изучения влияния ограждений на дисперсию облаков пара, возникающих в результате истечения СПГ, в рамках программы Национальной Ливерморской лаборатории имени Э.Лоуренса проведена серия полевых экспериментов под названием «Falcon». Целью испытаний было оценить

эффективность использования паровых ограждений в качестве уменьшения последствий при аварийных выбросах сжиженного природного газа в атмосферу. Схема экспериментальной установки «Falcon» приведена на рис. 1 [6]. Условия проведения эксперимента «Falcon-4» можно найти в работе [6].

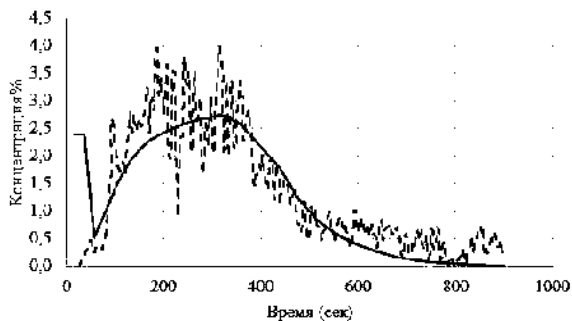


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки «Falcon»

Для расчета поля концентраций была разработана математическая модель рассеивания паровоздушного облака при истечении СПГ в атмосферу с привлечением пакета гидродинамического анализа ANSYS FLUENT 17.0. С помощью разработанной модели был выполнен расчет концентрации пара СПГ для эксперимента «Falcon-4». Струя сжиженного газа представлена потоком капель. Для описания движения аэрозольных капель используется эйлерово-лагранжев подход. При данном подходе принимается, что несущая фаза непрерывна и таким образом решаются уравнения Навье-Стокса, осредненные по времени. При этом вся дисперсная фаза разбивается на большое число групп капель, в пределах каждой из которых параметры всех физических капель считаются одинаковыми, и, следовательно, эволюция каждой группы может быть прослежена путем расчета движения лишь одной представительной капли [7].

В ходе полевого эксперимента концентрация облака СПГ фиксировалась датчиками, которые располагались на разных расстояниях от источника выброса и на разных высотах. Результаты численных расчетов по изменению концентрации метана в паровоздушном облаке и экспериментальные значения представлены на рисунке 2.

а)



б)

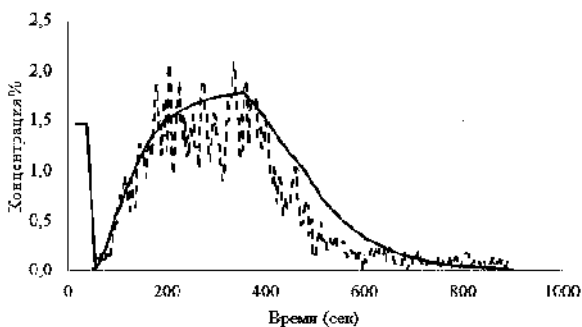


Рисунок 2 – Изменение концентрации паровоздушного облака, содержащего метан, для Falcon-4 на высоте 1 м: а) на расстоянии от источника 50 м; б) 150 м (штрихпунктирная линия – эксперимент; сплошная линия – результат математической модели)

Можно заметить, что графики имеют схожий характер изменения концентрации метана в облаке: в начальный момент истечения СПГ концентрация быстро увеличивалась со временем, после пикового значения концентрация стала уменьшаться относительно медленно.

Результаты по численной модели имеют немного заниженные значения максимальной концентрации метана по отношению к эксперименту.

Из представленных результатов видно, что численные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, то есть можно говорить о том, что модель адекватно описывает эксперимент.

### Литература

1. Старовойтова Е.В., Галеев А.Д., Поникаров С.И. Численный анализ процесса парообразования при кипении аварийного пролива сжиженного газа // Пожаровзрывобезопасность. 2011. №2. С.24-28.

2. Старовойтова Е.В., Галеев А.Д., Поникаров С.И. Моделирование и оценка последствий аварийного выброса аммиака // Вестник Казан. технол. ун-та. 2011. №13. С.175-179.
3. Старовойтова Е.В., Галеев А.Д., Поникаров С.И. Моделирование паробразования с поверхности аварийного пролива сжиженного газа // Вестник Казан. технол. ун-та. 2012. №4. С.110-112.
4. Старовойтова Е.В., Галеев А.Д., Поникаров С.И. Оценка последствий аварийного выброса сжиженного аммиака с использованием программы FLUENT // Безопасность труда в промышленности. 2011. №12. С.47-51.
5. Galeev A.D., Starovoitova E.V. Ponikarov S.I. Numerical simulation of the formation of a toxic cloud on outpouring ejection of liquefied chlorine to the atmosphere // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2013. Vol 86. No.1. P.219-228.
6. Falcon Series Data Report. 1987 LNG Vapor Barrier Verification Field / T.C. Brown, R.T. Cederwall, S.T. Chan et al. - Lawrence Livermore National Laboratory, 1990. P. 665.
7. ANSYS Fluent Theory Guide. July 2015.

## **ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРИМЕРЕ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ АО «ИРЗ»**

Сутягина Мария Игоревна, КФУ, магистрант, [manuna\\_s95@mail.ru](mailto:manuna_s95@mail.ru)  
Хафизов Ильдар Ильдурович, КФУ, Заместитель директора по  
образовательной деятельности, [Khafizov@kpfu.ru](mailto:Khafizov@kpfu.ru)

**Аннотация.** В настоящее время внедрение интегрированной системы менеджмента, созданной на основе требований международных стандартов, является одним из самых эффективных способов совершенствования системы управления предприятием.

Интегрированная система менеджмента качества представляет собой систему общего менеджмента предприятия, которая функционирует как единое целое и отвечает требованиям двух или более стандартов.

**Annotation.** Currently, the introduction of an integrated management system created on the basis of international standards is one of the most effective ways to improve the enterprise management system.

An integrated quality management system is an enterprise general management system that functions as a whole and meets the requirements of two or more standards.

**Ключевые слова.** Интегрированная система менеджмента качества; стандарт; требования потребителя.

**Введение.** Создание интегрированной системы менеджмента качества – сложная задача, однако ее выполнение позволит повысить эффективности деятельности общего менеджмента предприятия.



В основе интегрированной системы менеджмента лежит соответствие требованиям международных стандартов.

**Постановка цели и задачи.** Целью научной работы является изучение темы внедрения интегрированной системы менеджмента качества, на примере крупного промышленного предприятия, как одного из факторов повышения конкурентоспособности готовых товаров и услуг.

**Основная часть.** На предприятии разработана, внедрена и поддерживается в рабочем состоянии СМК, соответствующая ГОСТ Р ИСО 9001.

Цель Ижевского радиозавода - быть лучшей приборостроительной компанией России.

Качество продукции и услуг должно полностью удовлетворять требованиям потребителя и других заинтересованных сторон и быть лучшим среди российских предприятий.

Постоянное совершенствование процессов, обеспечение результативности системы менеджмента качества с применением принципов бережливого производства - вот задачи, которые необходимо решать ежедневно. И лидерами в этой работе должны быть руководители, ответственные за вверенные им области, процессы и проекты, которые вовлекают персонал путем создания мотивационной среды достижения результатов.

Разработка конкурентоспособной продукции, увеличение объема продаж, использование современных технологий в производстве, эффективное обучение и развитие сотрудников - основа успешного развития предприятия.

Только осознанное выполнение каждым работником требований системы менеджмента качества, соответствующей стандартам ISO 9001, ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ РВ 0015-002, ГОСТ Р ЕН 9100, ISO/TS 22163, ОСТ 134-1028, позволит достичь этого.

Все эти стандарты внедрены в системе, что позволяет выполнять их требования, избегая дублирования документации, должностных обязанностей и сокращая сроки внедрения самих стандартов на предприятии.

Каждый сотрудник должен понимать, как его работа на его рабочем месте, в его процессе влияет на удовлетворенность потребителя, и что непосредственно он должен делать для ее повышения. Каждый должен понимать меру своей ответственности за качество выпускаемой продукции.

Постоянное совершенствование процессов, обеспечение результативности системы менеджмента качества с применением принципов бережливого производства - вот задачи, которые необходимо решать ежедневно. И лидерами в этой работе должны быть руководители, ответственные за вверенные им области, процессы и проекты, которые вовлекают персонал путем создания мотивационной среды достижения результатов.

Политика в области персонала АО «ИРЗ» заключается в поддержании высокого уровня кадрового потенциала, достигаемого путем привлечения

молодежи, развития и удержания наиболее ценных работников, создания и поддержания благоприятной внутрикорпоративной среды.

Основная цель корпоративной системы подготовки и повышения квалификации персонала - достижение соответствия уровня компетентности персонала реальным задачам предприятия. В АО «ИРЗ» созданы условия для профессионального роста и для всестороннего развития личностного потенциала, предоставляются социальные льготы и гарантии.

АО «ИРЗ» придерживается политики в области профессионального здоровья и безопасности. Ижевский радиозавод стремится быть лучшей приборостроительной компанией в России.

Самое ценное, что есть у человека - это его жизнь и здоровье. Не подвергать работника риску их потерять, не нанести человеку вред - нет для нас задачи важнее.

Для этого необходимо действовать в соответствии с российскими и региональными законодательными и иными нормативными правовыми актами, содержащими требования охраны труда, включая требования к системе менеджмента профессионального здоровья и безопасности по OHSAS 18001:2007, ГОСТ 12.0.230.1-2015.

Ижевский радиозавод стремится быть лучшей приборостроительной компанией в России, минимизируя последствия техногенного воздействия на окружающую среду.

Осознавая свою ответственность перед обществом по сохранению благоприятной окружающей среды, предприятие берет на себя обязательства действовать в соответствии с российскими и региональными природоохранными законодательными актами, нормами, правилами и иными требованиями, включая требования к системе экологического менеджмента по ИСО 14001:2015.

**Результаты и выводы.** Интегрированная система менеджмента качества способна обеспечить согласованное взаимодействие всех процессов внутри предприятия, тем самым дает возможность оптимальным образом выполнять требования стандартов, экологии, охраны труда, качества.

При внедрении различных стандартов именно в система, а не параллельно или последовательно, позволяет избежать дублирование производственных процессов и документации, функциональных обязанностей, а также сократить трудозатраты и сроки внедрения стандартов.

### **Использованные источники**

1. Ручкина Э. Р., Хафизов И. И. Внедрение системы менеджмента качества на предприятии [Текст] // Проблемы и перспективы экономики и управления: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, декабрь 2017 г.). — СПб.: Свое издательство, 2017. — URL <https://moluch.ru/conf/econ/archive/263/13456>;

2. IT-Strategy and major aspects of quality management on the market of goods and services Khafizov I.L., Galimov A.N. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Сер. "International Scientific-Technical

Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2016, ISTC-IETEM 2016" 2017. С. 012038.

3. СТП 704-148-2008 Интегрированная система менеджмента. Анализ со стороны руководства. Проведение «Дней качества», совещаний «Постоянно действующей комиссии по качеству»;

4. СТП 704-351-2001 Система менеджмента качества. Ответственность и полномочия. Управление положением о подразделениях и должностных инструкциях

## **ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ КАДРОВОГО СОСТАВА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ**

Сутягина М.И., Конахина И.А., Хафизов И.И.  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18

**Аннотация.** Для обеспечения научно-технического прогресса метрология должна опережать в своём развитии другие области науки и техники, ибо для каждой из них точные измерения являются одним из основных путей их совершенствования.

**Annotation.** To ensure scientific and technological progress, metrology should be ahead of other areas of science and technology in its development, because for each of them accurate measurements are one of the main ways to improve them.

**Ключевые слова:** метрологическая служба (МС), единство измерений, средство измерения (СИ).

Повышение точности измерений является одним из средств совершенствования способов познания природы человеком, открытий и практического применения точных знаний, что в свою очередь приводит к улучшению качества выпускаемых предприятием продуктов, а также повышению его конкурентоспособности. Поэтому метрология, изучая вопрос точности измерений, имеет большое значение для прогресса естественных и технических наук.

Метрологическая служба предприятий, организаций и учреждений включает отдел главного метролога, другие структурные подразделения, например, поверочные и измерительные лаборатории, группу ремонта средств измерений, бюро проката. Она создается для выполнения задач по обеспечению единства измерений и требуемой точности измерений, метрологическому обеспечению исследований, разработки, испытаний и эксплуатации продукции или иных областей деятельности, закрепленных за предприятием.

Метрологическая служба осуществляет метрологический контроль и надзор в соответствии с Законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений», нормативно-правовыми актами такими как, постановлениями Правительства РФ и приказами Минпромторга,

нормативными документами государственной системы измерений, приказами и распоряжениями Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, Федеральной службы по аккредитации, документами СМК предприятия.

Требования к сотрудникам метрологической службы изложены в ГОСТ Р 56069-2014 «Требования к экспертам и специалистам. Поверитель средств измерения», ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2013 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий», ГОСТ Р ИСО/МЭК 17043-2013 «Оценка соответствия. Общие требования к проведению проверки квалификации».

Руководство предприятия должно принимать меры, обеспечивающие свободу сотрудников МС от любого внешнего и внутреннего коммерческого, финансового или другого давления, которое могло бы оказать влияние на их техническое суждение. Примерами таких мер являются:

- организационная структура МС, исключающая возможность оказания давления на сотрудников МС;
- система оплаты труда сотрудников МС, обеспечивающая независимость заработной платы поверителей от результатов проверки.

Сотрудники МС, выполняющие работы по проверке СИ должны, ознакомившись с руководством по качеству, не участвовать в каких-либо видах деятельности, которые бы ставили под сомнение беспристрастность проведения поверочных работ, их качество и независимость от чего-либо.

Сотрудники МС, непосредственно выполняющие работы по проверке СИ, должны иметь высшее или среднее профессиональное образование и (или) дополнительное образование по профилю, соответствующему области аккредитации, соответствующую квалификацию, технические знания, навыки и опыт работы в области проверки, необходимые для обеспечения качественной проверки СИ.

Признаются документы об образовании и (или) о квалификации работников заявителя по специальностям "Метрология", "Метрология, стандартизация, сертификация", "Метрология и метрологическое обеспечение", "Приборостроение, метрология, информационно-измерительные приборы и системы".

Также признаются документы об образовании и (или) о квалификации применительно к конкретным областям аккредитации в сфере обеспечения единства измерений, согласно перечню Росстандарта. К ним относятся документы об образовании по специальностям «Лазерная техника и лазерные технологии», «Оптико-электронные приборы и системы», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Электротехника, электромеханика, электротехнологии», «Теплоэнергетика и теплотехника», «Биомедицинская инженерия», «Химические технологии и биотехнологии», «Радиотехника», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», «Акустические приборы и системы», «Ядерная энергетика и теплофизика» и другие.

Поверка СИ может осуществляться только сотрудниками, имеющими опыт работы в области поверки по соответствующему виду измерений не менее одного года. Допуск сотрудников к проведению поверки оформляется приказом главного метролога.

Допускается проведение поверки СИ сотрудником, не отвечающим требованиям и имеющим опыт в качестве стажера по поверке СИ не менее полугода, под контролем сотрудника, отвечающего требованиям в соответствующей области поверки.

Расчет потребности в квалифицированных кадрах производится руководителем подразделения на основании намеченного роста объема производственной программы с учетом существующих нормативов численности и роста производительности труда, а также плановых источников поступления квалифицированных кадров и их выбытия.

По установлению дополнительной потребности в квалифицированных кадрах на планируемый год определяются источники покрытия этой потребности за счет поступления выпускников учебных заведений, приема в организацию кадров, уже имеющих достаточную квалификацию, и подготовки кадров непосредственно на производстве.

Ежегодно руководитель структурного подразделения должен проводить анализ соответствия требуемой и существующей компетентности персонала для выполнения стоящих перед подразделением задач.

Профессиональное обучение по программам переподготовки организуется для обучения рабочих, высвобожденных в подразделениях, с учетом потребности производства или личного желания.

Курс подготовки заканчивается аттестацией, которая состоит из выполнения (самостоятельно) пробной квалификационной работы качественно и в срок, а также проверкой теоретических знаний квалификационной комиссией с оформлением протокола.

Метрология изучает широкий круг вопросов, которые связаны как с теоретическими проблемами, так и с практическими. К их числу можно отнести общую теорию измерений, единицы физических величин и их системы, методы и средства измерений, методы определения точности измерений, основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений, эталоны и образцовые средства измерений, методы передачи размеров единиц от эталонов к рабочим средствам измерения. Большое значение имеет изучение метрологических характеристик средств измерений, влияющих на результаты и погрешности измерений.

Качество выполнения данных видов работ напрямую зависит от квалификации и компетенции сотрудников. Поэтому необходимо уделять больше внимание подготовке кадров, организовывать их обучение, разрабатывать и внедрять на предприятии систему повышения профессиональных компетенций кадрового состава метрологической службы.

### Использованные источники.

1. Бахтиева Л.И. КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ / Л.И. Бахтиева, И.И. Хафизов // СОВРЕМЕННАЯ ЭКОНОМИКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ : сборник статей VIII Междунар. науч.-практич. конф. В 2 ч. Ч. 2. - Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. - С. 72-75.
2. Хафизов И.И., Хасанов А.А. АСПЕКТЫ МОТИВАЦИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ КАЧЕСТВА / И.И.Хафизов, А.А.Хасанов //СОВРЕМЕННАЯ ЭКОНОМИКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ : Сборник статей IX Междунар. науч.-практич. конф. - Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2017. - С. 34-36.
3. Хафизов И.И. Инновационная система подготовки специалистов при формировании системы менеджмента качества организации/ «Автомобиль и техносфера»(ICATS 2011): материалы VI межд. науч.-практ. конф. - Казань, ЗАО «Мир без границ», 2011.-С.226-231.
4. Хафизов И.И. Система менеджмента качества образовательного учреждения, новые образовательные технологии и управление качеством подготовки кадров/И.И.Хафизов, А.Р.Закирова, З.Б.Хафизов//Современные технологии и материалы – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения: Материалы Международной научно-практической конференции. Т.4. Казань, 10-11 августа 2010 года. – Казань: Изд-во «Вертолет», 2010. – С.326-337
5. Бортник Б.И., Стожко Н.Ю., Судакова Н.П. От компетенций – к знаниям: дискуссионные аспекты структуры компетенций // Интернет-журнал «Мир науки» 2016, Том 4, номер 6, 2016. – С. 5;
6. Семченко, Е.Е. Модернизация компетентностного подхода - главный вектор диверсификации современной системы подготовки кадров [электронный ресурс] / Е.Е. Семченко // Интернет-журнал «Мир науки». - 2016 - Т.4. - №5. – Режим доступа: <http://mirnauki.com/PDF/15PDMN516.pdf> (дата обращения: 26.10.2019)

### ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПУЧКЕ ТРУБ

Хайбуллина А.И., доцент

Савельева А.Д., студент

Хайруллин А.Р., инженер

кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий»

420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51 ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

**Аннотация.** В работе численным методом исследуется теплообмен в шахматном пучке труб. В качестве рабочей жидкости используется вода. Число Рейнольдса  $Re = 1100$ . Представлены результаты по теплообмену по глубине пучка труб для  $k$ - $\varepsilon$  EWF, SST модели и ламинарного течения.

**Abstract.** A numerical method is used to study heat transfer in a staggered tube bundle. Water is used as a working fluid. Reynolds number  $Re = 1100$ . The results of heat transfer along the depth of the tube bundle for the  $k$ - $\epsilon$  EWF, SST model and laminar flow are presented.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, шахматный пучок труб, теплообмен.

**Key words:** mathematical modeling, staggered tube bundle, heat transfer.

**Введение.** Теплообменные аппараты основными элементами, которых являются пучки труб, широко распространены в топливно-энергетическом комплексе. Определение оптимальных теплообменных и гидродинамических характеристик кожухотрубных аппаратов является важной задачей. Гидродинамические и теплообменные характеристики трубчатых пучков хорошо изучены экспериментально. В работах [1] представлены обобщающие зависимости по теплообмену, в зависимости от режимных и геометрических параметров пучков труб. Последние десятилетия широкое распространение получила вычислительная гидродинамика [2]. Применение математического моделирования позволяет отказаться от проведения дорогостоящих экспериментальных исследований. Вычислительная гидродинамика позволяет получить данные по локальному теплообмену и скоростям при течении жидкости в пучках труб. При расчете течения жидкости применяются различные модели турбулентности, от выбора которых зависит время и точность расчета. Широкое распространение получили RANS (осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса) модели турбулентности [2-4]. Применимость RANS моделей подтверждается сравнением с экспериментальными данными и зависит от режима течения и геометрических параметров пучков труб. Работы в этой области в основном посвящены вопросам гидродинамики, при этом среди них крайне мало работ, в которых рассматривается теплообмен. В данной работе представлены расчеты теплообмена в пучке труб с использованием модели переноса касательных напряжений SST, стандартной  $k$ - $\epsilon$  модели с расширенным пристеночным моделированием  $k$ - $\epsilon$  EWF и без применения модели турбулентности. Выбор SST и  $k$ - $\epsilon$  EWF моделей турбулентности был обусловлен тем, что в работе [4] они показали удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными.

#### **Математическая модель**

Область расчета показана на рис. 1. Диаметр трубки  $D = 0,02$  м. Трубки в пучке располагались в шахматном порядке. Продольный и поперечный шаг был  $s_{1,2} = 1,3$ . На стенках трубок задавалась постоянная температура. На входе задавалась постоянная скорость с заданной температурой. Давление на выходе соответствовало атмосферному. Жидкость принималась с постоянными теплофизическими свойствами. Для дискретизации системы дифференциальных уравнений Навье-Стокса использовался метод конечных объемов [5].

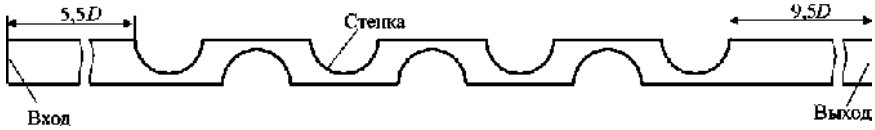


Рис. 1. Область расчета

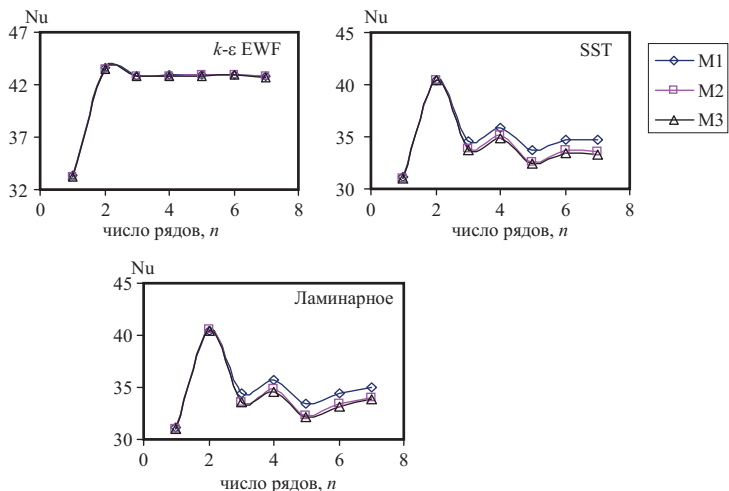
### Результаты расчетов

При проведении расчетов число Рейнольдса  $Re = 1100$ , число Прандтля  $Pr = 5,10$ . Для проверки сеточного решателя расчеты проводились на трех вариантах сеток. Характеристики сеток представлены в табл. 1. На рис. 2-3 представлены результаты расчета по теплообмену в пучке труб для SST,  $k$ - $\epsilon$  EWF и ламинарного случая в зависимости от глубины пучка. Для модели  $k$ - $\epsilon$  EWF измельчение сетки практически не повлияло на значения числа  $Nu$  (отклонение  $Nu$  между M2 и M3 не более 0,4). Для модели SST и ламинарного течения стабилизация полученных значений числа Нуссельта  $Nu$  достигнута на сетке M2 (отклонение  $Nu$  для M2 и M3 не более 0,5). На рис.3 показано распределение  $Nu$  по глубине пучка для SST,  $k$ - $\epsilon$  EWF и ламинарного случая полученные на сетки M3. Для  $k$ - $\epsilon$  EWF модели число  $Nu$  резко увеличивается на втором ряду, дальнейшее увеличение числа рядов  $Nu$  практически не оказывает влияния на  $Nu$ . Для SST модели и ламинарного течения также происходит резкое увеличение  $Nu$  на втором ряду, с дальнейшим увеличением рядов  $Nu$  снижается. Отличие с экспериментальными данными [1] для модели  $k$ - $\epsilon$  EWF составило 26,6% и 17,8% для SST и расчета без применения модели турбулентности (табл. 2).

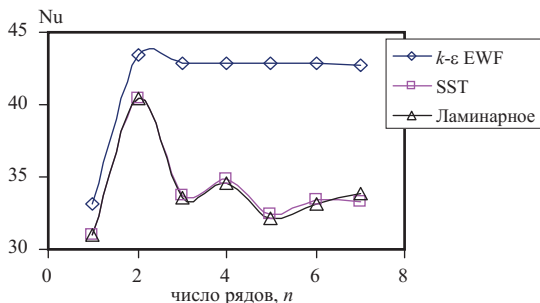
Таблица 1. Характеристики расчетной сетки

Варианты сетки	Количество объемов	$y_{min}/D$	$y_{max}/D$
M1	40321	$1,56 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$
M2	65607	$1,15 \times 10^{-3}$	$9 \times 10^{-3}$
M3	91368	$8,72 \times 10^{-4}$	$7,5 \times 10^{-3}$





**Рис. 2.** Распределение теплоотдачи трубки по рядам пучка на различных сетках для *k-ε* EWF, SST модели и ламинарного течения



**Рис. 3.** Распределение теплоотдачи трубки по рядам пучка для сетки M3

**Таблица 2.** Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными для второго ряда [1]

Модель	Варианты сетки	$Nu/Pr^{0,36}$
<i>k-ε</i> EWF	M3	24,18
SST	M3	22,49
Ламинарное течение (без применения модели турбулентности)	M3	22,51
[1]	-	19,1

### Заключение

Результаты расчета полученных значений  $Nu$  на SST модели и без применения модели турбулентности отличаются незначительно (отклонение  $Nu$  не более 1%). Отличие полученных значений  $Nu$  на  $k$ - $\epsilon$  EWF модели более существенно (отклонение  $Nu$  достигает 33%). При этом отклонения между моделями существенней после второго ряда. SST модель и расчет без применения модели турбулентности лучше согласуются с экспериментальными данными (отклонение  $Nu$  составляет 17,8%).

### Список литературы

1. Жукаускас А., Макарявичюс В., Шланчяускас А. Теплоотдача пучков труб в поперечном потоке жидкости. – Вильнюс: Изд. Моклас, 1968. – 192 с.
2. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений. – Санкт-Петербург: Изд. Политехнический университет, 2009. – 143 с.
3. Kulasekharan N., Prasad B. V. S. S. Performance of 2-D Turbulence RANS Models for Prediction of Flow Past a Staggered Tube Bank Array // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. 2009, vol 3, 386–407 pp.
4. Haibullina A.I., Chirukhin K.V., Sabitov L.S., Hayrullin A.R. RANS simulation for the prediction of heat transfer for staggered tube bundle in cross-flow // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Сер. "International Scientific-Technical Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2018, ISTC-IETEM 2018". 2019, Т. 570, № 1, 012030 С.
5. ANSYS FLUENT, ANSYS, Inc. Southpointe, 2011.

## ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ТЕЧЕНИИ В ТРУБЕ

Хайбуллина А.И., доцент

Яруллина А.А., студент

Хайруллин А.Р., инженер

кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий»

420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51 ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

**Аннотация.** В работе проведено численное исследование влияния несимметричных пульсаций потока на теплообмен в трубе для высоковязкой жидкости с числом Прандтля  $Pr = 293$ . Частота наложенный пульсаций потока  $f$  находилась в интервале от 0.5 Гц до 4 Гц, Число Рейнольдса  $Re$  базировалось на диаметре трубы и имело постоянное значение  $Re = 100$ , безразмерная относительная амплитуда пульсаций  $A/D$  соответствовала 3.

**Abstract.** A numerical study of the effect of asymmetric pulsating flow on heat transfer in a pipe for a highly viscous fluid with a Prandtl number  $Pr = 293$  was carried out. The frequency of pulsating flow  $f$  ranged from 0,5 Hz to 4 Hz, the

Reynolds number  $Re$  was based on the pipe diameter value  $Re = 100$ , and the dimensionless relative pulsation amplitude  $A/D = 3$ .

**Ключевые слова:** математическое моделирование, пульсационное течение, теплообмен

**Key words:** mathematical modeling, pulsation flow, heat transfer.

**Введение.** Существует много инженерных приложений, в которых тепло переносится в условиях пульсирующего или возвратно-поступательного движения потока. Такие потоки могут встречаться в энергетической, авиационной, пищевой и других видах промышленности [1]. Пульсации потока также могут создаваться искусственно для интенсификации теплообмена [2]. Многие исследователи изучают возможность интенсификации теплообмена численным и экспериментальным методом.

В статье [3] экспериментальным методом исследовался теплообмен в трубе при пульсирующем потоке. Авторами замечено, что интенсификация теплообмена в основном зависит от частоты пульсаций, при этом число Рейнольдса  $Re$  оказывает незначительное влияние. В статье [4] численным методом было исследовано влияние пульсаций на теплообмен в трубе. В статье было установлено, что теплоотдача возрастает с увеличением частоты и амплитуды пульсаций. При этом интенсификация теплообмена также зависит от чисел  $Re$ . В статье [5] также замечено, что интенсификация теплообмена зависит от частоты и амплитуды пульсаций. В статье [6] исследовался теплообмен в трубе с внезапным расширением в условиях пульсирующего потока. В работе показано, что значение чисел Прандтля  $Pr$  также оказывает влияние на интенсификацию теплообмена. В работах авторов [7,8] показано, что теплоотдача может, как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от частоты пульсаций. В работах авторов [9,10] показано, что локальная теплоотдача по длине трубы может, как увеличиться, так и уменьшиться в зависимости от чисел  $Re$  и частоты пульсаций. В статье [11] численным методом изучалось влияние пульсаций на теплообмен в трубе типа конфузоре-диффузор. Также как и в большинстве статей, авторы зафиксировали стабильное увеличение теплоотдачи с увеличением частоты и амплитуды пульсаций.

Исходя из сделанного обзора, теплообмен в трубе в условиях пульсирующего потока зависит от таких параметров как частота и амплитуда пульсаций, чисел  $Re$ , чисел  $Pr$ . При этом влияние перечисленных параметров в основном рассматривается при симметричном характере пульсаций. Аналогичных исследований при несимметричных пульсациях потока в трубе крайне мало. С другой стороны, в предыдущих работах авторов [12-14] была показана эффективность несимметричных пульсаций по сравнению с симметричными, при интенсификации теплообмена в пучках труб кожухотрубных теплообменников. В данной статье проводится численное исследование теплообмена в трубе при несимметричных пульсациях потока масла.

### Математическая модель

Расчетная область математической модели представлена на рис. 1. Диаметр трубы  $D = 0.025$  м. При пульсирующих течениях на входе в расчетную область задавались пульсации скорости с необходимой частотой  $f$ , относительной амплитудой  $A/D$  и скважностью пульсаций  $\psi$ . Температура жидкости на входе в расчетную область и температура стенки имели постоянное значение  $t_{\text{вход}} = 50^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{стенка}} = 49^\circ\text{C}$ . Давление на выходе из расчетной области также принималось постоянным  $P = 101325$  Па. Теплофизические свойства жидкости принимались постоянными  $\text{Pr} = 293$ , гравитация игнорировалась. На стенке принималось граничное условие без прилипания. Течение несжимаемой жидкости описывалось системой уравнений Навье-Стокса и неразрывности. Для дискретизации системы дифференциальных уравнений Навье-Стокса использовался метод конечных объемов [15]. Задача решалась в трехмерной постановке. Расчетная сетка состояла из 1179648 объемов со следующими характеристиками  $48 \times 384 \times 128$  по радиусу, окружности и длине соответственно (рис. 2). Численное моделирование выполнялось в программе ANSYS Fluent.

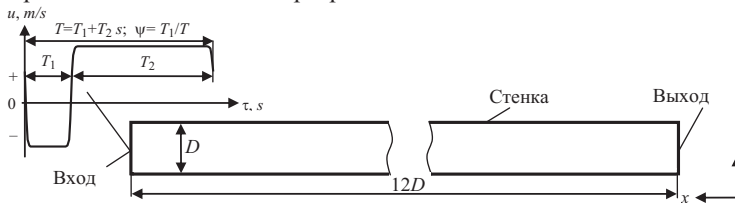


Рис. 1. Расчетная область

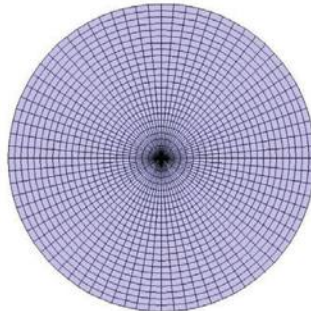
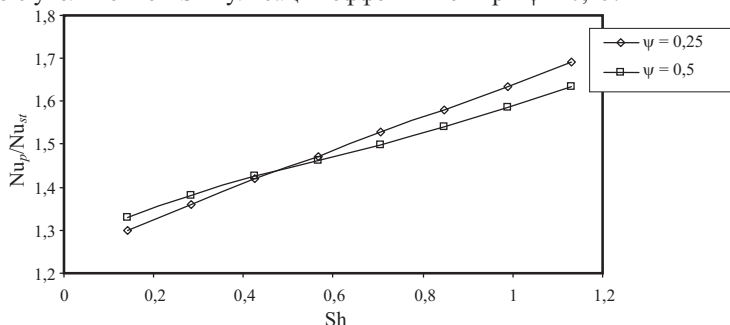


Рис 2. Расчетная сетка

### Результаты численного исследования

В результате численных исследований установлено, что при наложенных пульсациях потока в трубе происходит интенсификация теплоотдачи. Данная тенденция наблюдается во всем диапазоне исследованных режимных параметров. На рис. 3 показано влияние числа  $Sh$  на отношение числа Нуссельта в пульсационном течении к стационарному  $Nu_p/Nu_{st}$ , для фиксированной амплитуды пульсаций  $A/D = 3$ . С увеличением интенсивности

пульсаций происходит интенсификация теплообмена как при симметричных ( $\psi = 0,25$ ), так и при несимметричных ( $\psi = 0,5$ ) пульсациях. По рис. 3 видно, что при  $Sh < 0,5$  симметричные пульсации эффективней несимметричных, однако с увеличением  $Sh$  пульсации эффективней при  $\psi = 0,25$ .



**Рис. 3.** Интенсификация теплообмена в зависимости от числа Струхала  $Sh$   
**Заключение**

В результате численного исследования установлено, что пульсации потока приводят к интенсификации теплообмена в трубе. Интенсивность теплообмена в основном выше при несимметричных пульсациях по сравнению с симметричными.

#### Список литературы

1. Elshafei, E. A. M., Safwat Mohamed, M., Mansour, H., & Sakr, M. Experimental study of heat transfer in pulsating turbulent flow in a pipe. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2008. 29(4), 1029–1038 pp.
2. Zhao T.S., Cheng P. Heat Transfer in Oscillatory Flows. *Annual Review of Heat Transfer*. 1998. Vol. 9, № 9. P. 359–420 pp.
3. Habib, M. A., Attya, A. M., Eid, A. I., & Aly, A. Z. Convective heat transfer characteristics of laminar pulsating pipe air flow. *Heat and Mass Transfer*, 2002. 38(3), 221–232 pp.
4. Wang, X., & Zhang, N. Numerical analysis of heat transfer in pulsating turbulent flow in a pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2005. 48(19-20), 3957–3970 pp.
5. Guo, Z., & Sung, H. J. Analysis of the Nusselt number in pulsating pipe flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1997. 40(10), 2486–2489. doi:10.1016/s0017-9310(96)00317-1 pp/
6. Said, S. A. M., Habib, M. A., & Iqbal, M. O. Heat transfer to pulsating turbulent flow in an abrupt pipe expansion. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 2003. 13(3), 286–308 pp.
7. Yu C., Jingye Z. Applications of the Strong Heat Transformation by Pulse Flow in the Shell and Tube Heat Exchanger // Proceedings of the Sixth International Conference for Enhanced Building Operations, Shenzhen, China, November 6 – 9, 2006 // HVAC Technologies for Energy Efficiency, Vol. 4. 3–6 pp.

8. Elsayed A.M. Elshafei, M. Safwat Mohamed, H. Mansour, M. Sakr. Experimental study of heat transfer in pulsating turbulent flow in a pipe // International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008. Vol. 29. 1029–1038 pp.
9. Patro, P., Gupta, R., & Khuntia, A. K. Numerical Study for the Prediction of Heat Transfer in a Pulsating Turbulent Flow in a Pipe. Procedia Engineering, 2015. 127, 854–861 pp.
10. Siddhanath V. Nishandar, R.H. Yadav Experimental investigation of heat transfer characteristics of pulsating turbulent flow in a pipe. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume: 02 Issue: 04 | July-2015.
11. Mengmei Shu et al 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 153 032023
12. Ilyin V.K., Haibullina A.I., Hayrullin A.R., Sabitov L.S. Thermal and hydraulic efficiency of the corridor tube bundle in conditions of pulsating flow of fluid. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Cep. "International Scientific-Technical Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2016, ISTC-IETEM 2016" 2017. С. 012025.
13. Ilyin V.K., Haibullina A.I., Hayrullin A.R., Sabitov L.S. External heat transfer in corridor and staggered tube bundles of different configuration under the application of low-frequency pulsations. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Cep. "International Scientific-Technical Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2016, ISTC-IETEM 2016" 2017. С. 012027.
14. Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р., Синявин А.А., Ильин В.К. . Исследование теплоотдачи в коридорном пучке труб при наложении на поток противоточных несимметричных низкочастотных пульсаций. Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2013. № 1 (12). С. 312-315.
15. ANSYS FLUENT, ANSYS, Inc. Southpointe, 2011.

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ АДАПТАЦИИ ГИБРИДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЯ К ВНЕШНИМ СИЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Чесноков Андрей Владимирович  
Михайлов Виталий Витальевич  
Долматов Иван Викторович

Липецкий государственный технический университет,  
398600, г. Липецк, ул. Московская, 30

**Аннотация.** Рассмотрены способы адаптации гибридной конструкции покрытия, состоящей из жёстких балок верхнего пояса, тросовой сети и гибкой полимерной мембраны, к внешним неравномерным нагрузкам. Выявлены элементы конструкции, которые оказывают наиболее значительное влияние на уменьшение изгибающих моментов в балках верхнего пояса.

**Abstract.** Adaptation of the hybrid roof structure, acted upon by external non-uniform loads is considered. The structure consists of rigid top-chord girders, cable network and flexible polymer membrane. Structural members, which have the most

significant impact on the reduction of bending moments in the top-chord girders, are detected.

**Ключевые слова:** гибридная конструкция покрытия, адаптация, нагрузка

Исследуемая гибридная конструкция состоит из несущего каркаса, покрытого гибкой полимерной мембраной. Верхний пояс формируют прямолинейные балки радиального направления, подкреплённые распорками и тросовой сетью нижнего пояса [1] (рис. 1). Обладая высокой прочностью и, как следствие, способностью перекрывать большие пролёты, металлические тросы проявляют значительные деформации при воздействии внешних нагрузок. Жёсткие балки менее деформативны, но напряжения от изгиба, неравномерные по высоте сечения, препятствуют их применению в большепролётных зданиях.

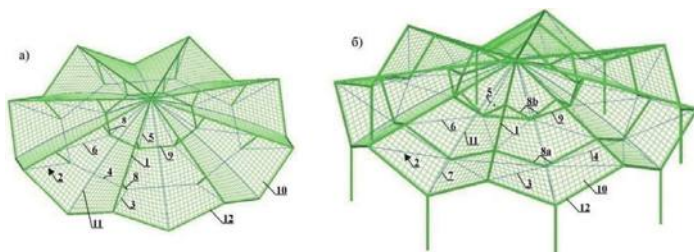


Рис. 1. Гибридная конструкция [1, 2]: а – конструкция из плоских рёбер; б – конструкция из пространственных рёбер, 1 – балка верхнего пояса; 2 – гибкая сеть, состоящая из несущих тросов 3, 4, 5 и оттяжек 6, 7; 8, 8а, 8б – шарнирные стержни (стойки); 9 – центральное кольцо из шарнирных стержней; 10 – гибкая полимерная мембрана; 11 – трос для натяжения полимерной мембраны; 12 – шарнирная торцевая балка

Объединение в единой системе разнородных элементов позволяет достичь т.н. «синергетического» эффекта, способствуя минимизации недостатков, присущих отдельным конструктивным элементам, максимизируя их преимущества [3, 4].

Неравномерные внешние нагрузки оказывают негативное влияние на работу исследуемой гибридной конструкции, состоящей из плоских рёбер (рис. 1,а), вызывая значительные изгибающие моменты в балках верхнего пояса, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости (рис. 2). Наибольшие моменты возникают в средних балках загруженной и незагруженной внешней нагрузкой зон (моменты  $M_{v,1}$  и  $M_{v,2}$ , соответственно), а также в балках, расположенных между ними (момент  $M_w$ ). По величине эти моменты в три раза превышают моменты от равномерного нагружения всего пролёта равной интенсивности [2].

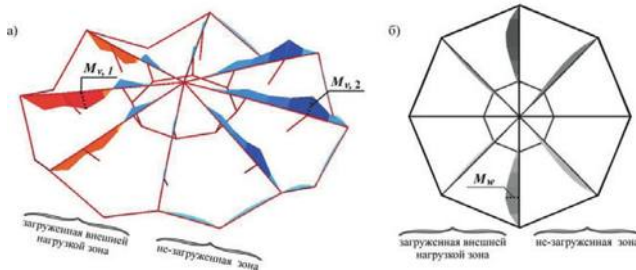


Рис. 2. Эпюры моментов от неравномерной нагрузки (снег на левой половине пролёта и ветер слева): а – моменты  $M_v$ , б – моменты  $M_w$

Решение, предложенное в [2], заключается в применении дополнительных оттяжек 7 и в переходе к пространственной структуре рёбер гибридной конструкции (рис. 1,б). Недостатком данного решения является усложнённая конструкция покрытия.

Для уменьшения расхода материала и повышения эффективности работы при различных внешних воздействиях получили распространение т.н. «адаптирующиеся» конструкции [5, 6]. Адаптация заключается в дополнительном натяжении или ослаблении отдельных элементов при помощи специальных приспособлений с целью регулирования усилий в конструкции в целом и недопущения её перенапряжения.

В настоящей работе рассмотрены два способа адаптации гибридной конструкции к неравномерным внешним нагрузкам (рис. 3, геометрические размеры конструкции приняты по [2]):

- регулировка натяжения тросов 11 (обозначены на рис. 1), предназначенных для стабилизации полимерной мембраны покрытия;
- перемещение узлов нижнего пояса в радиальном направлении с поворотом торцевых балок 12 (обозначены на рис. 1) относительно опорных шарниров.

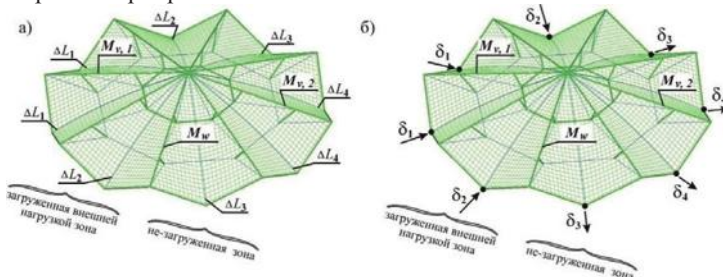


Рис. 3. Адаптация гибридной конструкции к неравномерным нагрузкам (снег на левой половине пролёта и ветер слева): а - регулировка натяжения тросов 11; б - перемещение узлов нижнего пояса в радиальном направлении



В нагруженной внешней нагрузкой зоне (левая часть конструкции) провисание тросов 11 для обеспечения адаптации конструкции принято  $\Delta L_1 = \Delta L_2 = -0.125$  м. В незагруженной зоне (правая часть конструкции) натяжение тросов принято  $\Delta L_3 = \Delta L_4 = 0.125$  м, где  $\Delta L$  является разностью между геометрической длиной троса  $L_g$  и длиной заготовки троса  $L_z$ :

$$\Delta L = L_g - L_z. \quad (1)$$

Статический анализ исследуемой гибридной конструкции выполнен в программном комплексе нелинейного расчёта систем, включающих гибкие тросы, полимерную мембрану и изгибно-жёсткие элементы. Результаты адаптации оценены коэффициентами  $K_{M,i}$  и  $\xi_{M,i}$  (таблица 1):

$$K_{M,i} = \frac{M_i}{M_0}. \quad (2)$$

$$\xi_{M,i} = \frac{K_{M,i}}{K_{M,4}} \quad (3)$$

где  $M_i$  - изгибающий момент, полученный с учётом регулировки  $\Delta L_i$  тросов 11;  $M_0$  - изгибающий момент, полученный без учёта регулировки.

Таблица 1  
Результаты адаптации гибридной конструкции при помощи регулировки натяжения тросов 11

Силовой фактор	Коэффициенты $K_M$				Коэффициенты $\xi_M$			
	$K_{M,1}$	$K_{M,2}$	$K_{M,3}$	$K_{M,4}$	$\xi_{M,1}$	$\xi_{M,2}$	$\xi_{M,3}$	$\xi_{M,4}$
$M_{v,1}$	0.94	0.99	0.94	<b>0.89</b>	1.06	1.11	1.06	1.0
$M_{v,2}$	0.98	0.98	0.96	<b>0.58</b>	1.69	1.69	1.66	1.0
$M_w$	0.96	<b>0.82</b>	<b>0.38</b>	<b>0.63</b>	1.52	1.30	<b>0.60</b>	1.0

Из таблицы 1 следует, что наилучший эффект на снижение моментов  $M_v$  в балках верхнего пояса оказывает натяжение тросов в незагруженной внешней нагрузкой зоне -  $\Delta L_4$ , а на снижение момента  $M_w$  - натяжение тросов  $\Delta L_3$ . Ослабление натяжения тросов в нагруженной зоне ( $\Delta L_1$  и  $\Delta L_2$ ) не оказывает существенного влияния на регулирование моментов в балках верхнего пояса.

Результаты адаптации исследуемой гибридной конструкции перемещением узлов нижнего пояса в радиальном направлении (рис. 3,б) аналогичны результатам, полученным путём регулировки натяжений тросов 11 (рис. 3,а). Вместе с тем, при повороте торцевых балок 12 (обозначены на рис. 1) относительно опорных шарниров, в углах полимерного мембранного покрытия образуются складки, негативно влияющие на эксплуатационную надёжность гибридной конструкции.

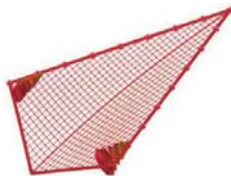


Рис. 4. Складки в углах полимерной мембраны  
(в зоне поворотных шарниров балок 12)

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрены способы адаптации к внешним неравномерным нагрузкам гибридной конструкции покрытия, состоящей из жёстких балок верхнего пояса, тросовой сети и гибкой полимерной мембраны.
2. Более эффективным и простым с точки зрения практической применимости является способ натяжения тросов 11, находящихся в незагруженной зоне покрытия.
3. Натяжение тросов с целью адаптации гибридной конструкции к внешним силовым воздействиям позволит упростить её конструктивное решение, применив плоские рёбра (рис. 1,а), вместо пространственных рёбер (рис. 1, б).
4. Результаты работы вносят вклад в совершенствование и развитие гибридных строительных конструкций.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ на полезную модель №160422. Гибридный купол. А.В. Чесноков, В.В. Михайлов. Заяв. 05.10.2015. Оpubл. 19.02.2016.
2. Chesnokov A.V. Development of the hybrid dome and research of its behavior under load / A.V. Chesnokov, V.V. Mikhaylov, I.V. Dolmatov // Structural membranes 2015. Proc. of the VII international conference on textile composites and inflatable structures. – Barcelona, Spain, 19-21 October, - 2015. - p. 469 – 476.
3. Михайлов В.В. Предварительно напряжённые комбинированные и вантовые конструкции / В.В. Михайлов - М.: АСВ, 2002. - 256 с.
4. Mikhailov V.V. Hybrid constructions of roofing in civil engineering / V.V. Mikhailov // Conceptual Design of Structures, International Symposium IASS, 1996. P. 884-890.
5. Pawlowski R. Adaptive Dachtragwerke/ R. Pawlowski. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs. Technischen Universität Munchen, 2006.-228 p.
6. Habraken A. Adaptable lightweight structures to minimize material use / A. Habraken, W. Sleddens, P. Teuffel // Structural membranes 2013. Proc. of the VI international conference on textile composites and inflatable structures. – Munich, Germany, 9-11 October, - 2013. - p. 71-82.

## РАЗРАБОТКА ВАНТОВОЙ ФЕРМЫ С БАЛКОЙ ЖЁСТКОСТИ

Чесноков Андрей Владимирович  
Михайлов Виталий Витальевич  
Долматов Иван Викторович

Липецкий государственный технический университет,  
398600, г. Липецк, ул. Московская, 30

**Аннотация.** Вантовые фермы, обладая малым собственным весом, позволяют перекрывать большие пролёты без установки промежуточных опор. Для компенсации горизонтального распора и снижения деформативности рассмотрено применение балки жёсткости с конструктивным зазором. Предложена методика статического анализа вантовой фермы, позволяющая обеспечить заданный прогиб от внешней нагрузки. Результаты работы могут использоваться на стадии вариантного проектирования и в подготовке исходных данных для специализированных компьютерных систем нелинейного структурного анализа.

**Abstract.** Cable truss systems are lightweight and allow to span large free areas without intermediate supports. To equilibrate horizontal thrust and to reduce deformability of the truss the stiffening girder and design clearance are considered. Computational technique for static analysis of the cable truss is proposed. It allows to ensure required deflection of the truss under external load. The present work may be used to perform preliminary design of the truss and to provide initial data for a software of nonlinear structural analysis.

**Ключевые слова:** вантовый, балка жёсткости, конструктивный зазор.

Вантовые фермы, состоящие из высокопрочных гибких поясов, объединённых распорками или растяжками, эффективны для перекрытия большепролётных зданий. Вместе с тем, несимметричные и неравномерные нагрузки приводят к значительным деформациям, для уменьшения которых в вантовых конструкциях создают предварительные напряжения [1], по величине сопоставимые с внешними воздействиями. Это повышает материалоемкость и стоимость конструкции, зачастую, приводя к её неконкурентоспособности, по сравнению с обычными покрытиями из бетона и стали.

Эффективным способом уменьшения деформативности вантовых конструкций является их комбинация с изгибно-жёсткими элементами [2], воспринимающими локальные и неравномерно распределённые нагрузки. Балки жёсткости, включённые в вантовую систему, воспринимают, горизонтальные реакции распора, разгружая несущие конструкции здания [3].

Вместе с тем, балка воспринимает основную часть внешней нагрузки вследствие своей большой жёсткости, по сравнению с высокопрочными стальными вантами. Это снижает эффективность применения современных конструктивных материалов в покрытиях зданий.

В работах [4, 5] предлагается соединение балки жёсткости и стоек двухпоясной вантовой фермы при помощи т.н. «конструктивного зазора» (рис.

1). Деформируясь в пределах конструктивного зазора, вантовая ферма не передаёт поперечные нагрузки на балку, которая воспринимает только горизонтальный распор. Высокопрочные стальные ванты, таким образом, воспринимают большую часть внешней симметричной нагрузки, а балка жёсткости ограничивает развитие деформаций при несимметричном нагружении.

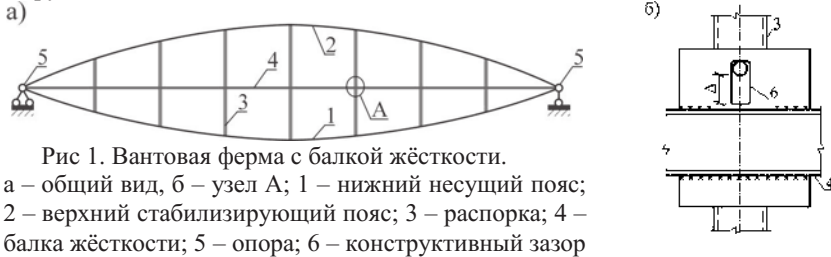


Рис 1. Вантовая ферма с балкой жёсткости.

а – общий вид, б – узел А; 1 – нижний несущий пояс; 2 – верхний стабилизирующий пояс; 3 – распорка; 4 – балка жёсткости; 5 – опора; 6 – конструктивный зазор

В настоящей работе принято, что предварительное напряжение вантовой фермы производится натяжением нижнего пояса. Схема действия внешней нагрузки – на рис. 2.

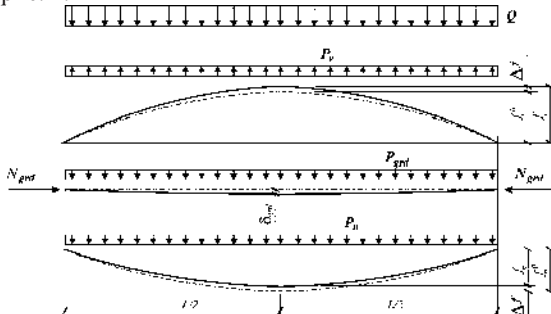


Рис 2. Геометрическая схема вантовой фермы и балки

Основные условия, учитываемые при анализе рассматриваемой фермы, следующие:

– обеспечение прочности и сохранение работоспособного состояния вантовых поясов:

$$\Theta_c \leq 1.0, \quad (1)$$

$$\Theta_c \geq \Theta_{lim}, \quad (2)$$

где  $\Theta_{lim}$  принято равным 0.01;

– обеспечение несущей способности балки жёсткости:

$$\Theta_{grd} \leq 1.0, \quad (3)$$

– ограничение деформативности фермы допустимым значением  $\omega_{lim}$ :

$$\delta_f \leq \omega_{lim}, \quad (4)$$

где  $\delta_f$  - разность деформаций фермы при её преднапряжении  $\Delta f_{pr}$  [8] и при действии внешней нагрузки  $\Delta f_{ld}$ :

$$\delta_f = \Delta f_{pr} - \Delta f_{ld}. \quad (5)$$

Положительное направление деформаций  $\Delta f$  принято вверх. Ординаты верхнего (индекс 'v') и нижнего (индекс 'n') поясов фермы в деформированном состоянии составляют:  $f_v = f_v^0 + \Delta f$  и  $f_n = f_n^0 - \Delta f$  (рис. 2). Верхний индекс '0' обозначает ординату пояса в исходном, недеформированном состоянии.

Параметры  $\Theta$  в условиях (1) – (3) определяются по [6]:

$$\Theta_c = \frac{N_c}{A_c \cdot R_{cab} \cdot \gamma_c}, \quad (6)$$

$$\Theta_{grd} = \frac{N_{grd}}{\varphi_e \cdot A_{grd} \cdot R_{grd} \cdot \gamma_c}, \quad (7)$$

где  $A_c$  и  $A_{grd}$  - площади поперечных сечений вантового пояса и балки жёсткости;  $R_{cab}$  и  $R_{grd}$  - расчётные сопротивления стальной ванты и балки;  $\gamma_c$  - коэффициент условий работы;  $\varphi_e$  - коэффициент продольного изгиба сжатой изогнутой балки;  $N_c$  и  $N_{grd}$  - продольные усилия в вантовом поясе и в балке.

Вследствие пологости вантовых поясов (отношение ординаты пояса  $f$  к пролёту  $L$  не превышает 1/8), имеет место приближённое равенство:

$$N_{grd} \approx N_{c,v} + N_{c,n}. \quad (8)$$

Усилия в вантовых поясах находятся из закона Гука:

$$N_c = E_{cab} \cdot A_c \cdot \varepsilon, \quad (9)$$

где  $E_{cab}$  - модуль упругости стальной ванты;  $\varepsilon$  - относительная деформация ванты, вычисленная по [7].

Поперечная нагрузка  $P_{grd}$  (рис. 2), приходящаяся на балку жёсткости, при воздействии на вантовую ферму равномерной нагрузки  $Q$ , составляет [8]:

$$P_{grd} = Q + P_{ld,v} - P_{ld,n}, \quad (10)$$

где  $P_{ld,v}$  и  $P_{ld,n}$  - нагрузки на пояса вантовой фермы, вычисляемые из:

$$P_{ld} = \frac{\lambda_{ld}}{\lambda_{pr}} \cdot P_{pr}, \quad (11)$$

где  $P_{pr}$  - нагрузка, действующая на пояс фермы при преднапряжении (при отсутствии балки жёсткости и внешней нагрузки),  $P_{pr} > 0$ ; коэффициенты  $\lambda$  вычисляются для стадии предварительного напряжения 'pr' вантовой фермы и для стадии действия внешней нагрузки 'ld' [8]:

$$\lambda = 8 \cdot \frac{f}{L^2} \cdot \varepsilon. \quad (12)$$

Приняв прогиб вантовой фермы от внешней нагрузки по условию (4)  $\delta_f = \omega_{\text{lim}}$ , запишем условие включения балки жёсткости в совместную работу с фермой [8]:

$$P_{pr} < \frac{Q}{\frac{\lambda_{d,n}}{\lambda_{pr,n}} - \frac{\lambda_{d,v}}{\lambda_{pr,v}}}. \quad (13)$$

Невыполнение условия (13) означает, что балка жёсткости не воспринимает поперечную нагрузку от вантовой фермы, а прогиб  $\delta_f$  вантовой фермы будет строго меньше предельного ( $\delta_f < \omega_{\text{lim}}$ ) и может быть вычислен из условия (10) при  $P_{grd} = 0$ .

Прогиб балки  $\delta_{grd}$  от совместного действия поперечной  $P_{grd}$  и продольной  $N_{grd}$  нагрузки [9]:

$$\delta_{grd} = \frac{\delta_Q}{1 - N_{grd} / N_{el}}, \quad (14)$$

где  $\delta_Q$  - прогиб от поперечной нагрузки;  $N_{el}$  - Эйлера критическая сила,  $N_{grd} < N_{el}$ :

$$N_{el} = \pi^2 \cdot E_{grd} \cdot I_{grd} / L^2, \quad (15)$$

где  $E_{grd}$  - модуль упругости материала балки жёсткости;  $I_{grd}$  - момент инерции поперечного сечения балки.

Конструктивный зазор  $\Delta$  (рис. 1) равен разности деформаций от внешней нагрузки фермы  $\delta_f$  и балки  $\delta_{grd}$ , при условии (13):

$$\Delta = \omega_{\text{lim}} - \delta_{grd}. \quad (16)$$

Значение  $\Delta$  должно быть положительно. При  $\Delta < 0$  необходимо либо увеличить преднапряжение вантовой фермы, повысив  $P_{pr}$  в пределах условия (13), либо принять балку с более высокими жесткостными характеристиками.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

Предложена методика статического анализа вантовой фермы с балкой жёсткости и конструктивным зазором, позволяющая обеспечить заданный прогиб фермы от внешней нагрузки. Методика включает определение предварительного напряжения вантовой фермы, расчёт величины конструктивного зазора и назначение основных жесткостных параметров балки жёсткости.

Предложенная методика может быть использована при вариантном проектировании и оптимизации вантовых конструкций со стабилизирующими изгибно-жесткими элементами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wagner R. Bauen mit seilen und membranen/ R.Wagner. Beuth Verlag GmbH, 2016, 517 p.

2. Кирсанов Н.М. Висячие и вантовые конструкции / Н.М. Кирсанов. -М.: Стройиздат, 1981.-158 с.

3. Патент 434163 СССР, Е04С 3/10. Безраспорная вантовая ферма/ В.Н. Шимановский, В.Ф. Мирошник, В.Н. Мацвейко, В.В. Осадчук, Ю.Н. Лузин (СССР), 17.03.1972.

4. Патент 2439256 РФ, Е04С 3/10. Двухпоясная предварительно напряжённая тросовая система / А.В. Чесноков, В.В. Михайлов (РФ). - Заяв. 21.04.2010. Оpubл. 10.01.2012.

5. Чесноков А.В. Двухпоясная предварительно напряжённая тросовая система с конструктивным зазором / А.В. Чесноков, В.В. Михайлов, Л.С. Сабитов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. - №2(14) – С. 137-141.

6. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*.

7. Chesnokov A.V. Analysis of cable structures by means of trigonometric series / A.V. Chesnokov, V.V. Mikhaylov // Proceedings of the VIII international conference on textile composites and inflatable structures. Munich, 9-11 October 2017, P. 455 – 466.

8. Chesnokov A.V. Pre-stressed cable truss with stiffening girder and design clearance: development and analysis / A.V. Chesnokov, V.V. Mikhailov, I.V. Dolmatov // Softening the habitats. Sustainable innovation in minimal mass structures and lightweight architectures. Proc. of the TensiNet Symposium 2019. – Milan, Italy, 3-5 June, 2019. P. 58-70.

9. Galambos T.V. Structural stability of steel: concepts and applications for structural engineers / T.V. Galambos, A.E. Surovek. - New Jersey: John Wiley and Sons. – 2008.

## СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ № 4

«Математическое и физическое моделирование информационных, технических, технологических и управленческих систем и процессов» ..... 3

**Ахмадуллина Г.Р., Шмелёв Г.Н., Антонов А.С., Гимазетдинов А.Р.**

Численное моделирование и оптимизация конструкции составного кронштейна ..... 4

**Балабанов И.П., Балабанова О.Н., Гильман В.Н.**

Разработка параметрической модели расчета сил резания при наружном цилиндрическом точении стали 20CrMnTi ..... 7

**Белоусов А.М., Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Болдырева С.В.**

Исследование параметров гидростатической трансмиссии с аксиальным делителем при маневрировании многоприводного транспортного средства ..... 11

**Валиев А.М., Панкратов Д.Л.** Интеллектуальная система сборки неразъемных изделий пластической деформацией ..... 16

**Гафуров Р.В., Фаляхов Д.Х., Халитов Р.А.** Физическое моделирование интенсификации процесса абсорбции нитрозных газов в вихревом контактном устройстве ..... 19

**Генералов Ф.С., Шмелёв Г.Н., Антонов А.С., Гимазетдинов А.Р.**

Решение контактных задач в узлах светопрозрачных конструкций ..... 24

**Евлампьев А.В., Агафонов А. Е.** Анализ элементов конструкций с использованием программного обеспечения Siemens NX ..... 28

**Жетесова Г.С., Юрченко В.В., Джолдибаев К.М.** Формирование планов механической обработки поверхности детали при технологической подготовке производства на основе информационного моделирования ..... 32

**Звездин В.В., Саубанов Р.Р., Рахимов Р.Р., Хисамутдинов Р.М., Болдырев А.В., Карелин Д.Л.** Моделирование нестационарного конвективного теплообмена в задачах управления процессом лазерной термообработки ..... 35

**Искандаров М.З., Хисамутдинов Р.М.** Моделирование рабочих мест в сборочных системах ..... 39

**Кадырметов А.М., Шарифуллин С.Н., Снятков Е.В., Плахотин А.А., Мандрыкин И.А., Романов В.В.** Моделирование тепловых потоков в комбинированном процессе плазменного напыления и упрочнения покрытия ..... 43

**Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Гуреев В.М., Болдырев С.В.** Математическая модель для расчета статических характеристик с учетом нерасчетных областей режимов работы пароконденсационных систем охлаждения ..... 48

**Каюмов Р.А., Шмелёв Г.Н., Гимазетдинов А.Р., Хайдаров Л.И.**

Численное моделирование работы настила с учетом несовершенств крепления в физически и геометрически нелинейной постановке ..... 51

**Кесель Б.А., Кесель Л.Г., Смирнова А.С., Ведерникова К.О.**

Математическая модель определения режимов электрогидравлической очистки деталей газотурбинных двигателей при ремонте ..... 54



<b>Клочкова Н.С., Аносов М.С.</b> Нейронные сети и их обучение.....	58
<b>Ключников О.Р.</b> Об отсутствии эффекта энергосбережения от нанесения дополнительного тонкопленочного покрытия на теплоизоляцию со стеклопластиком РСТ-250 .....	62
<b>Кондрашов А.Г., Сафаров Д.Т., Хафизов И.И.</b> Контроль диаметрального размера граничных точек переходной кривой по данным оптического сканирования цилиндрических косозубых колес.....	65
<b>Кондрашов А.Г., Сафаров Д.Т., Хафизов И.И.</b> Метод измерения длины общей нормали цилиндрических косозубых колес с использованием 3D щупа пятикоординатного станка с ЧПУ .....	69
<b>Кузьмина И.А.</b> Использование математических моделей для повышения эффективности функционирования предприятий.....	74
<b>Мадышев И.Н., Хафизова А.И.</b> Оценка эффективности охлаждения оборотной воды в наклонно-гофрированных контактных элементах.....	77
<b>Минуллин Р.Г., Минкин А.С., Касимов В.А., Филимонова Т.К., Волченко К.М., Кононцев П.В.</b> Стенд для проведения испытаний локационного комплекса мониторинга воздушных линий электропередачи .....	80
<b>Москалев Л.Н., Нгуен В.А., Поникаров С.И.</b> Влияние нестационарных режимов нагружения сосудов на прочность в местах соединения штуцера с тонкостенной оболочкой.....	83
<b>Мукимов А.Х., Сидорова А.А., Павлов П.П.</b> Методика выявления неисправностей тормозной системы ЭПС.....	86
<b>Павлов П.П., Фандеев В.П., Бутаков В.М., Хуснутдинов А.Н., Никитин В.Н.</b> Методика оптимизации состава диагностических параметров объектов энергетических систем .....	88
<b>Павлов П.П., Фандеев В.П., Хизбуллин Р.Н., Хуснутдинов А.Н.</b> Методика исчерпывающего тестирования цифровых приборов и устройств для автоматизированных систем широкого назначения.....	92
<b>Петров С.М., Давлетшина Г.К., Заиров Б.Ф.</b> Моделирование формообразования винтовой поверхности дисковым инструментом .....	96
<b>Плешка А.В.</b> Построение статических характеристик парокompрессионной системы охлаждения на многокомпонентном фреоне в нерасчетных режимах работы парокompрессионных систем охлаждения .....	100
<b>Поташев А.В., Поташева Е.В., Хисамеев И.Г.</b> Аэродинамический расчет и проектирование лопаточных элементов турбомашин .....	103
<b>Ростунцова И.А., Новичков С.В.</b> Перспективные направления энергосберегающих технологий в распределенной энергетике.....	108
<b>Ростунцова И.А., Кицелло Д.В.</b> Исследование адаптации АЭС к покрытию переменного графика нагрузок .....	112
<b>Рыбаков А.В., Геккель И.Я., Иванов А.И., Яценко Ю.А.</b> О моделировании последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с отключением теплоснабжения жилых зданий .....	116
<b>Рыбаков В.А., Лалин В.В., Иванов С.С.</b> Смешанный МКЭ в статике и динамике тонкостенных стержней.....	122

<b>Сидорова А.А., Мукимов А.Х., Павлов П.П.</b> Методика выявления проблемных элементов АКБ.....	126
<b>Симонова Л.А., Капигинова Г.М.</b> Фреймовая модель представления знаний в экспертной системе выбора технологического маршрута.....	128
<b>Тазюков Ф.Х., Карибуллина Ф.Р.</b> Миграция тонких слоев по неизотермическим поверхностям в условиях вакуума.....	132
<b>Тукмаков Д.А.</b> Численный расчёт отражения ударной волны в неоднородной среде.....	134
<b>Урманов М.Д.</b> Оценка эффективности применения инструментального калькулятора при фрезеровании на станке ЧПУ.....	138
<b>Успанкулов Б.М., Рахмонов К.Р., Абдумуминова Д.Т., Гозиев Г.И.</b> Информационное моделирование при регистрации зданий и сооружений с помощью инновационных технологий.....	141
<b>Фаляхов Д.Х., Гафуров Р.В., Халитов Р.А.</b> Физическое моделирование интенсификации процесса денитрации отработанных кислот в вихревом контактном устройстве.....	145
<b>Федяев В.Л., Осипов П.П., Беляев А.В.</b> Математическое моделирование процессов, протекающих при нанесении защитных покрытий методом окунания ...	149
<b>Федяев В.Л., Халиулин В.И., Фасхутдинов М.Х.</b> Математическое моделирование процессов формирования полимерных покрытий на поверхности ткани.....	153
<b>Филина О.А., Яшагина А.В., Осетинский Г.В.</b> Современные возможности вибродиагностики ЭДПТ.....	157
<b>Хайруллин И.Ф., Шмелёв Г.Н. Гимазетдинов А.Р., Антонов А.С.</b> Экспериментальное определение динамических характеристик, анализ и моделирование ускорения колебаний пешеходных мостов.....	160
<b>Хизбуллин Р.Н., Хизбуллин Р.Н., Павлов П.П., Хуснутдинов А.Н.</b> Медико-биологические проблемы при контроле терапевтических параметров воздействия в спортивной медицине и пути их решения в новых медицинских приборах и системах.....	163
<b>Хузяттов Ш.Ш., Валиев Р.А.</b> Паттерны программного обеспечения АСУ ТП в машиностроении.....	167
<b>Хусаинов Р.М., Урманов М.Д., Давлетшина Г.К., Зиангирова Э.Р.</b> Выбор режимов резания для фрезерной операции по результатам виброакустических исследований.....	171
<b>Шихалёв А.М., Ахметова И.А., Воронцов Д.П.</b> Оценка минимального модуля коэффициента линейной корреляции.....	174
<b>Шихалёв А.М., Ахметова И.А., Воронцов Д.П., Рожко О.Н.</b> К вопросу совершенствования статистических оценок в условиях современной российской экономики.....	179
<b>Шмелёв Г.Н., Антонов А.С., Фахрутдинов Р.Э., Гимазетдинов А.Р.</b> Численное моделирование и экспериментальные исследования систем со светопрозрачными элементами.....	183
<b>Юрченко В.В., Нуржанова О.А., Ахметова М.С.</b> Применение модуля Flow Simulation Solidworks для проектирования и моделирования деталей в машиностроении.....	187

## СЕКЦИЯ № 5

## «Инновационные сварочные технологии в промышленности»..... 192

<b>Абдумуминова Д.Т., Юлдашев Ш.У., Кравченко И.Н., Корнеев В.М.</b> Технологические особенности газотермических методов нанесения покрытий .....	193
<b>Агафонов А.Е., Евлампьев А.В.</b> Анализ деформации при нагрузке элементов конструкций с использованием программного обеспечения Siemens NX.....	197
<b>Айтмухамбетов И.Е., Абишева Н.Б., Сембаева А.С.</b> Восстановление деталей машин методами пластической деформации.....	201
<b>Ахмадиев Г.М.</b> Электрохимический метод обработки металлов и сплавов.....	204
<b>Ахметзянова Л.Х., Самойлова А.С., Куртаева Ф.Н.</b> Влияние режимов термической обработки на степень упрочнения поверхностной пластической деформацией стали .....	208
<b>Байгалиев Б.Е., Черноглазова А.В., Байгалиева Н.И.</b> Моделирование процессов теплопроводности в пористых материалах .....	211
<b>Бақтыбай И.С., Бузауова Т.М., Матешов А.К.</b> Анализ существующего устройства и способа сварки трением на базе токарного станка.....	215
<b>Вулпе М.Н.</b> Влияние предварительной термической обработки на качество таврового соединения, полученного лазерной сваркой .....	218
<b>Габидуллин Р.Р.</b> Метод и технология лазерной сварки металлов.....	223
<b>Гильман В.Н., Фасхутдинов А.И., Балабанов И.П.</b> Опыт применения азотирования в тлеющем разряде для повышения эффективности обработки шестерни методом зуботочения .....	226
<b>Ильинкова Т.А., Мацаев А.А.</b> Восстановительный ремонт и усталостные испытания рабочих лопаток турбины высокого давления газоперекачивающих агрегатов методом прямого лазерного синтеза .....	230
<b>Исламгулова Э.А., Курынцев С.В.</b> Комплексные исследования коррозионной стойкости и свариваемости аустенитно-ферритной (дуплексной) стали SAF 2507 .....	232
<b>Кабалдин Ю.Г., Хлыбов А.А., Аносов М.С., Шатагин Д.А.</b> Оценка повреждаемости металлов с использованием сигнала акустической эмиссии в условиях пониженных температур .....	236
<b>Кесель Б.А., Кесель Л.Г., Терентьев Н.Д.</b> Особенности применения электрогидравлических технологий в процессах ремонта деталей газотурбинных двигателей.....	240
<b>Колесников Д.Н., Данилов Е.В., Муратаев Ф.И.</b> Методы определения сварочных напряжений непосредственным и косвенным образом в учебном процессе.....	243
<b>Кочин А.Н., Аносов М.С.</b> Расчет сил в рычажных механизмах станочных приспособлений .....	247
<b>Кулаков А.Т., Барыльникова Е.П., Снарский С.В., Гафиятуллин А.А., Назаров Ф.Л., Малаховецкий А.Ф.</b> Повышение работоспособности гильз цилиндров созданием тонкослойных покрытий в сопряжении .....	251

<b>Маркелова О.А., Пичхидзе С.Я.</b> Влияние технологических режимов плазменного напыления на свойства покрытий на основе порошка цинкзамещенного фторapatита .....	256
<b>Мордасов Д.М., Мордасов М.Д.</b> Металлографические исследования сварного соединения конструкционной легированной стали .....	258
<b>Муллаярова Р.Р., Болдырев А.В., Карелин Д.Л.</b> Пути повышения энергоэффективности вихревых насосов .....	262
<b>Мухаммадеев И.М., Максимов В.К., Барсукова Е.А.</b> Исследование состава и измерение твердости зоны сплавления сварного соединения разнородных металлов выполненного термитной сваркой .....	266
<b>Мухаммадеев И.М., Загидуллин А.Д., Максимов В.К., Муратаев Ф.И.</b> Диагностика массивного диффузионного аппарата RT-5 и разработка технологического процесса ремонта сваркой проблемного люка .....	270
<b>Никонова Т.Ю., Кузьминова Н.Ю.</b> Влияние наложения вибраций на качество упрочнения внутренней поверхности гидроцилиндров .....	274
<b>Пермяков Д.Н., Пуртова Е.В., Лунёв А.Н.</b> Восстановление распределительных валов дизельных двигателей биметаллизацией рабочей поверхности трения.....	278
<b>Прияткин Д.В., Соколов Г.Н., Артемьев А.А., Лойко П.В.</b> Электродуговая наплавка с ультразвуковым воздействием на сварочную ванну.....	282
<b>Синько А.Н., Никонова Т.Ю., Марченко И.А.</b> Вибрационное точение с помощью введения в зону резания одиночных акустических импульсов .....	285
<b>Сироткина Л.В.</b> Современные антикоррозионные покрытия в авиационной технике .....	290
<b>Солопова Е.А., Яппаров Е.М., Ахтямов М.Р., Галявиев Р.В.</b> Исследование структуры и свойств сварных соединений технологических трубопроводов по вариантам технологии. ....	292
<b>Трескова В.И., Шипина О.Т., Косточко А.В.</b> Изучение композиционного материала, полученного методом структурной модификации целлюлозы азотом .....	296
<b>Фазуллин Д.Д., Фазылова Р.Д.</b> Мембраны ультрафильтрации для очистки эмульгированных сточных вод машиностроительного производства .....	300
<b>Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В.</b> Композиционные мембраны нанофильтрации для водоподготовки на машиностроительном производстве.....	304
<b>Хафизов А.А., Ахметшин Р.С., Валиев Р.И.</b> Повышение маневренности электротранспортных средств, исключая расцепления токосъемника от контактной сети.....	308
<b>Хафизов А.А., Валиев Р.И., Шакиров Ю.И., Валиев Р.А.</b> Структура и свойства серого чугуна после обработки плазмой с жидким электродом .....	312
<b>Хлыбов А.А., Рябов Д.А., Аносов М.С., Шатагин Д.А., Иляхинский А.В., Родюшкин В.М.</b> Исследование особенностей деформации сплава АМг61 при пониженных температурах .....	316
<b>Черноглазов П.А., Ткаченко А.Ю.</b> Неразрушающий контроль изделий из ПКМ методом ультразвуковой томографии.....	320

<b>Шибиков В.Г., Панкратов Д.Л., Хайруллин Р.А., Низамов Р.С., Низамова Л.М.</b> Целесообразность и возможность автоматизации прецизионной калибровки зубчатого венца шестерен .....	323
<b>Шибиков В.Г., Панкратов Д.Л., Низамов Р.С., Низамова Л.М.</b> Разработка рациональной компоновочной схемы штампового блока .....	327
<b>Шмидт Е.В., Матухин В.Л.</b> Высокоэффективные термоэлектрические материалы .....	331
<b>Юсеф В.М., Халиулин Р.Р., Давыдов Н.В., Мухаметгалиев Т.Х., Сыченков В.А., Панченко В.И.</b> Центробежные форсунки в системах пожаротушения.....	335

## СЕКЦИЯ № 6

<b>«Надежность, эффективность и безопасность объектов топливно-энергетического комплекса» .....</b>	<b>340</b>
---	------------

<b>Аверьянова А.А., Водениктов А.Д., Минибаев А.И.</b> Методика оценки технического состояния регенеративных воздухоподогревателей.....	341
<b>Ахмеров А.В., Синявин А.А., Иовлев Д.П., Хайруллин А.Р., Осипов А.Л., Долгова А.Н., Снигирева Ю.В.</b> Исследование пульсационной фильтрации отработанного вторичного активного ила для последующего использования в качестве топливного вторичного энергетического ресурса .....	343
<b>Ахметшин Р.С., Валиев Р.И., Хафизов А.А.</b> Повышение надежности и эффективности маслonaполненных оборудований методом раннего прогнозирования отказов .....	347
<b>Бальзамов Д.С., Бальзамова Е.Ю., Бронская В.В.</b> Использование тепла конденсата от оборудования ректификационного цикла для предварительного нагрева реакционной смеси.....	351
<b>Бальзамов Д.С., Бальзамова Е.Ю.</b> Утилизация теплоты дымовых газов технологических печей производственного участка окиси этилена .....	355
<b>Валеев И.Р., Шмелёв Г.Н., Хайдаров Л.И., Гимазетдинов А.Р.</b> Исследование работы тентового ограждения на сдвиг в легких металлических сооружениях в рамках обеспечения безопасности и надежности .....	359
<b>Водениктов А.Д., Минибаев А.И., Гаевая А.А.</b> Наладка и эксплуатация деаэрирующих конденсатосборников.....	363
<b>Воронцов Д.П., Шихалёв А.М., Ялалина В.А., Закирова А.Р., Садыков З.Б., Хананова А.Ф.</b> Перспективная стандартизация в сфере утилизации продукции отходов производства.....	365
<b>Ву Н.З., Нгуен З.Х., Дмитриева А.В., Танеева А.В., Новиков В.Ф.</b> Проблемы диагностики маслonaполненного электрооборудования хроматографическими методами .....	369
<b>Гайнуллина Л.Р.</b> Исследование состава природных сераорганических соединений масляной фракции арланской нефти и их влияния на показатели стабильности против окисления .....	373
<b>Гайнуллина Л.Р.</b> Разработка установки для определения количества воздуха в трансформаторном масле.....	378

<b>Галимуллин И.А., Шмелёв Г.Н., Ипполитов А.И., Азвалов Р.Р.</b> Расчет конструкций на ветровое воздействие в рамках безопасности сооружений.....	382
<b>Галяветдинова С.Р., Хафизов И.И.</b> Система экологического менеджмента на предприятии .....	385
<b>Гиниятова Л.М., Хабибуллина И.Ф., Хайруллин А.Р.,</b> <b>Гусячкин А.М.</b> Теплопроводность волокнистых теплоизоляционных материалов при их увлажнении.....	389
<b>Долгова А.Н., Ахмеров А.В., Осипов А.Л., Снигирева Ю.В.</b> Повышение эффективности транспортировки высоковязких жидкостей на объектах ТЭК .....	393
<b>Долгова А.Н., Ахмеров А.В., Юнак С.А., Руденко А.С.</b> Сравнительная эффективность теплоизоляционных материалов трубопроводов.....	397
<b>Закиева Н.М., Гатиятов И.З., Сабитов Л.С., Тимершин Б.Ф.</b> Применение абсорбционно – холодильной машины перед комплексным воздухоочистительным устройством (КВОУ) ГТУ .....	402
<b>Закирова А.Р., Садыков З.Б., Раджабов Т.Р.</b> Методологические подходы к планированию развития электроэнергетики .....	406
<b>Ипполитов А.И., Шмелёв Г.Н., Галимуллин И.А., Хайдаров Л.И.</b> Исследование влияния проницаемости сетчато-баннерного ограждения на ветровую нагрузку в рамках безопасности зданий.....	410
<b>Колобанов А.С., Тарасова Н.В.</b> К вопросу о коррозионной стойкости строительных конструкций, работающих в условиях агрессивных производственных сред .....	413
<b>Кузнецова М.А., Зарипова С.Н.</b> Моделирование аварийности в энергетических системах РФ .....	417
<b>Кузнецова М.А., Зарипова С.Н.</b> О состоянии производственного травматизма на предприятиях электроэнергетики Российской Федерации .....	422
<b>Купцов А.И., Гимранов Ф.М.</b> Использование ячеечно-нейросетевых моделей в прогнозировании аварий на опасных производственных объектах топливно-энергетического комплекса.....	425
<b>Лаптева Е.А., Тактамышева Р.Р., Тюклина К.В.</b> Эффективность проекта модернизации Казанской ТЭЦ-1 .....	429
<b>Лаптева Е.А., Тактамышева Р.Р., Тюклина К.В.</b> Технично-экономическое обоснование эффективности модернизации Казанской ТЭЦ-1 .....	432
<b>Местников Н.П., Нуруллин Э.Г.</b> Исследование и моделирование процесса генерации ветровой и солнечной электростанции мощностью 650 Вт .....	436
<b>Михайлов В.В., Чесноков А.В., Долматов И.В.</b> Совершенствование методики статического анализа упругодеформируемых конструкций навесов, предназначенных для временного укрытия зон производства ремонтных и монтажных работ .....	440
<b>Мусина Ф.А., Харитоновна О.С., Бронская В.В., Игнашина Т.В.,</b> <b>Володченко Т.В., Бальзамов Д.С.</b> Увеличение эффективности тепло - и массообмена на поверхности вращающегося диска .....	444

<b>Нгуен З.Х., Ву Н.З., Дмитриева А.В., Танеева А.В., Новиков В.Ф.</b> Оценка надежности трансформаторного оборудования по результатам хроматографических методов анализа.....	448
<b>Плющев В.В., Назарова М.А., Бронская В.В., Аминова Г.А., Мануйко Г.В., Шайхетдинова Р.С.</b> Эффективность теплообмена при синтезе БСПЭ.....	451
<b>Политова Т.О., Зиганшин Ш.Г., Ваньков Ю.В.</b> Идентификация дефекта теплопровода по анализу спектра колебаний.....	456
<b>Сайфуллин Н.Э., Шмелёв Г.Н., Гимазетдинов А.Р., Хайдаров Л.И.</b> Сборно-разборные стержневые конструкции с гибкими связями для обеспечения надежности и безопасности объектов .....	460
<b>Снигирева Ю.В., Новиков В.Ф.</b> Анализ топлива методом газовой хроматографии для обеспечения эффективности и надежности двигателей .....	463
<b>Старовойтова Е.В., Галеев А.Д.</b> Использование Fluent для прогнозирования последствий проливов сжиженного природного газа.....	467
<b>Сутягина М.И., Хафизов И.И.</b> Внедрение интегрированной системы менеджмента качества на примере крупного промышленного предприятия АО «ИРЗ».....	471
<b>Сутягина М.И., Коначина И.А., Хафизов И.И.</b> Проблема формирования профессиональных компетенций кадрового состава метрологической службы .....	474
<b>Хайбуллина А.И., Савельева А.Д., Хайруллин А.Р.</b> Численное исследование теплообмена в пучке труб .....	477
<b>Хайбуллина А.И., Яруллина А.А., Хайруллин А.Р.</b> Теплообмен при пульсирующем течении в трубе.....	481
<b>Чесноков А.В., Михайлов В.В., Долматов И.В.</b> Разработка и исследование способов адаптации гибридной конструкции покрытия к внешним силовым воздействиям .....	485
<b>Чесноков А.В., Михайлов В.В., Долматов И.В.</b> Разработка вантовой фермы с балкой жёсткости.....	490





Материалы  
X Международной научно-технической конференции  
«Инновационные машиностроительные технологии,  
оборудование и материалы – 2019»

Часть 2

Подписано в печать 29.11.2019

Формат 60×84/16

Бумага офсетная

Тираж 325 экз.

Отпечатано ООО «Фолиант»  
420111 г. Казань, ул. Профсоюзная, 17в  
foliantkazan@mail.ru

**АО «Казанский научно-исследовательский институт  
авиационных технологий»**

г. Казань, ул. Дементьева, д. 2в

тел.: (843) 212-09-08

e-mail: [oa@kniat.ru](mailto:oa@kniat.ru)

web: [www.kniat.ru](http://www.kniat.ru)

