

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

# **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Сборник трудов  
XI Международной научно-практической конференции

**21–23 мая 2020 г.**

Томск 2020

УДК 62.002:658(063)

ББК 34.4:65л0

И66

**И66** **Иновационные технологии в машиностроении** : сборник трудов XI Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 159 с.

ISBN 978-5-4387-0939-8

Сборник содержит материалы XI Международной научно-практической конференции по современным проблемам инновационных технологий в сварочном производстве, машиностроении, металлургии, автоматизации производства и экономике.

Предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов технических специальностей.

**УДК 62.002:658(063)**

**ББК 34.4:65л0**

*Ответственный редактор*

С.А. Солодский

*Редакционная коллегия*

М.А. Кузнецов

Д.А. Чинахов

Т.Ю. Чернышева

Е.В. Телипенко

А.Г. Мальчик

А.В. Проскоков

Н.А. Сапрыкина

Э.Ф. Кусова

**ISBN 978-5-4387-0939-8**

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский  
технологический институт (филиал), 2020

СОДЕРЖАНИЕ

**СЕКЦИЯ 1: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ  
МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

<b>ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАНУЛ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ</b> <i>Тамаркин М.А., Колганова Е.Н.</i> .....	6
<b>ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ</b> <i>Татаринцев В.А., Филатенков О.Д.</i> .....	9
<b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ КАПРОЛОНА (ПОЛИАМИДА-6)</b> <i>Адмакин М.А., Быченко Д.А., Разуваев А.С.</i> .....	12
<b>ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК СЕКТОРОВ БАРАБАНА МОТАЛОК И ШТАМПОВЫХ КУБИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ ФЛЮСОВ</b> <i>Власов А.Ф., Макаренко Н.А., Куций А.М., Голуб Д.М.</i> .....	17
<b>АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СВЕРЛО БТА</b> <i>Ким А.Б., Чжу Лянлян</i> .....	23
<b>ПОЛУЧЕНИЕ ПРОБ НАПЛАВЛЯЕМОГО МЕТАЛЛА ДУГОЙ КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ</b> <i>Сидоров В.П.</i> .....	26
<b>МОДЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СПЛАВОВ</b> <i>Темпель О.А.</i> .....	31
<b>НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b> <i>Татаринцев В.А., Васильев А.В.</i> .....	33
<b>РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> <i>Еренков О.Ю., Лопушанский И.Я., Еренкова Д.Д.</i> .....	37
<b>УЛУЧШЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПУТЕМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ</b> <i>Антонова Н.М., Пузанова А.С., Небрат А.А.</i> .....	40
<b>ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ЕДИНИЧНЫХ ВАЛИКОВ ИЗ КОМПОНЕНТОВ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ</b> <i>Девойно О.Г., Луцко Н.И., Лапковский А.С.</i> .....	43
<b>ФОРСИРОВАНИЕ СКОРОСТИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ ПРИВОДНОЙ РОТОРНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ</b> <i>Аль Тии М.</i> .....	47
<b>PLASMA PROCESSING OF CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE WASTE</b> <i>Tikhonov A.E., Novoselov I.Yu.</i> .....	51

**СЕКЦИЯ 2: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ</b> <i>Иванов В.П., Лаврова Е.В., Ильященко Д.П.</i> .....	54
<b>ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ ПОДЛОЖКА-ИЗДЕЛИЕ ПРИ ЭЛЕКТРОННО ЛУЧЕВОЙ ПЕЧАТИ АЛЮМИНИЕВОЙ БРОНЗЫ</b> <i>Хорошко Е.С., Филиппов А.В., Шамарин Н.Н.</i> .....	58

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН TiC/(Ni-Cr) ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛА</b> <i>Овчаренко В.Е., Чинахов Д.А.</i> .....	61
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМЕННОГО РАСПЫЛЕНИЯ</b> <i>Кузнецов М.А., Крюков А.В., Солодский С.А.</i> .....	65
<b>СПОСОБЫ ВЛИЯНИЯ НА СВОЙСТВА И ГЕОМЕТРИЮ СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ</b> <i>Чинахов Д.А., Григорьева Е.Г.</i> .....	67
<b>СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ СПЛАВА НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА</b> <i>Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А., Шаркеев Ю.П., Ибрагимов Е.А. Химич М.А.</i> .....	71
<b>ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ БРЫЗГ (КАПЕЛЬ) РАСПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ РДС</b> <i>Ильященко Д.П.</i> .....	73
<b>ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВАРНОГО ШВА В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V, ПОЛУЧЕННЫХ АДДИТИВНЫМИ МЕТОДАМИ</b> <i>Яхин А.</i> .....	75
 <b>СЕКЦИЯ 3: ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ</b>	
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ</b> <i>Исмаилов Г.М., Скорнякова Л.В., Ломовская С.А., Минеев Ли В.Е.</i> .....	79
<b>ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РИСКА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОРГАНИЗАЦИИ</b> <i>Чуднов Ю.Н.</i> .....	82
<b>АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ РОССИЙСКИМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ</b> <i>Маслов А.В.</i> .....	87
<b>ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНТЕГРАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ С ОБЛАКОМ</b> <i>Разумников С.В., Пранкевич Д.А.</i> .....	91
<b>РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ К ПЕРЕХОДУ НА ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> <i>Разумников С.В.</i> .....	95
<b>ПРИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ИНЖЕНЕРОВ РОССИЙСКИХ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b> <i>Прокопенко С.А.</i> .....	99
<b>ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ В ОБЛАКЕ И ЛОКАЛЬНОЙ СРЕДЕ</b> <i>Разумников С.В., Пранкевич Д.А.</i> .....	107
<b>РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАЛОГО ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ</b> <i>Чернышева Т.Ю., Веретенников А.Д.</i> .....	109
<b>ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ</b> <i>Долматова Д.О., Седнев Д.А.</i> .....	112
<b>ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ</b> <i>Епифанцев К.В.</i> .....	115

#### **СЕКЦИЯ 4: ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

<b>ПРИРОДНЫЙ МИНЕРАЛ ШУНГИТ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ</b> <i>Новикова А.Л.</i> .....	120
<b>ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ</b> <i>Ахремчик О.Л.</i> .....	122
<b>ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА СВАРКИ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА НАЛИЧИЕ МИКРОПЛАСТИКА В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ</b> <i>Епифанцев К.В., Волобуев В.С.</i> .....	125
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛА ШУНГИТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ</b> <i>Новикова А.Л.</i> .....	129
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗВУКОИЗЛУЧЕНИЯ И ШУМОГЛУШЕНИЯ В ХЛОПКООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ</b> <i>Поболь О.Н., Фирсов Г.И.</i> .....	131
<b>ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ-РАЗОГРЕВА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЗАГУСТЕВШИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В РЕГИОНАХ С ХОЛОДНЫМ КЛИМАТОМ</b> <i>Кареев М.И., Немтин В.Г., Усов Д.Ю.</i> .....	135
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАБИНЫ ЛИТЕЙНОГО МОСТОВОГО КРАНА НА СТАДИИ ЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b> <i>Масленский В.В., Булыгин Ю.И.</i> .....	137
<b>РАЗРАБОТКА ОГНЕСТОЙКИХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ НАНОПОРОШКОМ ЖЕЛЕЗА И БОРНОЙ КИСЛОТОЙ</b> <i>Назаренко О.Б., Липчанский Д.С.</i> .....	140
<b>РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗА КАПЛЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ЕЕ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ</b> <i>Наумкин А.С., Мальшиев Д.Ю., Борисов Б.В.</i> .....	143
<b>УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ RISK MANAGEMENT IN THE EDUCATIONAL PROCESS</b> <i>Гладких С.Н., Виноградова О.Н.</i> .....	145
<b>УСЛОВИЯ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВА, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ГИБЕЛИ И ТРАВМИРОВАНИЮ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ</b> <i>Дьячкова А.А., Мальчик А.Г.</i> .....	148
<b>ПОВЫШЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ ЗДАНИЙ ПУТЕМ УСТРОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ ИЗ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b> <i>Петров Е.В., Ояма И.А.</i> .....	151
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ SLM-ОБРАЗЦОВ ВТ6 ОБРАБОТАННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ</b> <i>Панин С.В., Бяков А.В., Почивалов Ю.И.</i> .....	154

## **СЕКЦИЯ 1: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

### **ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАНУЛ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ**

*М.А.Тамаркин, д.т.н., проф., Е.Н. Колганова, асп.*

*Донской государственный технический университет.*

*344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 273-83-85*

*E-mail: Elenkolg@list.ru*

**Аннотация:** В статье представлены результаты исследования формы и геометрических размеров заусенцев, на основе которых была разработана обобщенная модель заусенца. Предложены методологические принципы выбора гранулометрических характеристик обрабатывающих сред при вибрационной обработке деталей сложной конфигурации.

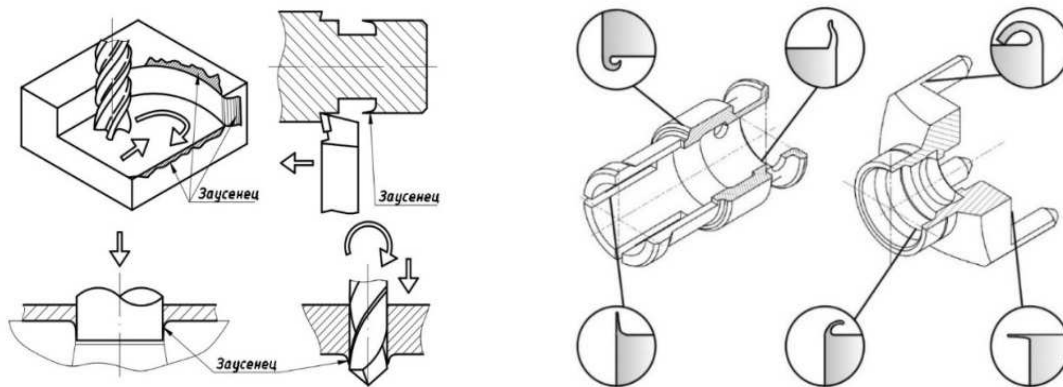
**Abstract:** The article presents the results of a study of the shape and geometric dimensions of burrs, on the basis of which a generalized model of burrs was developed. The methodological principles of selecting the particle-size characteristics of the processing media during vibration processing of parts of complex configuration are proposed.

**Ключевые слова:** Вибрационная обработка, среда органического происхождения, шероховатость, микронеровность поверхности, заусенцы.

**Key words:** Vibration processing, environment of organic origin, roughness, surface microroughness, burrs.

В настоящее время возросла потребность в высокопроизводительной и высокоточной обработке деталей. Особенно актуальна данная проблема для приборостроительной отрасли [1, 2]. Однако отсутствие методик проектирования отделочных операций деталей, имеющих сложную конструктивную форму, малые пазы и отверстия (МППО) ограничивает широкое внедрение и дальнейшее совершенствование вибрационной обработки в среде свободных абразивов[3].

Основным методом формообразования деталей остается обработка резанием (рис. 1). Однако все виды механической обработки, сопровождаются образованием заусенцев, острых кромок и т.п.



*Рис. 1. Дефекты деталей после обработки резанием*

Целью работы является разработка методики проектирования высокоэффективного технологического процесса вибрационной отделочной обработки деталей, с МПО на основе выбора гранулометрических характеристик обрабатывающих сред.

Геометрию профиля поперечного сечения заусенца изучали на микрошлифах с использованием металлографического инвертированного микроскопа, оснащенного системой автоматизированного анализа Thixomet Pro. Изучение показало, что поперечное сечение заусенцев имеет форму треугольника с острым углом при вершине. Высота заусенцев исследуемых образцов в среднем превышает толщины заусенца у основания в 2-3 раза, толщина заусенца у основания при этом не более 0,3 мм (рис. 2).



Рис. 2. Профиль поперечного сечения заусенца исследуемых образцов

Проведенный анализ конструкторско-технологических особенностей деталей РЭА свидетельствует, что предпочтительными при их отделочной обработке будут рабочие среды, соответствующие следующим требованиям:

- высокая плотность (не ниже  $1.2\text{г/см}^2$ ) и малый вес;
- возможность проводить обработку маложестких деталей, а также деталей с поверхностями с ограниченным доступом гранул рабочих сред;
- высокая износостойкость гранулы;
- равномерность структурой гранулы.

Практически всем вышеназванным требованиям, согласно исследованиям [4], соответствуют гранулированные среды из дроблённых скорлуп грецкого ореха и косточек плодовых деревьев.

При дроблении одревесневших скорлуп косточек образуются гранулы произвольной формы, имеющие по периметру клиновидные края, наличие которых позволит рассматривать гранулу как инструмент, имеющий доступ к различным поверхностям и осуществляющим резание поверхностей.

Исходя из конструктивно-технологических особенностей деталей РЭА и технических требований к ним при вибрационной обработке, могут сложиться три основные технологические задачи.

В первой задаче на заготовках достаточно удалить заусенцы и скруглить кромки, без обработки внутренних поверхностей. Решение задачи сводится к определению оптимального размера гранулы, так чтобы исключить её заклинивание в отверстии (рис. 3).

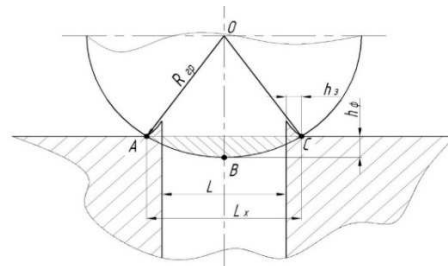


Рис. 3. Расчетная схема процесса контакта гранулы с кромками отверстия

Качество обработанной поверхности изделия и производительность процесса зависит от оптимального радиуса гранулы обрабатывающей среды:

$$R_{гр} = K_n \frac{(L + 2h_з)^2 + h_ф^2}{8h_ф};$$

где  $h_з$  – толщина заусенца у основания, мм;

$h_ф$  – высота фаски, заданная техническими требованиями, мм;

$L$  – линейный или диаметральный размер обрабатываемого отверстия, мм.

Вторая задача решает обработку внутренних поверхностей МПиО и обеспечивает подготовку их под покрытие (рис. 4). В этом случае необходимо проникновение гранулы в наименьшее отверстие или паз.

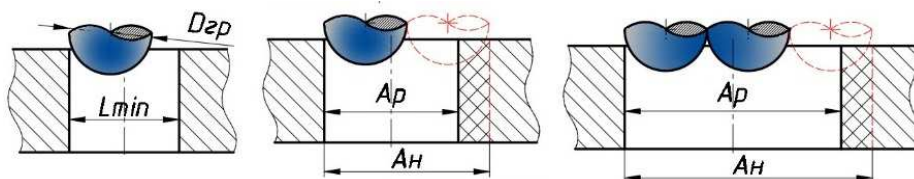


Рис. 4. Рекомендуемые размеры отверстий

Третья технологическая задача состоит в обеспечении стабильности шероховатости при обработке деталей. Наибольшие сложности обусловлены труднодоступностью гранул к местам сопряжения поверхностей, где могут возникнуть три характерные зоны: мертвая зона, где обработка не происходит, зона нестабильной шероховатости и открытая зона для обработки (рис. 5).

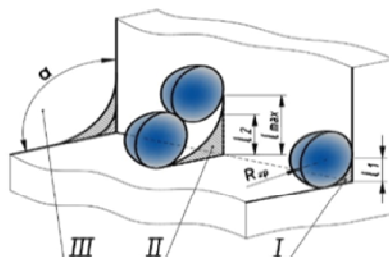


Рис. 5. Схема для обоснования размера частиц рабочей среды, обеспечивающую обработку отверстий и пазов

Спрогнозировать размеры мёртвой зоны и зоны нестабильной шероховатости можно по следующим зависимостям:

$$CD \leq R_{пр} \left[ \frac{1}{\cos \frac{180^\circ - \alpha}{2}} - 1 \right];$$

$$CB = R_{пр} \tan \frac{180^\circ - \alpha}{2}.$$

Для контроля результатов требуется разработка критерия годности детали: параметры шероховатости поверхности и стабильность качественных характеристик на различных участках обработанной поверхности детали.

Основное условие для решения технологической задачи представим в виде

$$\bar{R}_i - \delta > [R_{imin}]$$

$\bar{R}_i$  – средняя статистическая величина показателя качества, соответствующая среднеарифметическому отклонению профиля исходной поверхности;

$\delta$  – поле рассеивания показателя качества, соответствующая величине съёма металла в процессе обработки;

$[R_{imin}]$  – допустимое значение показателя качества, соответствующее среднеарифметическому отклонению профиля обработанной поверхности.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: разработаны методологические принципы выбора гранулометрических характеристик рабочих сред; проведена оценка производительности вибрационной обработки деталей РЭА.



Список используемых источников:

1. Antonova, N.M. Evaluation of adhesion strength of protective coatings with Al powder by adhesion work of initial suspension towards metal surface. //MATEC Web of Conferences. - 2018. - Vol. 224: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). - Article Number: 03011. URL: [https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2018/83/mateconf\\_icmtmte2018\\_03011/mateconf\\_icmtmte2018\\_03011.html](https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2018/83/mateconf_icmtmte2018_03011/mateconf_icmtmte2018_03011.html)
2. Антонова Н.М., Зиновьев И.А., Хаустова Е.Ю., Болдырев Ф.М., Лисниченко И.А. Определение адгезии путем цифровой обработки изображений поверхности покрытий. // Инженерный вестник Дона, 2019, № 1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5549](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5549)
3. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. - М.: Машиностроение, 1974- 134 с.
4. Лебедев, В.А. Повышение эффективности вибрационной отделочной обработки деталей на основе применения сред органического происхождения / В.А. Лебедев, Е.Ю. Крупеня, А.П. Шишкина // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты: кол. моногр. / под ред. А.Н. Киричика. - М.: Спектр, 2015. - Т. 6. - С. 268-326.

### ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

*В.А. Татаринцев, к.т.н., доц., О.Д. Филатенков, магистрант*

*Брянский государственный технический университет*

*241035, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7, тел. (4832)-58-82-12*

*E-mail: tatarin-55@yandex.ru*

**Аннотация:** Приведены результаты испытания при циклической нагрузке бездефектных и дефектных образцов. Цель испытаний – количественная оценка влияния внутренних (скрытых) литейных дефектов на сопротивление усталости стали 20ГЛ, применяемой для изготовления литых несущих деталей грузовых вагонов, а также корпусов запорной арматуры. Получены закономерности развития усталостного разрушения в дефектных образцах и количественные значения степени разупрочнения. Выполнено сравнение полученных результатов с известными и предложены аспекты их применения.

**Abstract:** The article presents the test results under cyclic loading of defect-free and defective samples. The purpose of the tests is a quantitative assessment of the effect of internal (hidden) casting defects on the fatigue resistance of 20GL steel, which is used for the manufacture of molded load-bearing parts of freight cars, as well as shutoff valve bodies. Regularities of the development of fatigue failure in defective samples and quantitative values of the degree of softening are obtained. Comparison of the obtained results with the known ones is made and aspects of their application are proposed.

**Ключевые слова:** циклическая нагрузка, внутренний дефект, испытания на выносливость, сопротивление усталости, литые детали.

**Keyword:** cyclic load, internal defect, endurance tests, fatigue resistance, cast parts.

В литых деталях распространены технологические дефекты различной природы, формы, расположения и размеров. Если поверхностные дефекты, как правило, не допускаются без исправления, то внутренние дефекты при отсутствии неразрушающего контроля остаются в деталях и могут быть причиной разрушения в эксплуатации. Внутренние дефекты часто представляют собой внутренние полости, не заполненные материалом изделия. Это могут быть усадочные раковины, газовые пузыри, рыхлости, как скопление небольших усадочных раковин и полостей, заполненных шлаком или смесью окислов [1, 2].

В связи с внедрением на сталелитейных предприятиях средств неразрушающего контроля возникает задача оценки влияния формы, величины и расположения дефекта на сопротивление детали усталостному разрушению и ее эксплуатационную надежность. По информации, полученной в результате анализа изломов, около 70 % разрушившихся в эксплуатации деталей имели усадочные раковины. Форма усадочных раковин была близка к эллиптической. Степень опасности технологического дефекта зависит от напряженно-деформированного состояния в месте его расположения, остроты границ и прочностных свойств материала в окрестностях дефекта. Внутренние дефекты менее опасны, чем поверхностные. Поэтому в изломах разрушившихся деталей встречаются внутренние дефекты, занимающие до 15 % площади сечения и не получившие развития, а причиной отказа стали усталостные трещины, образовавшиеся на поверхности этого сечения в месте наибольших напряжений [3].

Для получения дефектов типа усадочных раковин различной величины применяли специальные заготовки, в которых искусственно создавали так называемые «тепловые узлы» для моделирова-

ния усадочных раковин (рис. 1, а). Из этих заготовок затем изготавливали гладкие цилиндрические образцы для испытаний на выносливость по ГОСТ 25.502 (рис. 1, б).

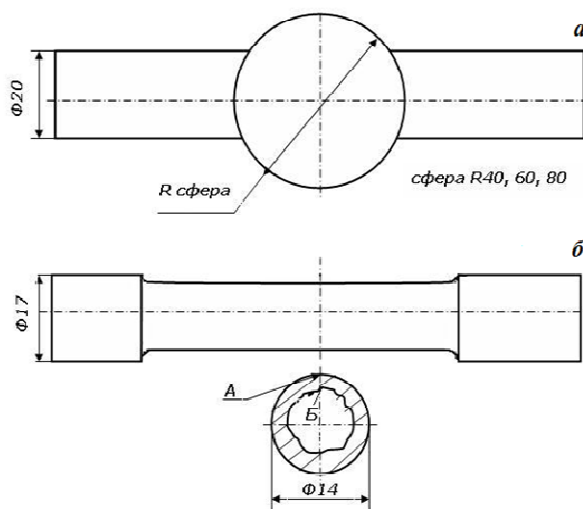


Рис. 1. а) вид заготовки с искусственным дефектом, б) образец для испытаний на выносливость

Предварительно величину дефекта оценивали с помощью рентгеновских снимков (рис. 2), что позволило выполнить априорную сортировку образцов по размерам усадочной раковины. Окончательно размеры дефекта и его положение, а также геометрические характеристики сечения определяли визуальным и инструментальными методами после разрушения образца. С помощью этих параметров оценивали номинальные напряжения в точках А и Б сечения излома (рис. 1, б), которые использовали при построении кривой усталости и приближенной оценки предела выносливости. Расчет напряжений симметричного цикла выполняли по известной зависимости сопротивления материалов  $\sigma = M / W_{\text{х.нетто}}$ , в которой  $M$  – изгибающий момент в расчетном сечении,  $W_{\text{х.нетто}}$  – момент сопротивления расчетного сечения в месте расположения дефекта,  $W_{\text{х.нетто}} = I_{\text{х.нетто}} / y$ ,  $I_{\text{х.нетто}}$  – момент инерции сечения с учетом его ослабления из-за дефекта,  $y$  – расстояние от оси, проходящей через центр тяжести сечения до расчетной точки.

Испытания на усталость выполняли на стенде МУИ-6000, при симметричном цикле изменения напряжений с частотой 100 Гц. Для изучения степени влияния литейных дефектов на характеристики сопротивления усталости материала испытаниям при циклическом нагружении чистым изгибом с вращением подвергали цилиндрические образцы из стали 20ГЛ с внутренними дефектами и без них.

Погрешность, вносимую в расчет момента сопротивления сечения в месте разрушения за счет замены очертаний границы дефекта окружностью, определяли сравнением расчетных номинальных напряжений с результатами тензометрии поверхности образца малобазными (база 1 мм) тензодатчиками. Различия в расчетной и экспериментальной оценке напряжений в исследуемом сечении не превышали 4 %.



Рис. 2. Рентгенограмма образца с дефектом и усталостной трещиной

В результате испытаний на усталость построены осредненные кривые усталости для гладких бездефектных образцов и образцов с дефектами (рис. 3). Установлено, что в бездефектных образцах

и образцах с дефектами трещины зарождались на поверхности и развивались внутрь к его оси, а не от внутреннего литейного дефекта наружу к поверхности (рис. 2). Отношение напряжений в точках А и Б (рис. 1)  $\sigma_A / \sigma_B = 1,06 \dots 1,71$ . Степенная аппроксимация кривых усталости имеет вид:

для образцов с дефектами  $\sigma_{a_i}^{7,47} \cdot N_i = 1,39 \cdot 10^{23}$ , для образцов без дефектов  $\sigma_{a_i}^{7,24} \cdot N_i = 1,43 \cdot 10^{23}$  (рис. 3). Предел выносливости бездефектных образцов составил  $\sigma_{-1} = 186$  МПа, а образцов с дефектами –  $\sigma_{-1\text{деф}} = 152$  МПа. Коэффициент разупрочнения металла из-за присутствия дефекта составил  $\beta = \sigma_{-1} / \sigma_{-1\text{деф}} = 186 / 152 = 1,22$ .

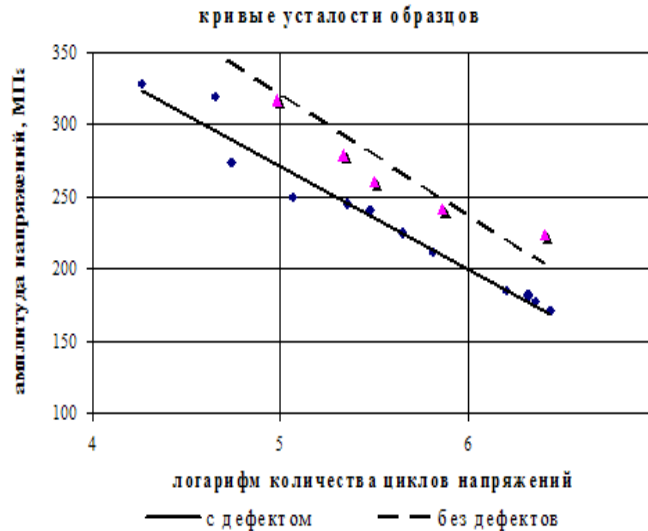


Рис. 3. Результаты усталостных испытаний

В работе [3] оценка результатов испытаний образцов из стали 20ГФЛ, имеющих литейные дефекты и бездефектных образцов производилась по долговечности и по параметрам сопротивления усталости. Анализ [3] показывает, что литейные дефекты в образцах снижают их долговечность в среднем в 2,65 раза в сравнении с бездефектными, а предел выносливости образцов, имеющих литейные дефекты, на 15 % ниже предела выносливости бездефектных образцов и соответственно равны 154 и 181,5 МПа. Отличие полученных нами результатов от результатов исследований [3] (22 % и 15 %) связано с различием в легировании литой стали (стали 20ГЛ и 20ГФЛ) и технологии получения заготовок для изготовления образцов.

Найденное значение коэффициента разупрочнения применимы к прогнозированию остаточного ресурса, влияния периодичности технического обслуживания и ремонтов, а также надежности после реновации утраченных свойств детали как на стадии проектирования, так и при производстве детали [4, 5]. Итогом выполненного исследования явилось уточнение имитационной модели, представленной ранее в работе [6] при моделировании процессов усталостного разрушения применительно к оценке надежности машин и их элементов.

Полученные результаты позволили расчетным путем установить величину и места расположения допустимых без исправления внутренних технологических дефектов литья корпуса автосцепки. Данные расчеты являются научной основой для разработки карт допустимых дефектов, которые могут быть использованы в качестве основного документа при дефектоскопическом контроле литых деталей. Для эллиптического дефекта, расположенного в переходной зоне от хвостовика к головной части корпуса автосцепки, соотношения большой и малой осей эллипса составляют – 28×2 мм, 26×4 мм, 24×6 мм, 23×8 мм, 20×10 мм.

Приведенная структура исследований позволяет получать аналогичные данные о влиянии внутренних дефектов на сопротивление разрушению других деталей применительно к конкретным режимам эксплуатационного нагружения, а также ранжировать литые стали по степени чувствительности к дефектам.

Список используемых источников:

1. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А. Атлас литейных дефектов. Черные сплавы. М: Машиностроение-1, 2005. 330 с.
2. Лакедемонский А.В., Кваша Ф.С., Медведев Я.И., Шерман А.Д., Киян Э. Ф. Литейные дефекты и способы их устранения. М.: Машиностроение, 1972. 151 с
3. Пастухов И. Ф., Пастухов М. И. О влиянии литейных дефектов на сопротивление усталости литых деталей // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого, 2012, № 3. С. 11–18.
4. Татаринцев В.А., Толстошеев А.К. Продление жизненного цикла литых деталей вагонов путем реновации утраченных свойств // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2017. № 6. С. 23–27.
5. Татаринцев В.А., Толстошеев А.К. Сопротивление усталости литых деталей с исправленными сваркой дефектами // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. научных трудов XII-ой Международной научно-практической конференции. В 4-х томах. Отв. ред. Горохов А.А. 2015. С. 116–121
6. Shlyushenkov A.P., Tatarintsev V.A., Val'kov Yu.Z. Modeling the fatigue failure processes in evaluating the reliability of machines and components // Strength of Materials. 1990. Т. 22. № 3. P. 344–352.

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ КАПРОЛОНА (ПОЛИАМИДА-6)

*М.А. Адмакин, к.т.н., доц., Д.А. Быченко, студ., А.С. Разуваев, студ.  
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого  
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, тел. +7 (921) 943-49-19  
Email: spszk1@yandex.ru*

**Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы обрабатываемости капролона (полиамида-6) точением, в особенности факторы, влияющие на процесс стружкообразования и стружкодробления. Предложен способ обеспечения устойчивого дробления стружки в условиях серийного производства за счет обработки заготовок из капролона с предварительно изготовленными канавками. Эффективность способа подтверждена экспериментально, дано объяснение наблюдающейся отрицательной усадке стружки.

**Abstract:** In the article polyamide-6 turning machinability was described, especially factors affecting on the process of chip formation and chip breaking. A method of providing stable chip breaking under conditions of batch manufacturing process by machining of polyamide workpieces with premanufactured grooves was presented. The efficiency of the method was experimentally confirmed and the observed negative chip shrinkage was explained.

**Ключевые слова:** капролон (полиамид-6), точение, стружкообразование, стружкодробление, деформации, режимы резания.

**Keywords:** polyamide-6, turning, chip formation, cheap breaking, deformations, cutting parameters.

В современном машиностроении все большее применение находят разнообразные полимерные материалы. Физико-механические свойства классических конструкционных металлов и сплавов, в основном, определяются химическим составом и структурой кристаллической решетки, состоящей из атомов разных элементов. Свойства же полимерных материалов в меньшей степени зависят от их химического состава (который в случае органических полимеров во многом идентичен: атомы углерода, водорода, кислорода, азота и некоторые другие), но в значительной степени определяются свойствами их макромолекул, звеньев, цепей; их размерами, конфигурацией и взаимодействием. Вследствие этого полимеры обладают рядом ценных, а иногда и уникальных свойств, таких как высокая эластичность в сочетании с прочностью, низкая плотность, коррозионная стойкость, особые антифрикционные, диэлектрические, теплоизоляционные свойства и др. [1, 2].

Термопластичный полимер капролон используется при изготовлении зубчатых и червячных колес, подшипников скольжения, деталей масляных и водных систем, кожухов, резервуаров, корпусов, легких деталей, при прототипировании изделий и т.п. В последнем случае, а также при изготовлении мелких и средних партий изделий, деталей сложной геометрии зачастую целесообразно получение готовой детали методами литья и пластического формообразования, поскольку для этого необходимы специальное оборудование и оснастка. Вследствие этого большую роль продолжает играть обработка резанием.

Специфика и трудность обработки резанием полимеров, в частности капролона, связана с их малой теплопроводностью (меньше, чем у большинства металлов примерно в 500 раз [3]). Это приводит к концентрации температурного воздействия в приповерхностном слое материала в зоне резания и отводе тепла не только через стружку, но и в большой степени (до 24% для термопластов [2, 3]) через режущий инструмент, что, в свою очередь, ведет к быстрому снижению его стойкости. Вместе с тем, полимеры обладают и малой теплостойкостью: уже при температуре порядка 50-90°C [2] полиамиды начинают размягчаться, переходя из высокоэластичного в вязкотекучее состояние. На размягченной поверхности при резании образуются задиры; стружка налипает на поверхность инструмента, снижая его стойкость, и на заготовку, ухудшая качество ее поверхности. Кроме того, процесс обработки полимеров затрудняется большим коэффициентом линейного расширения, колебаниями механических свойств и их анизотропией, а также значительной упругостью (эластичностью) материала.

Важным, а иногда, как показывает практика, лимитирующим параметром обработки является вид образующейся при резании стружки. По классификации Б. П. Штучного [2] капролон относится к первой группе обрабатываемости полимеров – термопластам без наполнителя с достаточно однородными свойствами, сравнительно хорошо поддающимся обработке резанием с образованием непрерывной стружки. При этом, в зависимости от режимов резания, геометрии режущего клина, температуры в зоне резания и некоторых других факторов данная непрерывная стружка может быть непрерывной сливной (деформация материала происходит сравнительно медленно, он ведет себя как высокоэластичное тело, четкая плоскость среза не прослеживается) или непрерывной стружкой скалывания (деформация материала происходит сравнительно быстро, эластичные свойства не успевают проявиться, на стружке становятся заметны плоскости среза).

В любом случае, образование непрерывной стружки крайне затрудняет процесс обработки, поскольку она может обматываться вокруг инструмента и заготовки; налипает на кромку инструмента, ухудшая режущие свойства и снижая его стойкость; загромождает рабочее пространство (рис.1). В ходе проведенных авторами экспериментов с использованием токарных станков с ЧПУ и устройством подачи прутка (он же – барфидер) была замечена невозможность эффективной многостаночной работы, в отличие от обработки металлов. При точении капролона оператор вынужденно закреплен за одним станком, поскольку обработку приходится прерывать для уборки стружки после каждой предыдущей детали, а иногда – и после каждой операции. Если по программе обработки после чернового точения необходимо сделать чистовой проход, то без уборки есть риск, что намотанная стружка наплавится на поверхность детали или отломает ее.

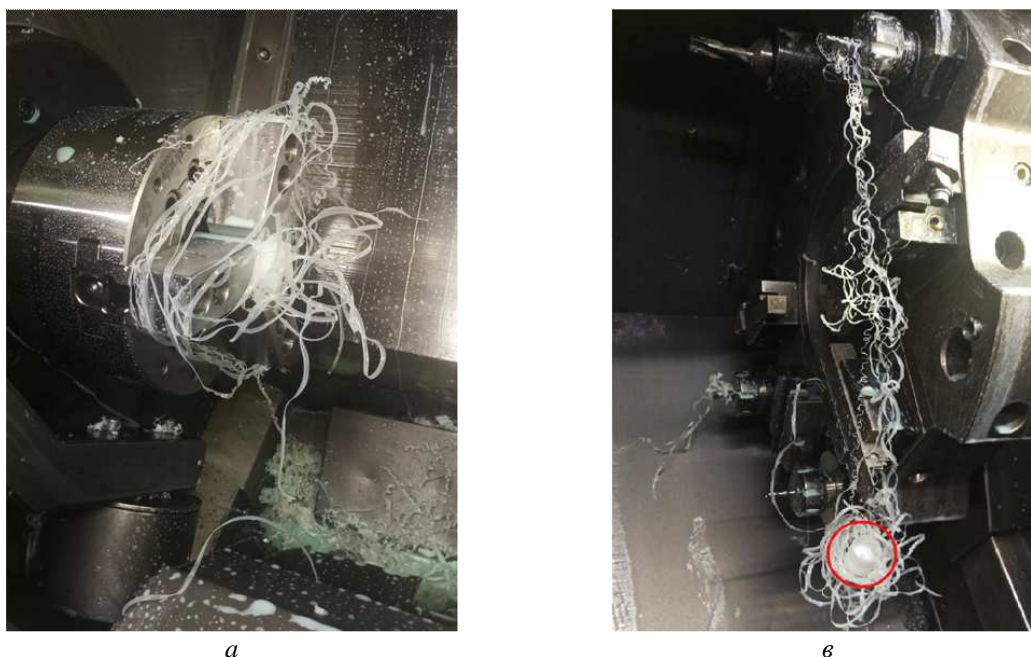


Рис. 1. Наматывание стружки при точении капролона на: а) патрон, кулачки и заготовку; б) револьверную головку, инструмент и деталь

Более того, большое количество стружки может препятствовать попаданию готовой детали в деталеприемник станка после отрезки (рис. 1, б – выделено кружком). Все вышесказанное во много раз снижает производительность обработки и ведет к отбраковке части деталей. Таким образом, задача обеспечения устойчивого стружкодробления при точении капролона является очень актуальной.

Способы дробления стружки можно разделить на две группы [4]: способы, обеспечивающие естественное дробление за счет изменения режимов резания и геометрии инструмента, и способы, обеспечивающие искусственное дробление за счет разнообразных приспособлений и модификации оборудования, а также изменения кинематики резания.

По рекомендациям [3, 5] режимы резания при точении капролона твердосплавным инструментом (инструмент из быстрорежущих сталей согласно [1 – 3] имеет меньшую стойкость) следует принимать примерно следующими: скорость резания  $V = 150 - 300$  м/мин, чистовая подача  $S = 0.1 - 0.2$  мм/об, глубина резания  $t = 0.5 - 1.5$  мм. При черновой обработке подача может быть увеличена до величин порядка  $0.4 - 1.0$  мм/об, глубина резания – до  $3 - 5$  мм.

Согласно исследованиям [6] при варьировании скорости резания в пределах  $50 - 400$  м/мин, подачи –  $0.08 - 0.28$  мм/об, глубины резания –  $0.5 - 5$  мм, прерывания и дробления стружки не наблюдается, происходит лишь изменение ее вида от непрерывной сливной к непрерывной скалывания, что отражается визуально и в уменьшении величин соответствующих коэффициентов усадки. Это происходит в связи с тем, что, как уже отмечалось выше, при увеличении скорости резания наблюдается некоторое запаздывание пластической деформации материала и на процесс образования стружки начинает в большей степени влиять хрупкое разрушение и локализованный сдвиг. При увеличении глубины резания и подачи растет объем деформируемого материала, увеличиваются напряжения сжатия, приводящие к появлению микротрещин и локализованного сдвига. Отсутствие прерывания и дробления стружки при таком варьировании режимов следует связывать с отмеченными выше малой твердостью и плохой теплопроводностью капролона. Поэтому при увеличении режимов резания и, как следствие, повышении температуры в зоне обработки, отрывы отдельных элементов стружки будут практически отсутствовать, материал будет размягчаться и, несмотря на появление микротрещин, сходить непрерывно. Эти выводы хорошо согласуются с результатами исследований [7] и экспериментами авторов статьи, при которых скорость резания изменялась в пределах  $40 - 120$  м/мин, подача –  $0.1 - 0.7$  мм/об, глубина резания –  $0.5 - 4$  мм. Устойчивого дробления стружки не наблюдалось. Таким образом, только меняя режимы резания при обработке капролона, нельзя добиться устойчивого дробления стружки. Как сливная, так и суставчатая стружка имеет вид непрерывной ленты и очень неудобна при удалении из рабочей зоны. Кроме того, важно учитывать увеличение шероховатости обработанной поверхности при больших значениях подачи и увеличение упругих отжатий инструмента и заготовки из-за роста силы резания.

С точки зрения искусственного дробления стружки при точении капролона, достаточно известной является рекомендация предварительного охлаждения заготовок (к примеру, в бытовой морозильной камере). Эластичность материала при этом снижается, несколько улучшается теплоотвод из зоны резания, поэтому при последующей обработке материал будет в большей степени подвержен хрупкому разрушению, то есть должно происходить дробление стружки. Однако данный метод применим либо в единичном производстве, либо в массовом (при наличии соответствующего оборудования) и мало подходит для серийного производства, в частности для станков с барфидером, поскольку заготовка-пруток будет естественным образом быстро нагреваться. Также известны специальные устройства-улавливатели, которые «отсасывают» сливную стружку из зоны резания или принудительно разрезают ее, а также устройства, обеспечивающие дробление стружки за счет принудительных колебаний инструмента и предварительной ультразвуковой обработки поверхности заготовки [8]. Но и они, ввиду своей специфики, в большей степени применимы в условиях массового или крупносерийного производства.

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) позволяет понизить температуру в зоне резания и температуру инструмента, повышая его стойкость. Однако дробления стружки в ходе экспериментов с использованием СОЖ, проведенных авторами, не наблюдалось, поскольку, в отличие от металлов, из-за отмеченной выше высокой эластичности капролона, напора струи и перепада температур было недостаточно для появления трещин.

Интересной является рекомендация [3] по установке резцов в перевернутом положении, режущей кромкой вниз, и включении обратного вращения шпинделя станка для обеспечения схода стружки вниз. Но и этот прием (рис. 1, б) не всегда дает удовлетворительный результат.

Основываясь на всем вышесказанном, для обеспечения устойчивого стружкодробления при точении капролона на станках с ЧПУ и барфидером авторами был предложен способ, заключающийся в предварительном выполнении на заготовке-прутке одной или нескольких канавок по всей длине обрабатываемого участка на глубину снимаемого припуска. Затраты времени по предварительному формованию канавок невелики в случае обработки несложных по геометрии деталей, а сами канавки легко выполняются на станках с ЧПУ стандартным инструментом (проходным или резьбовым резцом).

С целью исследования процесса дробления стружки и проверки эффективности метода был проведен ряд экспериментов. Обрабатывались прутки капролона без канавок, а затем с одной, двумя и четырьмя канавками. Обработка велась резцом с напайной пластиной из твердого сплава ВК8. Геометрия режущей части: задний угол  $\alpha = 11^\circ$ , передний угол  $\gamma = 16^\circ$ , главный угол в плане  $\phi = 45^\circ$ . Режимы резания: скорость  $V_{рез} = 38$  м/мин, подача  $S = 0.11$  мм/об, глубина  $t = 0.5$  мм. Дробление стружки оценивалось качественно визуально.



Рис. 2. Размеры и вид стружки при точении заготовки с: а) одной канавкой; б) двумя канавками; в) четырьмя канавками

Как хорошо видно на рис.2, с увеличением числа канавок дробление и завивание стружки происходило намного лучше. Если при точении заготовки без канавок или с одной канавкой, стружка представляла собой длинные плоские ленты (рис. 2, а), то уже при двух, четырех канавках – сравнительно короткие цилиндрические спирали. Причем, радиус завитков уменьшался с увеличением числа канавок. Таким образом, обеспечивалось устойчивое стружкодробление и стружкозавивание. Завивающаяся стружка, в отличие от прямой, не налипала на инструмент и заготовку.

Для оценки деформационных процессов в зоне резания рассчитывался коэффициент усадки стружки, для чего измерялась толщина стружек и толщина срезаемого слоя. По усредненным для трех измерений данным согласно методике [4] рассчитывались коэффициент усадки (утолщения)  $K$ , относительный сдвиг  $\epsilon$ , скорость относительного сдвига, угол сдвига (скальвания)  $\Phi$ , угол текстуры  $\Psi$ , скорость стружки  $V_c$  и скорость сдвига  $V_\phi$ , несущие сведения о характере микро- и макродеформации в зоне резания.

Как видно из полученных данных, представленных в таблице, все рассчитанные коэффициенты усадки меньше  $K = 1$ , но близки к нему, и лежат в пределах  $0.7 \div 0.8$ . Это меньше значений усадки  $K = 1.05 \div 2.30$  для капролона, указанных в [2, 6]. То есть, материал в зоне резания испытывает незначительную пластическую деформацию, что объясняется его высокой эластичностью (упругостью) при сравнительно малых скорости резания и подаче, выбранных для эксперимента.

Таблица

Параметры, характеризующие степень пластической деформации в зоне резания

Вид заготовки	$V_{рез}$ , м/мин	$\Phi$ , град	$\epsilon$	$V_c$ , м/мин	$V_\Phi$ , м/мин	$\epsilon$ , с-1	$\Psi$ , град	$K$
Без канавок	38	66	1,21	54	57	26000	24	0,707
1 канавка	38	67	1,19	56	58	28000	25	0,68
2 канавки	38	60	1,27	46	51	18000	24	0,82
4 канавки	38	60	1,27	46	51	18000	24	0,82

В то же время, наблюдается так называемая отрицательная усадка стружки – толщина стружки меньше толщины срезаемого слоя. Данное явление может быть вызвано следующими причинами.

Первое по значимости влияние на уменьшение коэффициента усадки в данных условиях должен оказывать сравнительно большой передний угол  $\gamma$ . При больших положительных передних углах материал в зоне резания подвергается незначительным деформациям сжатия в направлении резания (движения режущего клина), но зато заметным деформациям растяжения в направлении, перпендикулярном направлению резания, на глубину, почти равную  $t$  [3]. Таким образом, режущий клин будет деформировать материал заготовки при отделении стружки, создавая, в основном, растягивающие напряжения. Отделенная стружка за счет упругих свойств будет стремиться вернуться к исходному состоянию, то есть к уменьшению толщины и одновременному увеличению длины – будет наблюдаться отрицательная усадка. Дополнительное влияние на процесс оказывает нелинейный характер зависимости коэффициента трения от скорости резания, в результате чего с увеличением скорости резания усадка стружки сначала уменьшается, достигает минимума, затем возрастает, проходит через максимум и при дальнейшем повышении скорости резания постепенно снижается [9-11]. Поскольку эксперименты проводились при скорости резания  $V_{рез}$  меньшей, чем в [2, 6], то это может свидетельствовать о том, что полученные коэффициенты усадки находятся вблизи минимально возможных значений для капролона.

В целом же, исходя из значений угла сдвига и угла текстуры, остававшихся практически постоянными при точении заготовок с канавками и без них, можно заключить, что использование вышеописанного приема не влияет на деформационные процессы в зоне резания и дробление стружки происходит чисто механически.

В дальнейших исследованиях авторы планируют изучить обеспечение естественного дробления стружки с помощью геометрии режущего инструмента и с учетом ранее полученных результатов касательно режимов резания капролона и методов искусственного стружкодробления.

#### Список используемых источников:

1. Бобович Б. Б. Неметаллические конструкционные материалы: учебное пособие / Б. Б. Бобович – М.: МГИУ, 2009. – 384 с.:ил.
2. Штучный Б. П. Механическая обработка пластмасс: справочник / Б. П. Штучный. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.:ил.
3. Тихомиров Р. А. Механическая обработка пластмасс / Р. А. Тихомиров, В. И. Николаев – Л.: Машиностроение, 1975. – 208 с.:ил.
4. Вульф А. М. Резание металлов / А. М. Вульф – Л.: Машиностроение, 1973. – 496с.:ил.
5. Токарев Д. И. Особенности точения пластиков Ф-4, ПА-6, Ф-4К20 / Д. И. Токарев, А. А. Дроздов, М. Н. Гуляев, Л. Д. Сиротенко, В. Ф. Исламов // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – т.20, №2. – с.35-42. – DOI: 10.15593/2224-9877/2018.2.05.
6. Еренков О. Ю. Исследование процесса стружкообразования при точении термопластичных полимерных материалов / О. Ю. Еренков, А. В. Гаврилова, Е. Г. Калита, Д. В. Картелев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. - №5(283). – с.60-64.
7. Еренков О. Ю. Эффективность применения керамического инструмента при точении капролона / О. Ю. Еренков, С. А. Ковальчук // Наука и образование. – 2017. - №3(87). – с.72-75.
8. Пат. 2574764 Российская Федерация, МПК В29С 37/00. Способ токарной обработки заготовок из капролона / Еренков О. Ю., Козлова М. А.; патентообладатель ФГБОУ ВПО "КнАГТУ". - № 2014142224/05; заявл. 20.10.2014; опубл. 10.02.2016, бюл. №4. – 7с.
9. Некрасов С. С. Технология материалов. Обработка конструкционных материалов резанием / С. С. Некрасов, Г. М. Зильберман – М.: Машиностроение, 1974. – 288 с.:ил.
10. Аршинов В. А. Резание металлов и режущий инструмент: учебник для машиностроительных техникумов / В. А. Аршинов, Г. А. Алексеев. – М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.:ил.
11. Технология металлов / Б. В. Кнорозов, Л. Ф. Усова, А. В. Третьяков и др.; ред. Б. В. Кнорозов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1978. – 904 с.:ил.



**ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК СЕКТОРОВ БАРАБАНА МОТАЛОК  
И ШТАМПОВЫХ КУБИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ  
ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ ФЛЮСОВ**

*А.Ф. Власов, д.т.н., проф., Н.А. Макаренко, д.т.н., проф., А.М. Куций,  
к.т.н., ст. преп., Д.М. Голуб, к.т.н., доц.*

*Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина  
84313, Украина, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Академическая, 72, +38 (095) 245 55 37  
E-mail: sp@digma/donetsk.ua*

**Аннотация:** Установлено, что разработанный способ изготовления заготовок секторов барабанов моталок из стали 20ХЗМВФ и штамповых кубиков из стали 5ХНМ с использованием твердого старта и экзотермических флюсов существенно снижает трудоемкость их изготовления. Электрошлаковые процессы с использованием экзотермического легированного флюса на "твердом" старте позволяют получать (по сравнению с существующими способами наведения шлаковой ванны) увеличение выхода годного металла 2-10%; экономии на расплавлении 1 кг стандартного флюса 1,2-1,4 кВт·ч; сокращение времени стартового периода процесса ЭШП до 25%.

**Abstract:** It has been established that the developed method of manufacturing blanks for the sectors of the drums of 20H3MVF steel winders and die cubes from 5XHM steel using a solid start and exothermic flux significantly reduces the complexity of their manufacture. Electroslag processes using an exothermic alloyed flux on a "hard" start allow to obtain (compared to existing methods of slag bath guidance) an increase in the yield of a suitable metal 2-10%; saving on melting 1 kg of standard flux 1.2-1.4 kW h; reduction of the starting time of the ESR process to 25%.

**Ключевые слова:** электрошлаковое литье, технология, отливки,ковка, сульфиды.

**Key words:** electro slag casting, technology, castings, forging, sulfides.

Важным направлением повышения эффективности машиностроения является развитие и совершенствование заготовительного производства. Решение этой задачи требует создания прогрессивных технологических процессов изготовления заготовок деталей ответственного назначения и является актуальным. Качество готовых металлических изделий, их надежность и долговечность в эксплуатации определяются качеством исходного слитка, т. е. степенью его физической и химической однородности и содержанием вредных примесей.

В настоящее время крупные прессовые и молотовые штампы горячей штамповки в машиностроении часто изготавливают из ковального металла. Эта технология имеет ряд недостатков [1]: низкое качество заготовок, выплавленных в открытых сталеплавильных агрегатах; повышение анизотропии механических свойств стали при горячей пластической деформации, особенно при увеличении степени уюка; удаление качественного поверхностного слоя заготовки при механообработке; использование дефицитного кузнечно-прессового оборудования; большие припуски заготовок (от 30 мм – на небольших штампах, до 100-200 мм – на крупных). Низкая стойкость штампов приводит к частым остановкам высокопроизводительного кузнечно-прессового оборудования, расходу дорогостоящих штамповых сталей и большим затратам времени на изготовление и переналадку инструмента.

Барабаны моталок листовых и полосовых станов холодной и горячей прокатки являются быстройзнашивающимися узлами. По известной технологии их изготавливают из кузнечных слитков путемковки на прессах. Одна из причин трудоемкости обработки секторов барабана моталки – применение поковок, массой в 1,5-3 раза выше массы готовых деталей, а также низкая технологичность конструкции. Возникает необходимость разработки технологии получения заготовки, обеспечивающей минимальные припуски на механообработку. Задача может быть успешно решена применением электрошлакового литья (ЭШЛ) заготовок секторов барабана.

Для повышения стойкости и экономичности штампового инструмента все более широкое применение находит электрошлаковый переплав (ЭШП) с использованием электродов перекованных в прутки отходов штамповых сталей [2]. Кроме экономии металла и станко-часов на механообработку это техническое решение позволяет дополнительно повысить качество штампов за счет более благоприятно направленной кристаллизации [2] и увеличить их стойкость в 1,2-1,5 раза по отношению к штампам из ковального металла открытой выплавки. Применение твердого старта возможно только при работе на печах монофилярного типа. При работе на печах бифилярного и трехфазного типа начало электрошлакового процесса осуществляется в основном на «жидком» старте путем сифонной заливки расплавленного за пределами печи шлака в кристаллизатор [1]. При таком способе старта устойчивый процесс ЭШП достигается за меньший промежуток времени, чем при других известных

способах. Однако, трудоемкость выплавки заготовок в печах ЭШП с использованием «жидкого» старта с учетом времени расплавления рабочего флюса во флюсоплавильных печах (увеличиваются затраты электроэнергии на расплавление рабочего флюса) значительно выше «твердого» старта.

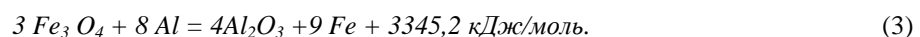
Наибольшее распространение экзотермические смеси получили в металлургии при рафинировании металла в процессе разливки [3, 4]. Сами по себе такие смеси не образуют жидкого шлака. Расход самоплавящихся флюсов обычно невелик и не превышает 2 % от массы рабочего флюса, т.е. основная роль таких флюсов заключается в обеспечении начала расплавления рабочего флюса путем образования шлаковой ванны с объемом, позволяющим переход в бездуговой процесс. При этом на полное расплавление рабочего флюса уходит значительное количество времени, в результате чего снижается производительность печи и качество донной части слитка.

Исследования образцов литого (ЭШП) металла штампов [3, 5] на горячий износ, разгаростойкость, горячую твердость (показатели, определяющие стойкость стали) и другие характеристики, показали, что литой металл ЭШП превосходит кованный открытых способов выплавки.

Для проведения исследований и отработки технологии ЭШЛ штамповых кубиков разработан сборно-разборный опытно-промышленный кристаллизатор, состоящий из цельносварных стальных панелей (180×800 мм). Заданные размеры штамповых кубиков достигаются набором различного количества панелей.

Метод ЭШП расходуемого электрода в фасонном охлаждаемом кристаллизаторе получил название электрошлакового литья (ЭШЛ) [6]. По технологическим схемам ЭШЛ можно получать заготовки различных изделий [7, 8], при этом проявляются преимущества ЭШЛ по сравнению с обычным литьем или ковкой, значительно повышается коэффициент использования металла.

Проведенные исследования [7, 8] показали возможность применения разработанного способа старта с использованием экзотермических флюсов, обеспечивающих заданный химический состав металла. При этом увеличивается выход годного металла за счет использования восстановленного из окалины железа (до 70 % от массы окалины), которое оседает на поддон или затравку и образует донную часть слитка. При введении в состав экзотермического флюса легирующих элементов в виде ферросплавов или порошков происходит легирование восстановленного железа. Для полного расплавления вводимых в состав флюса легирующих элементов необходимо затратить соответствующее количество тепла. Таким дополнительным источником тепла является теплота, выделяемая при взаимодействии (в основном) оксидов железа с алюминием по реакциям:



ЭШЛ крупных заготовок осуществляется на печах бифилярного или трехфазного типа с использованием только "жидкого" старта путем сифонной заливки расплавленного за пределами печи шлака в нижнюю часть кармана (при электрошлаковой сварке), кристаллизатора (при электрошлаковом переплаве) или тигля (при электрошлаковом кокильном литье). Однако трудоемкость выплавки заготовки с учетом времени расплавления флюса во флюсоплавильных печах значительно выше по сравнению с "твердым" стартом, и потери металла донной части слитка, идущего в обрезь, составляют от 5 до 10 % от массы слитка [6]. Недостатки указанных способов наведения шлаковой ванны необходимого объема могут быть устранены разработанным способом ЭШП [8].

Целью данной работы является разработка технологии и оснастки для ЭШЛ заготовок секторов барабанов моталок и штамповых кубиков на «твердом» старте с использованием экзотермических флюсов. В работе исследовали влияние экзотермического флюса в виде механической металлофлюсовой смеси окалины, алюминиевого порошка, легирующих элементов в виде ферросплавов или порошков и рабочего флюса (АНФ-6 или др.).

Для моделирования, исследования и отработки технологии ЭШЛ заготовок секторов барабанов моталок использовался медный водоохлаждаемый кристаллизатор Ø 230 мм, соответствующий максимальному размеру заготовки сектора барабана моталки Ø 850 мм с учетом припусков на термо- и механообработку. Для исследования качества литой электрошлаковой стали 20Х3МВФ в сравнении с кованой открытой выплавки, производилось ЭШЛ заготовки Ø 225 мм и длиной 425 мм по схеме (рис. 1). Для ЭШЛ заготовки из стали 20Х3МВФ использовались литые расходуемые электроды из этой стали Ø 150 мм и длиной 2150 мм.



Рис. 1. Схема изготовления заготовок сектора барабана моталки рекомендуемым способом ЭШЛ (а) и сравнительные данные (по массе заготовок) секторов барабанов моталок (б), полученных методамиковки (1) и ЭШЛ (2): масса слитка для 2-х поковок – 3250 кг; масса поковки – 1100 кг, масса ЭШЛ отливки – 400кг

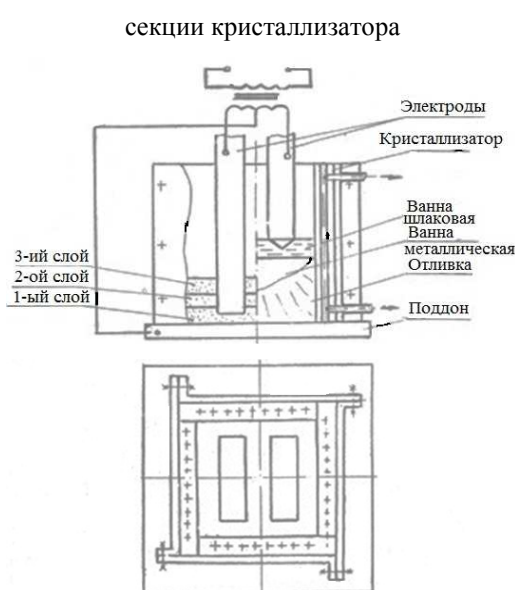


Рис. 2. Схема ЭШЛ штамповых кубиков по бифилярной схеме на «твердом» старте

Для моделирования и отработки технологии ЭШЛ заготовок штамповых кубиков разработан сборно-разборный медный водоохлаждаемый кристаллизатор, состоящий из панелей 180x800 мм, что позволяет выполнять заданные размеры штамповых кубиков (до 650x650x450 мм) массой до 1,5 т, с учетом припусков на термо- и механообработку набором различного количества панелей (рис. 2).

В качестве расходных электродов использовали катаные заготовки 80x200 мм длиной 2150 мм из стали 5ХНМ, а также поковки из стали 5ХНМ 2000x80 мм и стали 20Х3МВФ 90x90 мм с уклоном 2. Рабочий флюс прокаливали при температуре 873 К в течение 2 ч. Шлаковая ванна в процессе ЭШЛ не раскислялась. Подпитку отливок в конце плавки выполняли путем 3-кратного изменения силы тока (от 0 до 6-8 кА для стали 5ХНМ и от 0 до 5 кА для стали 20Х3МВФ) в течение 10 мин (табл. 1). После плавки отливки выдерживали в кристаллизаторе до затвердевания шлаковой и металлической ванн, извлекали и загружали в нагретую печь для изотермического отжига. Поверхность литого штампового кубика 330x330x360 мм имела удовлетворительный вид.

Таблица 1

Параметры процесса электрошлакового литья заготовок сектора барабана моталки и штамповых кубиков

№ отливки	Марка стали	Режим плавки			Время плавки, мин	Масса заготовки, кг
		I, кА	U, В	V <sub>ж</sub> , мм/мин		
1	5ХНМ	7,6-8,0	60	10-11	90	314
2	5ХНМ	7,4-7,6	58	10	93	305
3	5ХНМ	7,6-8,0	53	10	86	297
4	20Х3МВФ	4,8-5,0	41	10-11	85	130

Оценку ЭШЛ сталей, по сравнению с коваными обычной выплавки, проводили по критериям: механические свойства образцов ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_t$ ,  $\delta_5$ ,  $\Psi$ , КСУ) вырезанных из различных зон отливок и поковок в продольном и поперечном направлениях; химический состав, содержание газов и неметаллических включений в металле; усталостная выносливость (образцы для стали 20Х3МВФ – по ГОСТ 2860-65; для стали 5ХНМ - по методике [10]). Для определения влияния ЭШП на химический состав сталей 20Х3МВФ и 5ХНМ из отливок при изготовлении образцов на статическое растяжение брали стружку по сечению и высоте. ЭШЛ металл переплавляемых электродов и отливок (табл. 2) характеризуется высокой однородностью по высоте.

Таблица 2

Химический состав исследуемых сталей

Наименование заготовки		Содержание элементов, %								
		C	Mn	Cr	Mo	V	W	Ni	S	P
Электрод		0,25	0,62	2,90	0,45	0,75	0,42	0,12	0,025	0,012
Сектор барабана моталки	низ	0,24	0,65	3,24	0,53	0,72	0,40	–	0,012	0,011
	середина	0,23	0,44	3,08	0,51	0,71	0,42	–	0,010	0,012
	верх	0,23	0,59	2,96	0,49	0,72	0,42	–	0,009	0,011
Электрод		0,55	0,60	0,55	0,16	–	–	1,64	0,019	0,019
Штамповый кубик	низ	0,58	0,64	0,60	0,17	–	–	1,62	0,009	0,020
	середина	0,56	0,65	0,56	0,18	–	–	1,66	0,012	0,018
	верх	0,553	0,62	0,53	0,17	–	–	1,62	0,009	0,017

Отличие содержания элементов в электроде и отливках незначительно и находится в пределах марочного состава сталей. В целом химический состав ЭШП сталей удовлетворяет требованиям ГОСТ20072-74 (20Х3МВФ) и ГОСТ5950-73 (5ХНМ). Для анализа содержания газов (методом вакуум-плавки на установке конструкции ЦНИИТмаш) образцы изготавливали из одинаковых зон литых и кованных заготовок. Из табл. 3 следует, что литые стали содержат меньшее количество газов, чем кованные.

Таблица 3

Газовый состав исследуемых сталей

Вид заготовки	Место отбора	Содержание газов						
		CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Всего	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
Кованая сталь 20Х3МВФ	низ	1,38	4,69	3,71	9,78	0,0009	0,0058	0,00038
	верх	1,32	4,47	3,52	9,31	0,0009	0,0056	0,00031
Литая сталь 20Х3МВФ	низ	2,12	4,50	1,87	8,49	0,0015	0,0050	0,00016
	середина	1,70	4,46	1,96	8,12	0,0012	0,0055	0,0017
	верх	1,29	3,76	2,30	7,55	0,0009	0,0047	0,00020
Кованая сталь 5ХНМ	низ	3,45	5,09	2,10	10,64	0,0025	0,063	0,00018
	верх	2,40	4,77	3,21	10,38	0,0017	0,0059	0,00028
Литая сталь 5ХНМ	низ	1,72	5,10	1,25	8,07	0,00012	0,0063	0,00016
	середина	1,87	5,11	2,37	9,35	0,0013	0,0063	0,00020
	верх	0,95	5,79	1,56	8,30	0,0007	0,0072	0,00016

Повышение качества штамповых сталей путем ЭШП связано с повышением их чистоты, снижением неметаллических включений, резким снижением зональной и дендритной неоднородности [6]. При этом увеличиваются ударная вязкость, относительное удлинение и сужение, выносливость, термостойкость.

Образцы для исследования механических свойств сталей 5ХНМ и 20Х3МВФ изготавливали из темплетов литых и кованных заготовок. Термообработка: для стали 5ХНМ – закалка в масле при 1150 К и отпуск при 680 К; для стали 20Х3МВФ – закалка в масле при 1330 К и отпуск при 940 К. Из табл. 4 следует, что ударная вязкость продольных образцов выше, а поперечных образцов кованных заготовок ниже, чем образцов ЭШЛ штампового кубика. Металл ЭШП удовлетворя-

ет требованиям к секторам барабанов моталок. Литой металл ЭШП из стали 5ХНМ удовлетворяет требованиям к штамповым сталям. Ударная вязкость образцов ЭШЛ стали высокая и находится на уровне результатов других исследований [8].

Исследования микроструктуры стали 20Х3МВ показали (табл. 5), что загрязненность сульфидами и оксидами литого металла ЭШП значительно ниже, чем у ковального металла индукционной выплавки. Сульфидные включения у ковальной стали более крупные, оксиды по величине одного порядка, но количество их вдвое больше.

Таблица 4

Механические свойства исследуемых сталей (температура испытания 673 К)

Наименование заготовки	Показатели механических свойств					Примечание
	$\sigma_{в}$ , МПа	$\sigma_{т}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, КДж/м <sup>2</sup>	
Сектор барабана моталки (20Х3МВФ)	942	873	13,3	51,2	123	Продольные
	953	824	13,7	55,4	120	
	991	942	14,0	57,0	118	
	903	834	12,9	49,0	105	Поперечные
ГОСТ 20072-74	740	670	9,5	33,0	85	
Литой штамповый кубик (5ХНМ)	1089	1079	12,3	57,4	184	Продольные
	1096	1085	11,3	54,4	196	
	1088	1078	9,3	60,2	233	
	954	929	10,7	48,8	226	Поперечные
ГОСТ 5950-73	850	750	10,0	–	–	

Таблица 5

Содержание неметаллических включений в литой и ковальной заготовках

Место отбора образцов		Содержание неметаллических включений, %	
		Сульфиды	Оксиды
Сталь 5ХНМ			
Низ отливки	Поверхность	0,01641	0,005565
	Центр	0,0101	0,000976
Середина отливки	Поверхность	0,01675	0,005967
	Центр	0,01090	0,009983
Верх отливки	Поверхность	0,012507	0,007860
	Центр	0,01922	0,008549
Кованая заготовка 5ХНМ		0,02857	0,011016
Литая сталь 20Х3МВФ		0,075104	0,014803
Кованая сталь 20Х3МВФ		0,247401	0,028515

Испытания на выносливость выполнялись по схеме симметричного чистого изгиба методом полнобазных ступенчатых перегрузок на машине УП-20 конструкции ЦНИИТмаш на образцах  $\varnothing$  24 мм из продольных темплетов штамповых кубиков после термообработки (по режимам образцов на статическое растяжение и ударный изгиб): закалка в масле при 1150 К и отпуск при 680 К [8]. Из табл. 6 следует, что литой электрошлаковый металл обладает высокой изотропностью по пределу выносливости.

Таблица 6

Усталостная прочность стали 5ХНМ (продольные образцы)

Вид заготовки	Место отбора образцов	Предел выносливости $\sigma^{-1}$ , МПа
Поковка (металл открытой выплавки, уков 8)	Поверхность	380
	Центр	300
Штамповый кубик (ЭШЛ)	Поверхность	300
	Центр	285

Выводы:

1. Подтверждена эффективность ЭШЛ при изготовлении литых заготовок.
2. Доказано, что ЭШЛ обеспечивает получение качественных отливок с минимальными припусками на механообработку.
3. Доказана целесообразность применения твердого старта с применением экзотермического флюса в начальный период наведения шлаковой ванны необходимого объема при ЭШЛ.
4. Экспериментально установлено, что электрошлаковые отливки заготовок барабанов моталки характеризуются бездефектной поверхностью с выходом годного до 85 %, стабильным по сечению химическим составом, низким содержанием газов и неметаллических включений.
5. Прочностные ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_T$ ) и пластические ( $\delta$ ,  $\psi$ , КСУ) характеристики ЭШЛ стали 5ХНМ при температуре испытания 673 К выше, чем кованого металла открытой выплавки соответственно на 12-18 % и 10-23 %.
6. Прочностные ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_T$ ) и пластические ( $\delta$ ,  $\psi$ , КСУ) характеристики ЭШЛ стали 20ХЗМВФ при температуре испытания 673 К выше чем кованого металла открытой выплавки соответственно на 21-32 % и 20-40 %.
7. Содержание газов в ЭШЛ сталях 5ХНМ и 20ХЗМВФ, по сравнению с коваными открытой выплавки, ниже на 5-15 %.
8. Объемный процент загрязненности сульфидами и оксидами кованого металла из сталей 5ХНМ и 20ХЗМВФ по сравнению с ЭШЛ металлом выше на 14-25 %.

Список используемых источников:

1. Гринюк, В.С. Производство крупных штамповых заготовок методом ЭШЛ / В.С. Гринюк // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1978. – № 8. – С. 31-38.
2. Кубарев Б.И. Изготовление деталей методом ЭШП и ЭШЛ / Б.И. Кубарев, В.В. Шапаров // Информационный листок: 007-78, серия 10-05. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ. – 1978.
3. А. с. 383530 СССР, МКИ В22Д. Экзотермическая шлакообразующая смесь / А. М. Узненко [и др.]. – № 1682680/22-2; заявлено 09.08.71; опубл. 1973; Бюл. № 24.
4. А. с. 926025 СССР, МКИЗ В22Д. Экзотермическая смесь для рафинирования металла / Н.Ф. Парахин [и др.] (СССР). – № 2966952/22-2; заявлено 29.07.80; опубл.1982; Бюл 17.
5. Коваль, А.К. Влияние способов дегазации флюса и защиты плавильного пространства на поведение водорода при ЭШП / А.К. Коваль, К.К. Лямцев // Проблемы специальной металлургии. – 1979. – № 11. – С. 13-19.
6. Патон Б.Е. Электрошлаковый металл / Б.Е. Патон, Б.И. Медовар. –Киев: Наукова думка. – 1981. – 680 с.
7. Власов, А.Ф. Экзотермические смеси и флюсы в сварочном и металлургическом производствах: монография / А.Ф. Власов, В.В. Чигарев, Н.А. Макаренко. – Краматорск: ДГМА. – 2015. –367 с. – ISBN 978-966-379-752-6.
8. Макаренко, Н.А. Исследование и разработка составов экзотермических флюсов для электрошлаковых процессов / Н.А. Макаренко, А.Ф. Власов, Д.А. Волков, А.М. Куший // Современная электрометаллургия. – Киев. – 2015. – № 2. – С. 10-16.
9. А.с. 1533346 СССР. SU A1. C22 В 9/18. Способ старта электрошлакового переплава /А.Ф. Власов и др. (СССР). Заявл.16.02.88, не публ.
10. Школьник, Л.М. Методика усталостных испытаний / Л.М. Школьник – Справочник, М.: Металлургия. – 1978. – 304с.
11. Южанин, Ж.И. Изготовление заготовок контейнерных втулок со стали 5ХНМ с помощью электрошлакового литья / Ж.И. Южанин, И.Р. Ципунова, А.С. Агафонов // Металловедение и термическая обработка. – 1979. – № 6. – С. 53-55.
12. Кудрявцев, И.В. Усталость крупных деталей машин / И.В. Кудрявцев, Н.Е. Наумченков, Н.М. Саввина. – М.: Машиностроение. – 1981. – 240 с.

## АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СВЕРЛО БТА

А.Б. Ким, Старший преподаватель, Чжу Лянлян, студ.

Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина 30, E-mail: Vogowhich@tpu.ru

**Аннотация:** В данной статье представлен метод расчета сил, действующих на сверло БТА при сверлении. Также приводится расчет сил, действующих на направляющие пластины сверла БТА по исходным экспериментальным данным.

**Abstract:** The given article presents method of calculating forces acting on the BTA drill during drilling. The calculation of the forces acting on the guiding inserts of the BTA drill according to the initial experimental data is also given.

**Keywords:** BTA drill, cutting force, guide pads

**Ключевые слова:** сверло БТА, сила резания, направляющие пластины

Технология БТА является сегодня наиболее распространенной технологией, применяемой для высокоточного и производительного глубокого сверления. Сверла БТА применяют для сверления отверстий диаметром 6...180 мм и более, глубиной более 100D с точностью диаметральных размеров IT7...9, уводом осей отверстий до 0,01...0,03/100 мм и шероховатостью  $Ra \approx 2,5$  мкм. Сверло БТА состоит из сверлильной головки 1 и стебля 2 кольцевого сечения (Рис. 1), к которому головка крепится с помощью наружной или внутренней прямоугольной одно- или четырехзаходной резьбы. Центрирование головки в стебле осуществляется по двум посадочным поясам, выполненным в стебле и на хвостовике сверлильной головки по посадке H7/f7. При сверлении СОЖ в зону резания подается под давлением через маслоприемник 3 в кольцевой зазор между стеблем и обработанным отверстием, а стружка отводится внутри стебля.[1]

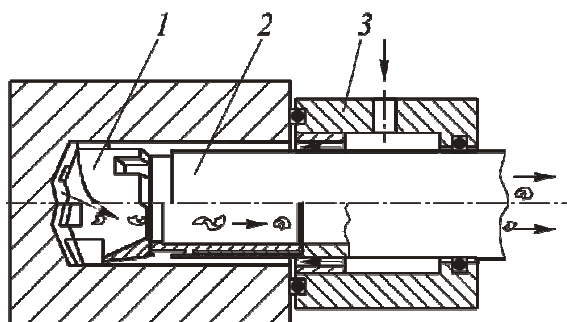


Рис. 1. Схема обработки глубокого отверстия сверлом БТА:  
1- сверлильная головка; 2-стебель; 3-маслоприемник

Зная величины сил, действующих на режущие пластины, можно рассчитать величину и направление действия результирующей силы резания, а также силы реакции опоры, возникающие на направляющих пластинах сверлильной головки БТА, что позволит спроектировать инструмент с лучшими режущими свойствами и большей стойкостью как режущих, так и направляющих СМП.

В таблице 1 представлены результаты измерения составляющих силы резания, действующих на отдельных участках режущих кромок, расположенных на разных радиусах R сверла БТА. Режим сверления: скорость резания  $V=100$  м/мин, скорость подачи  $s=0,1$  мм/об.

На рис. 2 показана упрощенная система сил, действующих в поперечном сечении головки БТА [2]. Силы, действующие на сверло БТА, представляют в виде двух сил, приложенных в центре головки, – горизонтальной  $F_{hor}$  и вертикальной  $F_{ver}$ , а также крутящего момента резания  $M_s$ :

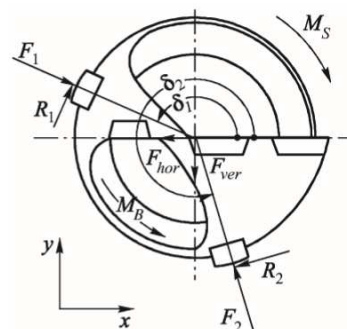


Рис. 2. Упрощенная система сил, действующих в поперечном сечении многолезвийной сверлильной головки БТА

$$F_{hor} = R_1 \sin \delta_1 + R_2 \sin \delta_2 - F_1 \cos \delta_1 - F_2 \cos \delta_2; \quad (1)$$

$$F_{hor} = R_1 \sin \delta_1 + R_2 \sin \delta_2 - F_1 \cos \delta_1 - F_2 \cos \delta_2; \quad (2)$$

$$M_B = M_s + R_1 r_N + R_2 r_N. \quad (3)$$

Таблица 1

:R, мм	Радиальная составляющая P <sub>y</sub> , Н	Осевая составляющая P <sub>x</sub> , Н	Тангенциальная составляющая P <sub>z</sub> , Н
14	39,8	192,7	293,7
13	27,7	174	286
12	31,9	162,5	276,1
11	28	152,4	257,4
10	31,8	169,5	273,1
8	16,2	169,3	263,3
7	6,2	153,2	281,1
6	3,4	171,8	282,6
4	9,4	181,4	275
3	34,8	103,2	217,8
2	45,7	119,4	267,8
1	19,7	113	232

Используя экспериментальные данные, рассчитываются составляющие силы резания, действующие на периферийную, промежуточную и центральную режущие пластины, по которым рассчитываются горизонтальная и вертикальная силы  $F_{hor}$  и  $F_{ver}$ .

Силы, действующие на периферийную режущую пластину:

$$F_{y1} = 213,6\text{Н}; F_{x1} = 1265,6\text{Н}; F_{z1} = 1975\text{Н}$$

Силы, действующие на промежуточную режущую пластину:

$$F_{y3} = 25,8\text{Н}; F_{x3} = 640,2\text{Н}; F_{z3} = -930,8\text{Н}$$

Силы, действующие на центральную режущую пластину:

$$F_{y2} = -51,4\text{Н}; F_{x2} = 517\text{Н}; F_{z2} = 992,6\text{Н}.$$

Далее рассчитываются горизонтальная и вертикальная силы:

$$F_{гор} = F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} = 213,6 - 51,4 + 25,8 = 188\text{Н};$$

$$F_{верт} = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} = 1975 + 992,6 - 930,8 = 2036,8\text{Н}.$$

Результирующая сила резания рассчитывается следующим образом:

$$R = \sqrt{F_{гор}^2 + F_{верт}^2} = \sqrt{188^2 + 2036,8^2} = 2045,5\text{Н}$$

Угол действия результирующей силы резания будет составлять:

$$\alpha = 180^\circ + \beta = 180^\circ + 84^\circ = 264^\circ,$$

где угол  $\beta$  рассчитывается как:  $\beta = \arctan \frac{F_{верт}}{F_{гор}} = \frac{2036,8}{188} = 84^\circ.$



Реакции опоры нужно рассчитывать как векторные величины, при этом должны удовлетворяться следующие условия:

$$\begin{aligned}\sum F(x) &= 0; \\ \sum F(y) &= 0.\end{aligned}$$

В рассматриваемом случае угол  $\delta_1 = 180^\circ$ ;  $\delta_2 = 285^\circ$ , тогда:

$$\begin{aligned}\sum F(x) &= N_1 - N_2 \sin(\delta_2 - 270^\circ) \sin(\delta_2 - 270^\circ) - R \cos(\alpha - \delta_1) = 0; \\ \sum F(y) &= N_2 \cos(\delta_2 - 270^\circ) - R \sin(\alpha - \delta_1) = 0.\end{aligned}$$

Отсюда  $N_1 = 759$  Н,  $N_2 = 2106$  Н.

Из результата анализа сил, действующих на сверло БТА следует, что сила реакции опоры  $N_2$  значительно больше силы реакции опоры  $N_1$ . Это будет приводить к тому, что вторая направляющая пластина будет быстрее изнашиваться и, соответственно, быстрее ломаться. Поэтому надо обратить внимание на решение этой проблемы при проектировании корпуса сверла БТА путем изменения положения режущих и направляющих пластин, а именно изменения их углового и радиального положения. Так, например, при одновременном смещении центральной СМП по радиусу на 1 мм к оси сверла и ее повороте на  $5^\circ$ , а также повороте центральной СМП на  $3^\circ$  (см. рис.3) нормальные силы, действующие на направляющие пластины, изменятся следующим образом.

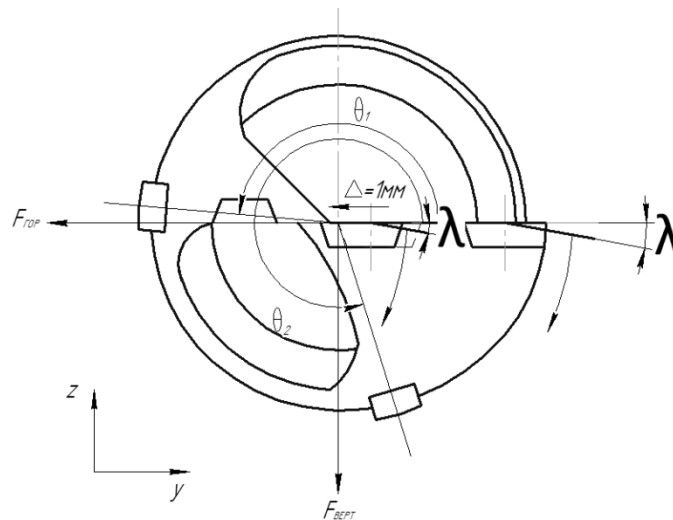


Рис.3. Изменение положения центральной и периферийной СМП

Силы  $F_{z1}$  и  $F_{y1}$ , действующие на периферийную режущую пластину составят:

$$\begin{aligned}F_{z1} &= 1948,7 \text{ Н}; \\ F_{y1} &= 348,9 \text{ Н}.\end{aligned}$$

Силы  $F_{z2}$  и  $F_{y2}$ , действующие на центральную режущую пластину составят:

$$\begin{aligned}F_{z2} &= 719,3 \text{ Н}; \\ F_{y2} &= -13,8 \text{ Н}.\end{aligned}$$

$$\sigma = M / W_{x \text{ нетто}}$$

По величинам вышеуказанных сил значение результирующей силы резания  $R$  составит 1506 Н, угол действия результирующей силы резания  $\alpha$  будет равен  $256^\circ$ , а силы реакции опоры  $N_1$  и  $N_2$  составят 756 Н и 1513 Н соответственно.

Как видно соотношение нормальных сил, действующих на выглаживающих поверхностях направляющих пластин, уменьшится с 1:3 до 1:2, а значит отношение скорости износа 1-ой направляющей пластины к скорости износа 2-ой направляющей пластины также уменьшится.

Таким образом, зная расположение режущих и направляющих пластин, а также величину удельной силы резания, действующей на единичной длине режущих кромок сверла БТА, и используя методику, изложенную выше, можно проектировать сверла БТА более высокой работоспособности.

Список используемых источников:

1. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Б87 Обработка глубоких отверстий в машиностроении: справочник / под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2010. 344 с.: ил. ISBN 978-5-94275-521-8
2. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / под. Общ. Ред. С.В. Кирсанова.-4-е изд., перераб. и доп. – Машиностроение, 2014.-520 с.: ил. ISBN 978-5-94275-713-7

## ПОЛУЧЕНИЕ ПРОБ НАПЛАВЛЯЕМОГО МЕТАЛЛА ДУГОЙ КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

*В.П. Сидоров, д.т.н., проф.*

*Тольяттинский государственный университет*

*445020, г.Тольятти, ул. Белорусская, 14*

*E-mail: Vladimir.sidorov.2012@list.ru*

**Аннотация:** Приводятся результаты использования дуги косвенного действия для получения проб для спектрального анализа содержания легирующих элементов в наплавляемом металле. Пробу получали наплавкой покрытыми электродами на массивную медную пластину. Для экспериментов использовали электроды для сварки теплоустойчивых сталей. Содержание элементов в пробе от дуги косвенного действия хорошо совпадает с их содержанием в пятислойной наплавке. Показано, что доли участия основного металла в шве однослойной наплавки, рассчитанные по трем основным легирующим элементам, также хорошо совпадают. Влияние основного металла на металлургические реакции в сварочной ванне незначительно. Это открывает перспективу определения соответствия содержания легирующих элементов в наплавляемом металле по результатам однослойной наплавки на пластину. Для этого необходимо расчетное определение площади поперечного сечения основного металла с помощью теории тепловых процессов сварки с применением измерения размеров шва.

**Abstract:** This paper shows the results of using a non-transferred arc to obtain samples for spectral analysis of the content of alloying elements in filler metal. The sample was obtained by cladding with coated electrodes to a massive copper plate. For these experiments we used electrodes for the welding of heat-resistant steel. The content of element in the sample from non-transferred arc coincides with their content in five-layers cladding. It is shown that the participation fractions of the base metal in the weld of single-layer cladding, calculated on the basis of three main alloying elements, also coincide well. The influence of the base metal on metallurgical reactions in a welding pool is negligible. It gives the prospect to determine the correspondence of alloying elements content in filler metal upon the results of a single-layer cladding on the plate. To do this, it is necessary to calculate a cross-section area of the base metal with a help of a theory for thermal welding processes using weld size measurements.

**Ключевые слова:** сварочная дуга, наплавка, проба, спектральный анализ, площадь проплавления.

**Keywords:** welding arc, cladding, sample, spectral analysis, melting area.

Введение. С развитием сварки возрастает потребность в точном определении содержания легирующих элементов в наплавляемом металле и сварном шве. В работе [1] показано, что отечественный терминологический стандарт [2] не дает четкого определения наплавленного металла. Стандарт ИСО 25901-1, принимаемый в РФ в настоящее время [3], определяет наплавленный металл, как металл шва, за минусом основного металла (deposited metal). Такой металл шва целесообразно называть дополнительным [1]. Это условный сплав, химический состав которого можно определить только расчетом. В отличие от него в [3] рассматривается и поступающий в шов металл в процессе сварки (all-weld metal), который в отечественных нормативных документах принято называть наплавленным, но более точно было бы называть наплавляемым. Химический состав наплавляемого металла может быть определен на его пробах.

Известные методы получения проб наплавляемого металла требуют исключения его взаимодействия с основным металлом. Для этого используют многослойную наплавку [4-6] или наплавку дугой прямого действия в медную форму [7]. Первые способы получения проб весьма ресурсоемки, а второй приводит к взаимодействию дуги с медной формой и ее быстрому износу. Поэтому необходимо оценить возможность применения для этих целей дуги косвенного действия и однослойной наплавки, что может снизить затраты на получение проб и увеличить объем анализов, что является актуальным.

В настоящее время на рынке предлагается большой выбор приборов для спектрального анализа химического состава металла, в том числе для использования непосредственно в цеховых условиях на производственных изделиях. Это создает новые возможности по исследованию степени неоднородности химического состава сварных швов, предпосылки для управления ими с достаточно высокой точностью.

Методика исследований. Проводили ряд опытов с дугой косвенного действия по получению проб для использования спектральных методов анализа. В качестве подложки вначале была опробована пластина из технического алюминия, а в качестве электродов использовали электроды марки УОНИ-13/45 диаметром  $d=3,0$  мм. Эти опыты не дали положительных результатов. Не удалось получить компактную массу стальной пробы, так как капли электродного металла затвердевали по отдельности и приваривались к алюминию.

Положительные результаты были получены при использовании в качестве подложки медной пластины толщиной 20 мм. Наплавку производили электродами марки ТМЛ-1У (тип Э-09Х1М по ГОСТ 9467 [4] для сварки теплоустойчивых сталей). Требования к химическому составу наплавляемого (наплавленного) металла приведены в табл.1. Для сравнения можно рассмотреть данные одного из сертификатов на электроды ТМЛ-1У производителя ЗАО «Электродный завод» г. С-Петербург. Специальными легирующими элементами для этого типа электродов являются хром и молибден. В табл. 1 рассчитано среднее содержание элементов из допустимого диапазона  $C_c$ , отклонения граничных значений от среднего  $\Delta C_c$  и относительные отклонения содержаний по сертификату от средних значений диапазона  $(C_e - C_c)/C_c$ .

Относительная разница  $\Delta C_c$  между граничными и средними значениями содержаний элементов варьируется от 20% до 45,5% при среднем значении для пяти элементов около 31%. Относительные отклонения данных по сертификату от средних значений по ГОСТ (последняя строка табл.1) изменяются от -7% до +33%. Большинство таких отклонений положительны, то есть данные сертификата в основном больше, чем средние значения по ГОСТ. Данный показатель для всех пяти специальных легирующих элементов лучше характеризовать средним алгебраическим отклонением, которое составляет +14%. Аналогичная картина получена для электродов марки ЦЛ-11 для сварки высоколегированных сталей [8,9] – средний диапазон варьирования по 5 элементам около 29%, а относительные отклонения данных сертификата по отношению к средним значениям составляют 15%, только в меньшую сторону.

Таблица 1

Содержание элементов в наплавке ТМЛ-1У по сертификату качества и требования ГОСТ, % [4]

Элемент	C	Si	Mn	Cr	Mo	S<	P<
$C_e$	0,113	0,256	0,707	1,20	0,675	0,0043	0,018
ГОСТ 9467	0,06-0,12	0,15-0,4	0,5-0,9	0,8-1,2	0,4-0,7	0,025	0,035
$C_c$	0,09	0,275	0,7	1,0	0,55	0,0125	0,0175
$\Delta C_c$	33	45,5	28,6	20	27,3	-	-
$(C_e - C_c)/C_c$	+33	-7	+1	+20	+23	-56	+3

На основании анализа требований ГОСТ и данных сертификатов можно отметить, что требования к высокой точности спектрального анализа, приведенные в [3], являются, по-видимому, избыточными.

В опытах с дугой косвенного действия электроды ТМЛ-1У диаметром  $d=3$  мм подключали к сварочному источнику питания постоянного тока для ручной сварки «Форсаж 315АД». Ток дуги составлял  $I=100$  А. При этом скорость плавления положительного электрода на 10-15% выше, чем отрицательного [10], что не влияет, в соответствии с формулой смешения, на содержание наплавляемого металла. Расплавление двух электродов, которые располагались под углом  $45^\circ$ , короткой дугой с поперечными колебаниями производил квалифицированный аттестованный в системе

НАКС сварщик шестого разряда. Один из электродов закреплялся неподвижно и располагался горизонтально над медной пластиной, а второй перемещался сварщиком.

Результаты и их обсуждение. На медной пластине получили пробы габаритами 30×12 мм и массой примерно 15 г. Для установок с высокочастотным искровым разрядом допускаются пробы 1,0 г, для лазерных 0,2 г [11]. Параллельно теми же электродами на токе 100 А были выполнены одно-, двух- и пятислойные наплавки на пластину из стали 20. Химический состав полученной дугой косвенного действия пробы и швов после механической зачистки определялся на рентгенофлуоресцентном анализаторе X-MET 5000 [12] (табл. 2).

При анализе относительных изменений  $\Delta$  содержания элементов в различных пробах за базовое значение принималось содержание в пятислойной наплавке, которое при спектральных методах анализа можно считать эквивалентным определению в восьмислойной наплавке при использовании обычного химического анализа путем отбора стружки из трех верхних слоев наплавки [11].

Таблица 2

Содержание легирующих элементов в швах, %

Элемент	Один слой	Два слоя	Пять слоев	Дуга косвенного действия	Требования ГОСТ 9467
Cr	0,836	0,985	1,030	1,101	0,8-1,2
$\Delta$ , %	-18,8	-4,4	0	+6,9	
Mo	0,351	0,417	0,430	0,445	0,4-0,7
$\Delta$ , %	-18,4	-3,0	0	+3,5	
Mn	0,642	0,755	0,792	0,708	0,5-0,9
$\Delta$ , %	-18,9	-4,7	0	-10,6	
Cr+Mo+Mn	1,829	2,157	2,252	2,254	1,7-2,8
$\Delta$ , %	-18,8	-4,4	0	0	
Si	0,242	*	*	*	0,15-0,40
S	0,017	0,276	0,030	0,036	$\leq 0,025$
Ca	0,656	0,316	0,394	0,534	^
Cu	0,252	0,244	0,237	0,324	
Ni	0,096	*	*	0,082	^
Fe	96,909	97,108	97,088	96,77	^

Примечания:  $\Delta$  – относительная разница содержания элементов по сравнению с пятислойной наплавкой; \* – отсутствие измерений; ^ – отсутствие требований.

Содержание всех легирующих элементов в различных вариантах пробы от дуги косвенного действия, за исключением серы, близко к содержанию в пятислойной наплавке и укладывается в требования к содержанию наплавленного металла по ГОСТ 9467 (табл.2). Среднее отклонение абсолютных величин относительных отклонений (САО)  $\Delta=7,0\%$ . Наибольшее по абсолютной величине относительное отклонение присуще наиболее легкоплавкому марганцу, а наименьшее – наиболее тугоплавкому молибдену. Суммарное содержание трех основных легирующих элементов (Cr+Mo+Mn) для двух методов получения проб практически совпало. Такой результат, возможно, связан с тем, что при определении содержания элементов спектральными методами из-за неоднородности распределения элементов, измерения необходимо производить не в одной, а в нескольких точках пробы. Суммарное содержание трех элементов дало такую хорошую сходимость, потому что, по-видимому, в таком случае компенсируются погрешности, связанные с неоднородностью содержания каждого элемента в отдельности.

Причины повышенного содержания вредной примеси серы во всех пробах, кроме однослойной наплавки, требует специального исследования.

Однослойному и двухслойному швам присуща очень высокая сходимость относительных отклонений по трем основным легирующим элементам от пятислойной наплавки. Это свидетельствует о том, что такие швы вполне могут использоваться для определения содержания элементов в наплавленном металле. Из трех элементов только у молибдена содержание в однослойной наплавке меньше, чем требования ГОСТ, но это обусловлено низким его содержанием в пятислойной наплавке.

Содержание любого элемента в условном наплавленном сплаве (добавленном металле) [1] первого слоя сварного шва  $C_d$  можно определить на основе формулы смешения [7].

$$C_d = \frac{(C_s - C_o \psi_o)}{(1 - \psi_o)}, \quad (1)$$

где  $C_s$  – содержание элемента в сварном шве, %,  $C_o$  – содержание элемента в основном металле, %,  $\psi_o$  – доля участия основного металла в металле сварного шва, определяемая по соотношению площадей поперечного сечения проплавления основного металла и всего шва.

Из формулы (1) следует, что определение  $C_d$  не представляет труда, если известна  $\psi_o$ , так как определение содержания элементов в шве и основном металле спектральными методами не представляет затруднений даже на производственных изделиях.

Долю участия  $\psi_o$  можно с высокой точностью определить по макрошлифу сварного шва, если известна масса наплавленного металла. В свою очередь, эту массу легко измерить взвешиванием образца до и после сварки. Однако полученное значение не будет характеризовать среднее значение  $\psi_o$  для всего шва, которое может изменяться в пределах, зависящих от отклонений параметров сборки и сварки по длине шва.

В случае отсутствия влияния основного металла на протекание металлургических реакций при образовании сварного шва, содержание элементов в дополнительном металле  $C_d$  совпадало бы с его содержанием  $C_n$  в наплавленном металле. Высокая сходимость относительных отклонений содержания в первом и втором слоях шва для трех элементов как раз и свидетельствуют о небольшом влиянии основного металла в данном случае. Поэтому для оценки содержания  $C_n$  в наплавленном металле по итогам одно или двухслойной наплавки необходимо знать средние сечения проплавления и наплавки по длине шва. Для этого следует использовать расчетное определение указанных площадей.

Точность определения площади поперечного сечения проплавления основного металла на основе теории тепловых процессов сварки [13-15] также ограничена и ее можно оценить на данном этапе для автоматической дуговой сварки плавящимся электродом в  $\pm 10\%$ . Более высокую точность определения площади проплавления основного металла при наплавке на пластину, оцениваемую в  $\pm 5\%$ , можно обеспечить при использовании расчетно-экспериментального подхода, при котором ряд коэффициентов математической модели определяется на основе замеров размеров шва [16].

Учитывая, что при наплавке однослойных швов можно создать условия, когда доля участия основного металла будет намного меньше доли дополнительного металла, точность определения  $\psi_o \approx \pm 5\%$  будет вполне приемлемой. Погрешность в расчетном определении  $C_d$  будет во столько раз меньше, во сколько раз площадь проплавления основного металла меньше площади сечения шва.

Необходимые условия для достаточно точного расчета площади проплавления основного металла можно создать и при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, обеспечив поддержание стабильной скорости наплавки путем задания длины шва и обеспечения его стабильной ширины, что не представляет проблемы для квалифицированного сварщика [17].

При допущении, что доля основного металла (металла предыдущего слоя в шве) остается постоянной и если пренебречь изменением содержания элементов за счет реакций в сварочной ванне, то содержание элемента в N – слое определяется по формуле [18]

$$C_N \approx C_n - (C_h - C_o) \cdot \psi_o^N, \quad (2)$$

где  $C_h$  – содержание элемента в наплавленном металле (многослойной наплавке или наплавке в медную форму). Разность  $C_d$  в (1) и  $C_n$  в (2) показывает роль указанных допущений.

Для оценки степени соответствия наплавленного и добавленного металлов в каждом из слоев шва можно использовать отношение  $C_N/C_H$  из формулы (2)

$$\frac{C_N}{C_H} \approx 1 - \psi_o^N + \frac{(\psi_o^N C_o)}{C_n} \quad (3)$$

При отсутствии элемента в основном металле ( $C_o=0$ ) формула (3) упрощается

$$\frac{C_N}{C_h} \approx 1 - \psi_o^N \quad (4)$$

С помощью формулы (4) по содержанию хрома и молибдена, которые отсутствовали в основном металле, рассчитывали условную долю участия основного металла в металле однослойного и двухслойного швов (табл. 3). За истинное содержание элемента в наплавляемом металле  $C_n$  принималось его значение в пятислойном шве (табл.2).

Таблица 3

Шов	Расчетная доля участия $\psi_o$		Среднее
	Элемент		
	Хром	Молибден	
Однослойный	0,188	0,184	0,186
Двухслойный	0,209	0,174	0,192

Расхождение доли участия  $\psi_o$  для второго слоя выше, чем для первого, однако совпадение средних значений  $\psi_o$  между двумя слоями хорошее. Это также можно объяснить тем, что при учете нескольких значений замеров спектральными методами получим более точный результат. Среднее значение для первого слоя составляет  $\psi_o=0,186$ . Для последнего значения  $\psi_o$  рассчитывали содержание марганца в дополнительном металле по формуле (1). Содержание марганца в основном металле принимали для стали 20 средним из допустимого диапазона  $C_o=0,27\%$  [19]. Разница между расчетным содержанием марганца в дополнительном металле и средним значением допускаемого диапазона в наплавляемом (наплавленном металле) марганца по требованиям ГОСТ 9467, составляет + 3,5%, а аналогичная разница по пробе от дуги косвенного действия +1,1 %.

Выводы:

Проведенные эксперименты по получению проб наплавляемого металла для спектрального анализа дугой косвенного действия на медной пластине дали положительные результаты и показали перспективность данной методики.

Доли участия основного металла в металле шва в первом и втором слоях наплавленного вручную металла, рассчитанные по двум основным легирующим элементам, хорошо совпадают между собой.

При стандартизации условий дуговой наплавки на пластину по составу условного сплава (дополнительного металла можно определять соответствие содержания легирующих элементов в наплавляемом металле требованиям стандартов.

Список используемых источников:

1. Сидоров В.П. Об определении понятия наплавленного металла / В.П. Сидоров // Сварка. Реновация. Триботехника: матер. IX Уральской науч.-практич. конф. (Н. Тагил, 21 января 2019 г.). Н. Тагил, 2019. – С. 53 -57.
2. ГОСТ 2601-84. Сварка металлов. Термины и определение основных понятий. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 57 с.
3. [tk364.naks.ru/development/standart/detail.php?ID=3467588](http://tk364.naks.ru/development/standart/detail.php?ID=3467588) (Дата обращения 15.07.2019). ГОСТ Р ИСО 25901-1-201. Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 1. Общие термины.
4. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия Типы. М.: Стандартиформ. 2007. – 23 с.
5. <http://allaboutmetallurgy.com/wp/wpcontent/uploads/2016/12/ISO-6847.pdf> (Дата обращения 24.05.2018)/ ISO 6847-2000. Welding consumables — Deposition of a weld metal pad for chemical analysis.
6. РД 03-613-03. Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов / РД 03-613-03. М.: ПИО ОБТ. – 2006. – 30 с.
7. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Редкол.: Г.А. Николаев и др. – М.: Машиностроение, 1978. – т.2 // Под ред. А.И. Акулова. 1978. –462 с.
8. ГОСТ 10052-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 12 с.

9. Чувашова А.В. Электроды для ручной дуговой сварки, применяемые на опасных производственных объектах, подконтрольных Ростехнадзору / А.В. Чувашова. – Ижевск: Изд-во ЗАО «Ижмаш-принт», 2006. – 70 с.
10. Сидоров В.П. Зависимость времени расплавления покрытых электродов от тока дуги // В.П. Сидоров, С.В. Абрамова // Сварочное производство. – 2018. – № 10. – С.14-18.
11. ГОСТ 7122-81. Швы сварные и металл наплавленный. Методы отбора проб для определения химического состава. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. – 6 с.
12. [http://xrsndt.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=41&Itemid=164](http://xrsndt.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=41&Itemid=164) (Дата обращения 29.05.2018). Рентгенофлуоресцентный анализатор X-MET 5000.
13. Коновалов А.В. Теория сварочных процессов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
14. Кархин В.А. Тепловые процессы при сварке / В.А. Кархин. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2015 – 572 с.
15. Цвелев Р.В. Оценка погрешностей воспроизведения температурного поля при сварке под флюсом на основе эквивалентного источника теплоты / Р.В. Цвелев // Сварочное производство. – 2013. – № 6. – С.11–15.
16. Сидоров В.П., Мельзитдинова А.В. Способ регулирования глубины проплавления при дуговой автоматической сварке // Патент России № 2 691 824. – 2019. – Бюл. № 17.
17. Сидоров В.П. Способ ручной дуговой сварки штучными покрытыми электродами // Патент России № 2 661 526. – 2018. – Бюл. № 20.
18. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И. Фрумин. – Харьков: ГНТ изд-во по черной и цветной металлургии, 1961. – 421 с.
19. ГОСТ 1050-2013. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2014. – 36 с.

#### МОДЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СПЛАВОВ

*О.А. Темпель, аспирант*

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень  
625000, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Володарского, 38  
E-mail: Tempel\_o@mail.ru*

**Аннотация:** Резание металла в области машиностроения сложный процесс, который требует определенных затрат (временных, трудовых). Для повышения производительности и точности обработки деталей и составных частей из труднообрабатываемых сплавов и материалов необходимо использовать специальные средства и современные методы процесса резания. В статье представлена модель проведения исследований по оптимизации параметров процесса резания труднообрабатываемых сплавов, которая позволит в кратчайшие сроки и с минимальными затратами провести исследования и разработать дальнейшие решения по рассматриваемому вопросу.

**Abstract:** Metal cutting in the field of engineering is a complex process that requires certain costs (time, labor). To increase the productivity and accuracy of processing parts and components from hard-alloyed alloys and materials, it is necessary to use special tools and modern methods of the cutting process. The article presents a model for conducting research on optimizing the parameters of the cutting process of difficult-to-handle alloys, which will allow to conduct research in the shortest possible time and at minimal cost and develop further solutions to the issue under consideration.

**Ключевые слова:** модель исследования, труднообрабатываемые сплавы, процесс резания, машиностроение, методы обработки, оптимизация параметров.

**Keyword:** research model, difficult to process alloys, cutting process, mechanical engineering, processing methods, parameter optimization.

От развития машиностроительной отрасли в значительной степени зависят экономические показатели Российской Федерации и ее закрепление на мировом уровне.

В настоящее время разработаны проекты, программы и стратегии в области поддержания машиностроительного комплекса, важными задачами, которых является совершенствование моделей конечной сборки и стимулирование локализации производства [2].

Современные труднообрабатываемые сплавы имеют определенные особенности, затрудняющие процесс обработки такие, например, как малая теплопроводность, высокие скорости обработки, быстрый износ режущего инструмента.

В условиях технологического развития данной отрасли, а так же с выпуском деталей и составных частей сложной конфигурации и сложными по обработке материалами и сплавами, существует необходимость в применении современных методов процесса резания, которые бы способствовали сокращению шероховатости и повышению качества обрабатываемой поверхности [3].

Так, например, одним из современных методов обработки является применение минимального количества смазки или смазочно-охлаждающих сред в зоне резания при обработке труднообрабатываемых сплавов.

Задачами использования минимального количества смазки в зоне резания металла является: сокращение трения между заготовкой и инструментом, что способствует уменьшению износа режущего инструмента; удаление стружки из зоны резания в процессе обработки, что предотвращает накопление горячей стружки; защита инструментов, деталей и элементов установки от коррозии [5].

Кроме того, использование минимального количества охлаждающей смазки в высокоскоростной обработке требует точного сопоставления с обрабатываемыми материалами; тепловой нагрузкой на объекты; и их испарение, разбрызгивание, так как выброс в окружающую среду значительно выше [4].

С целью обеспечения высокого качества продукции необходимо оптимизировать основные параметры технологического процесса (операции). Это возможно достичь с помощью систем комплексного управления механической обработки при технологическом, метрологическом, аппаратном, программном, ресурсном, эргономическом и другом виде обеспечения.

Так, была разработана модель проведения исследований по оптимизации параметров процесса резания труднообрабатываемых сплавов, представленная на рисунке 1.

Модель построена на основе ГОСТ 15.101-98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ» и состоит из этапов, которые взаимосвязаны между собой.

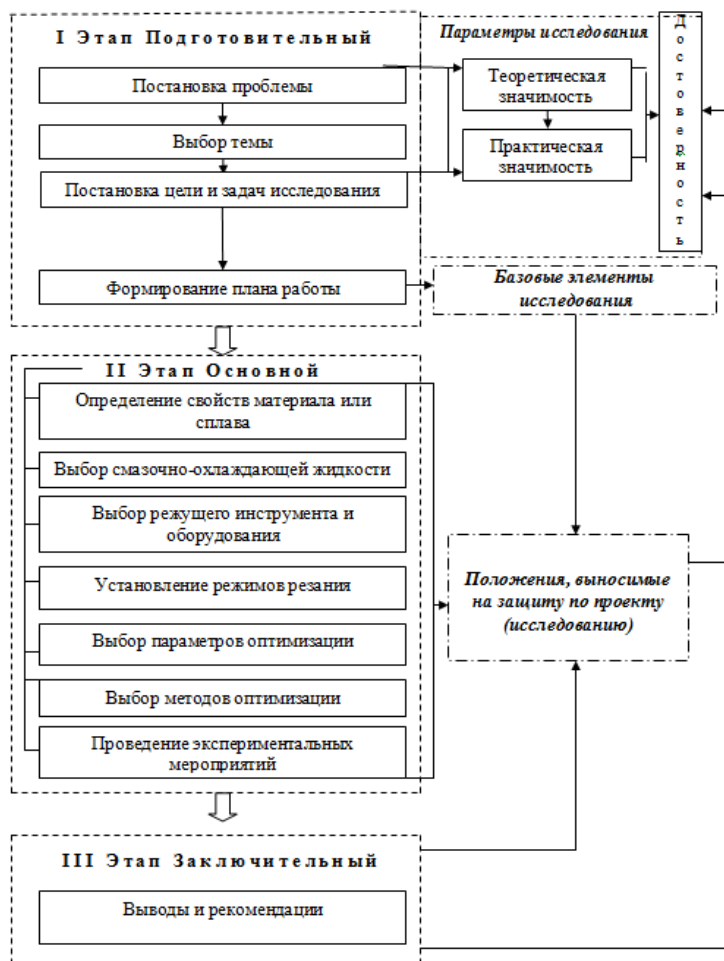


Рис.1. Логическая схема проведения исследования



Первый этап (подготовительный) подразумевает обзор теоретических положений по данной тематике, постановка проблемы, целей и задач, формирования плана исследования.

Второй этап (основной) описывает основные элементы, которые способствуют быстрой подготовки и реализации исследований.

На втором этапе необходимо определить параметры и свойства (технологические, металлические, химические и другое) материала или сплава; выбор смазочно-охлаждающей жидкости, оборудования, режущего инструмента и технологической оснастки; установление режимов резания (подачи, глубины, скорости); параметры оптимизации (экономические, технологические, технико-экономические, прочие), методы оптимизации (численные методы поиска экстремума, линейная или нелинейная целевая функция, прочие); проведение экспериментальных мероприятий, обработка и систематизация полученной информации.

Третий этап (заключительный) предусматривает описание основных выводов и заключений по исследованию, а так же оценка полученных результатов и составление рекомендаций для дальнейшей работы.

Кроме того, каждый этап имеет определенные стадии работ, оценочные и контрольные средства, примерные сроки проведения. Таким образом, система комплексного управления и проведения исследований за счет применения разработанной модели позволит достичь результатов с минимальными трудовыми и временными ресурсами.

Список используемых источников:

1. Верещака А.С. Обработка труднообрабатываемых материалов инструментом из твердого сплава с Re-Co-связкой повышенной теплостойкости и нано-структурированным износостойким покрытием / А. С. Верещака, А. В. Дачева, А. И. Анисеев – Текст : электронный // Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ» URL : [http://mospolytech.ru/science/mami145/scientific/article/s08/s08\\_04.pdf](http://mospolytech.ru/science/mami145/scientific/article/s08/s08_04.pdf) (дата обращения: 06.04.2020).
2. Распоряжение Правительства РФ от 2011 г. №2227-р О Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020г – Текст : электронный // URL : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/> (дата обращения: 06.04.2020).
3. Темпель О.А. Особенности обработки труднообрабатываемых сплавов в процессе резания // Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Международной научно-практической конференции : Т. 3 / отв. ред. П.В. Евтин. – Тюмень : ТИУ, 2019. – 274 с. – Текст : непосредственный.
4. Hochgeschwindigkeitsschleifen – mit – minder – und - minimalmengenkuehlschmierstoffen [Электронный ресурс] – Текст : электронный // URL : <https://www.wissenschaftliche-berichte.de/hochgeschwindigkeitsschleifen-mit-minder-und-minimalmengenkuehlschmierstoffen>.
5. Bohren-in-hochlegierten-stahl-mit-minimalmengenkuehlschmierung – Текст : электронный // URL : <https://www.oelheld.com/de/service/faq/wissenschaftliche-berichte/bohren-in-hochlegierten-stahl-mit-minimalmengenkuehlschmierung>.

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*В.А. Татаринцев к.т.н., доц., А.В. Васильев, студ.*

*Брянский государственный технический университет  
241035, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7, тел. (4832)-58-82-12  
E-mail: v\_a\_t52@mail.ru*

**Аннотация:** Рассмотрен подход к проектированию машин на основе модельно-ориентированной системной инженерии. Показано, что конструирование машины можно свести к оперированию комплексом взаимосвязанных разнообразных моделей, ответственных за все ее элементы. Последовательная смена моделей объекта может сопровождать чередование всех стадий жизненного цикла этой технической системы.

**Abstract:** The paper considers an approach to designing machines based on model-oriented system engineering. It is shown that the design of a machine can be reduced to operating with a complex of interconnected various models responsible for all its elements. A successive change of object models can accompany the alternation of all stages of the life cycle of this technical system.

**Ключевые слова:** модельно-проектный подход, техническая система, машина, математическая модель, имитационное моделирование.

**Keywords:** model-design approach, technical system, machine, mathematical model, simulation.

Проектирование современных машин потребовало перехода от традиционных методов [1, 2, 3, 4] к методам, основанным на применении современных информационных технологий [5]. Анализ проектируемых технических систем показал [3, 4], что для более трех четвертей из них требуется доводка новых изделий, которая существенно меняет их структуру. Несмотря на широкое применение компьютерных технологий о современные методы проектирования в ряде случаев не совершенны и требуют дальнейшего совершенствования. Мониторингом отказов в эксплуатации установлено, что наибольшее их количество в машинах из-за усталостных повреждений конструкций в зонах концентрации напряжений и износа различных кинематических пар соединений. При изготовлении новых сложных и ответственных технических систем требуется проведение ускоренных испытаний для оценки ресурса в напряженных узлах конструкций, работающих в условиях, предусмотренных нормативно-технической документацией. Выбор элементов технических систем (материалов, параметров сопряжений деталей, системы технического обслуживания и ремонтов) с учетом условий эксплуатации требует поиска перспективных аналогов (альтернатив) и применения современных компьютерных технологий.

Представим техническую систему в виде «черного ящика», содержащего входные и выходные величины.

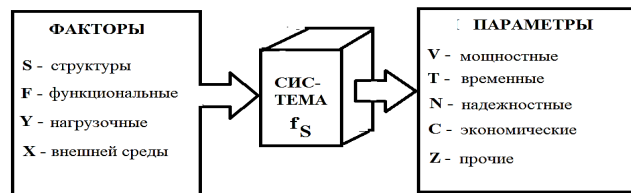


Рис. 1. Модель технической системы [6]

Связь между входными величинами (факторами) и выходными величинами (параметрами) согласно исследованию [6] выражается зависимостью

$$H(t) = f_s(S, F, Y, X),$$

где  $f_s$  – функция преобразования (передаточная функция) входных величин в выходные;  $H(t)$  – вектор параметров, зависящих от времени.

Связь между параметрами (выходные величины) можно условно представить в виде

$$H(t) = \{V, T, C, Z\}^T;$$

где  $V, T, C, Z$  – векторы отдельных параметров.

Модель системы способствует проектированию новой машины с заданными свойствами, является средством синтеза технической системы [7] и представляет собой физический или математический объект, адекватно отражающий исследуемую техническую систему. Понимание процессов деградации технической системы под действием эксплуатационных факторов (нагруженности, окружающей среды, системы диагностики, технического обслуживания и ремонтов и др.) позволяет при проектировании выбрать необходимые материалы и разработать комплекс мероприятий по управлению поведением системы с эксплуатации.

Наиболее действенным из новых методов является модельно-ориентированное проектирование. Этот вид проектирования эффективным и экономически выгодным методом разработки технических систем любой сложности. Применение этого метода позволяет повысить качество проектирования и уменьшить время разработки в несколько раз. Вместо физических прототипов, применяемых при традиционном проектировании, в модельно-ориентированном проектировании применяются математические модели, которые используются на всех этапах разработки машины. При таком подходе можно разрабатывать и проводить имитационное моделирование как всей системы, так и её отдельных элементов. Использование соответствующих моделей позволяет учитывать и человеческий фактор.

Рассмотренные подходы могут применяться не только при проектировании новых, а также на стадии модернизации уже существующих эксплуатируемых технических объектов. Схему проведения диагностического анализа и оценки объекта можно представить в следующем виде – рис. 2.

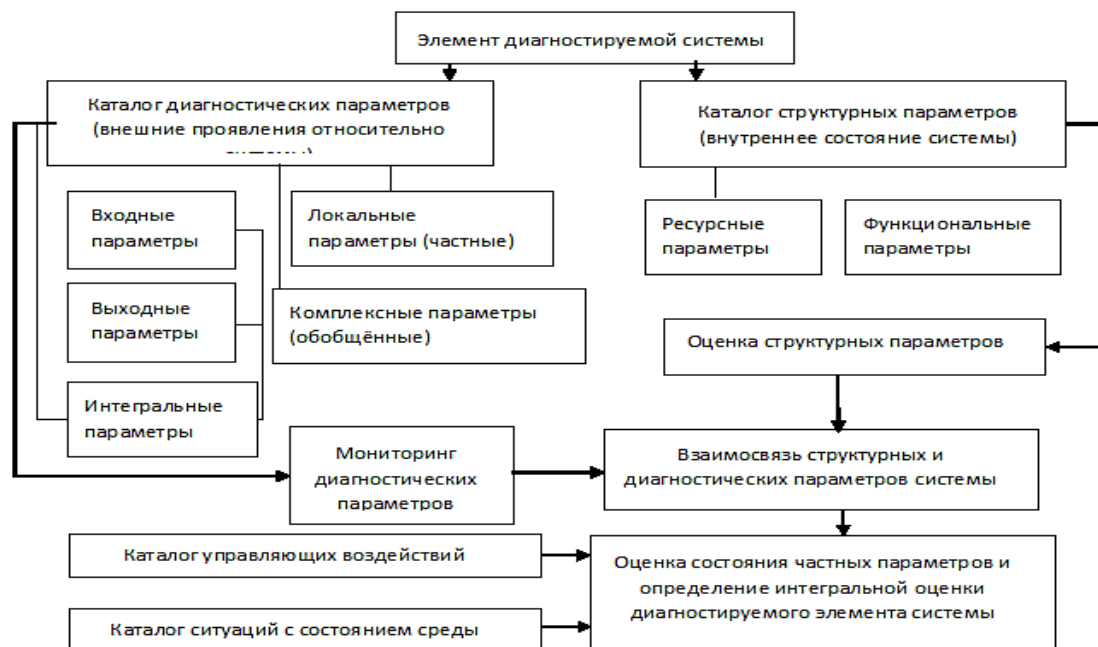


Рис. 2. Схема оценки объекта (диагностический подход)

Главная цель современного моделирования заключается в обеспечении проектировщиков методологией, позволяющей разработать модель, имитирующую жизненный цикл технической системы и дать оценки влияний факторов, определяющих ее поведение в различных эксплуатационных ситуациях. Ориентируясь на перспективные решения моделирование дает возможность выявить критических ситуации и условия перехода в неработоспособное состояние, что позволяет создать технические системы с заданными служебными свойствами без дорогостоящих процедур изготовления опытного образца, его испытания и последующей доводки конструкции с дальнейшим прогнозированием сопротивления развитию разрушения и надежности под конкретные эксплуатационные условия. Итак, проектирование включает в себя синтез структурной схемы машины [7], динамический анализ, обоснование применяемых материалов в соответствии с их служебными свойствами [8], механизмы деформации и повреждений, влияние окружающей среды, гипотезы о процессах деградации, совместные действия сочетания факторов, имитация взаимодействия элементов, проверка адекватности и идентификация модели.

Решению этой задачи предшествует анализ соответствующего технического объекта и его связей с более общей системой на основе системного подхода (рис. 3). Модели, построенные на этой базе, вместе инструментарием для моделирования могут привести к разработке концепции управления надежностью объекта в виде регламентированной системы технического обслуживания и ремонтов. Для получения необходимых параметров требуется создание баз знаний о различных свойствах элементов системы создаваемого объекта как на основе дополнительных лабораторных и натуральных экспериментов, так и на базе знаний прецедентного подхода.

В работе [9] оценивали надежность машин и их элементов на основе моделирования процесса усталостного разрушения. В основу этого подхода было положено имитационное моделирование на базе метода статистических испытаний. Для модели отказов, основанной на изучении закономерности изменения выходных параметров, вероятность отказа определялась характером их изменения вследствие деградационных процессов. В качестве составляющих элементов общей модели были включены подмодели формы и размеров исследуемых элементов, их прочностных свойств, режимов

эксплуатационного нагружения, деградации материала, системы технического обслуживания и ремонтов. Модель деградации служебных свойств объекта отражала влияние на процесс разрушения всех значимых факторов. Так, при прочностных отказах важно кроме силовых факторов учитывать влияние на процесс разрушения случайных колебаний и систематических изменений эксплуатационных температур, коррозионного и других воздействий окружающей среды. Разработаны процедуры замены, восстановления и длительности межремонтного периода для поддержания работоспособного состояния элемента технической системы в течение требуемого срока службы [9].

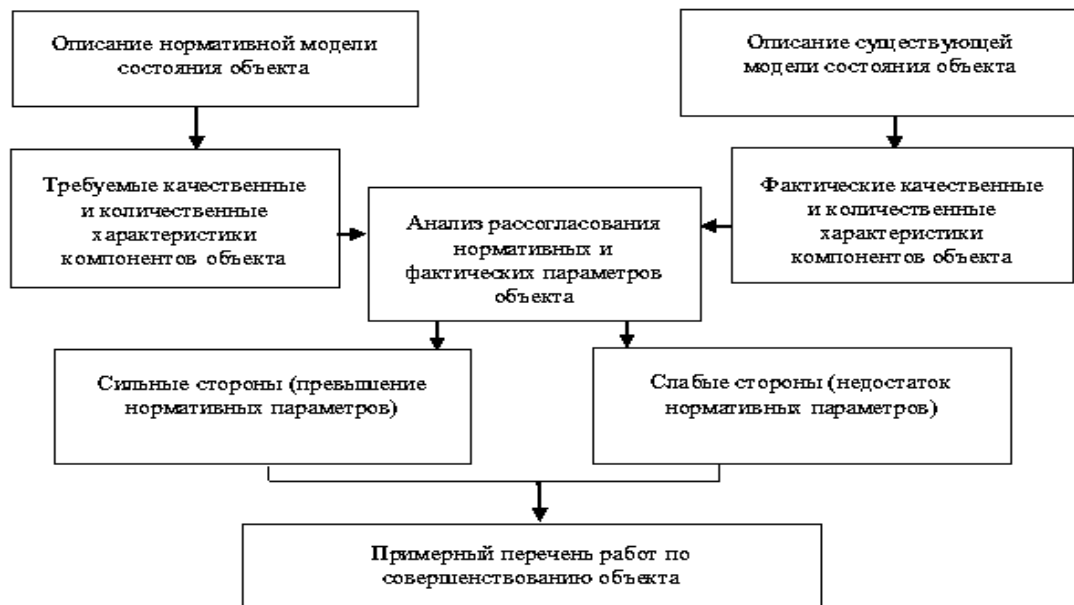


Рис. 3. Схема оценки компонентов объекта (детальный подход)

Таким образом, приведены основные принципы применения модельно-ориентированного подхода для обеспечения качественного проектирования машин. Компетенции конструктора, которые закладывается при изучении соответствующих конструкторских и технологических дисциплин в высшей школе, является важным фактором обеспечения надежности изделия при проектировании.

Список используемых источников:

1. Джонс Дж.К. Методы проектирования. М.: Мир, 1986. 326 с.
2. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: системный подход/пер. с польск; под ред. В.М. Бродянского. М.: Мир, 1981. 456 с.
3. Бушуев В.В. Практика конструирования машин: справочник. М.: Машиностроение, 2006. 448 с.
4. Савченко Н.Н. Техничко-экономический анализ проектных решений. М.: Экзамен, 2002. 128 с.
5. Косяков А., Свит У., Сеймур С., Бимер С. Системная инженерия: принципы и практика/пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2014. 636 с.
6. Тихомиров В.П., Измеров М.А., Шалыгин. М.Г. Качество изделия на стадии проектирования // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 2 (87). С. 11–18.
7. Толстошеев А.К., Татаринцев В.А. Проектирование статически определимых механизмов технологических мехатронных машин с параллельной кинематикой // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20. № 7. С. 428–436.
8. Татаринцев В.А., Толстошеев А.К. Методика сравнения материалов по характеристикам надежности // В сборнике: Машиностроение и металлообработка Материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 97–99.
9. Татаринцев В.А. Моделирование испытаний на надёжность элементов машин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. науч. трудов XI Международ. науч.-практ. Конф.: в 4-х томах. Т.4. Отв. ред. Горохов А.А. 2014. С. 172-176.

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*О.Ю. Еренков, д.т.н., проф., И.Я. Лопушанский, магистрант, Д.Д. Еренкова, инженер,  
Тихоокеанский государственный университет,  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, (4212) 76-85-20  
e-mail: Erenkov@list.ru*

**Аннотация:** В данной работе приведены сведения по специфике процесса износа режущего инструмента при резании полимерных композиционных материалов, представлена характеристика основных видов износа. Сформулирован вывод о том, что стойкость режущего инструмента в значительной мере определяется уровнем износа его рабочих поверхностей и кромок. При этом снижение степени износа инструмента можно обеспечить на основе новых инструментальных материалов. Представлены результаты исследования эффективности токарной обработки термопластов с применением сменных многогранных пластин, выполненных из кермета КНТ16 и вольфрамкобальтового сплава ВК8. Экспериментально доказано, что токарная обработка капролона и фторопласта с использованием режущей пластины из кермета КНТ16 обеспечивает снижение силы резания, что является косвенным подтверждением снижения степени износа инструмента из режущей керамики.

**Abstract:** This paper provides information on the specifics of the wear process of a cutting tool when cutting polymer composite materials, presents a description of the main types of wear. The conclusion is made that the resistance of the cutting tool is largely determined by the level of wear of its working surfaces and edges. At the same time, to reduce the degree of tool wear, two approaches can be distinguished - the use of new tool materials and the development of new processing methods using external influences of a different nature on the workpiece. The results of a study of the efficiency of thermoplastics turning using replaceable polyhedral plates made of KNT16 cermet and VK8 tungsten-cobalt alloy are presented. It has been experimentally proved that turning caprolon and fluoroplastic using a cutting plate made of KNT16 cermet provides a reduction in cutting force, which is an indirect confirmation of a decrease in the degree of wear of a tool made of cutting ceramics.

**Ключевые слова:** термопласты, точение, режущий инструмент, износ, твердый сплав, керамика, сила резания

**Key words:** thermoplastics, turning, cutting tools, wear, hard alloy, ceramics, cutting force

При механической обработке ПКМ резанием имеет место интенсивный износ рабочих кромок и поверхностей режущего инструмента, при этом характер данного процесса имеет отличия от процесса изнашивания инструмента при резании металлических материалов [1,2]. Первое отличие заключается в том, что при обработке ПКМ реализуются только два периода изнашивания, а именно: приработка и период нормального износа. Период катастрофического износа инструмента, присущий при обработке металлических материалов, в данном случае отсутствует. Причиной такого отличия являются особенности структуры и специфика свойств полимерных материалов.

Вторым отличием является сравнительно незначительный износ по передней поверхности инструмента. Такой эффект можно объяснить малыми значениями сил резания на передней поверхности при резании ПКМ, которые на порядок меньше сил резания при обработке металлических материалов [3]. При обработке резанием ПКМ имеет место упругое последствие обработанной поверхности. Из-за этого эффекта происходит рост силы трения на задней поверхности инструмента и, соответственно, интенсификация ее износа. Величина износа задней площадки, как правило, применяется в качестве критерия износа инструмента при обработке ПКМ в связи с отсутствием периода катастрофического изнашивания инструмента. Результаты многочисленных исследований установлено [1,2,3], что при превышении величины износа задней поверхности  $h_3$  более 0,3 мм происходит резкое ухудшение качества обработанной поверхности, которое можно оценить визуально и органолептически.

Экспериментально доказан [4,5] комплексный характер процесса изнашивания режущего инструмента при обработке конструкционных материалов, который включает следующие виды износа: абразивно-механический, диффузионный, адгезионный, механохимический, усталостный, химический, водородный. Определяющий вид износа в каждом конкретном случае формируется в зависимости от конструктивных и технологических факторов процесса обработки резанием.

Установлено обширными экспериментальными исследованиями у [2,3,6], что твердые вольфрамкобальтовые сплавы группы ВК обладают наивысшей стойкостью, а использование быстрорежущих сталей для обработки пластмасс нецелесообразно, так как стойкость инструмента получается в этом случае крайне низкой.

Абразивно-механический износ. Данный вид износа всегда имеет место при резании ПКМ и осуществляется в результате абразивного воздействия твердых армирующих волокон ПКМ на режущий инструмент. Факты такого воздействия доказаны путем изучения поверхностей инструментов под микроскопом [1].

Изнашивание инструмента из вольфрамокобальтового твердого сплава происходит в две стадии. На первой стадии резания происходит интенсивный износ относительно мягкой кобальтовой связки. Это приводит к обнажению и выступанию частиц карбида вольфрама, осуществляющих микропорезание. На второй стадии происходит изнашивание непосредственно выступающих зерен карбидов, что приводит к повышению значений сил резания и к дальнейшему отделению отдельных зерен из объема инструментального материала.

Механохимический адсорбционный износ. Данный вид износа достаточно широко исследован в работе [7]. Особенность данного вида износа заключается в массовом разрыве химических связей в макромолекулах полимера при резании. Разрыв химических связей при резании ПКМ происходит под действием значительных локальных напряжений действующих на задней контактной поверхности инструмента и высокой температуры, значения которой превышают теплостойкость обрабатываемого материала. В результате образуется деструктурированный вязкотекучий слой полимера на поверхности материала с наличием большого количества свободных макрорадикалов, обладающих избыточной энергией и высокой химической активностью. Такой слой является энергичным поверхностно-активным веществом (ПАВ), который мигрирует по поверхностям инструмента во время резания. При попадании ПАВ в дефекты поверхностей инструмента происходит снижение поверхностной энергии материала режущей части инструмента. В результате такого взаимодействия существенно облегчается механический отрыв микро и макрочастиц, иногда и фрагментов инструментального материала.

Водородный износ. Сущность данного вида износа заключается в проникновении ионов водорода, образующихся при резании ПКМ, в микротрещины и дефекты поверхностного слоя инструментального материала [8]. Выделение водорода при резании ПКМ происходит благодаря протеканию каталитических, деструктивных и электрохимических процессов в зоне резания. Протоны водорода в дальнейшем образуют атомы и молекулы. Объем молекулы увеличивается и происходит силовое воздействие на поверхность материала в месте дефекта. Такой эффект приводит к разрушению поверхностного слоя инструментального материала и, следовательно, к износу инструмента.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение о том, что стойкость режущего инструмента в значительной мере определяется уровнем износа его рабочих поверхностей и кромок. При этом, для снижения степени износа инструмента можно выделить два подхода – применение новых инструментальных материалов и разработка новых способов обработки с применением внешних воздействий различной природы на заготовку из ПКМ [9].

Авторами проведены исследования эффективности токарной обработки термопластов с применением сменных многогранных пластин, выполненных из различного материала.

В качестве исследуемых материалов выбраны капролон и фторопласт – термопластичные полимерные материалы, широко применяемые в различных отраслях промышленности в качестве конструкционного материала для изготовления широкой номенклатуры деталей различного служебного назначения.

Для токарной обработки термопластов применяли сборные резцы, которые оснащались сменными многогранными пластинами (СМП), выполненными из разных инструментальных материалов, а именно: одна из вольфрамокобальтового сплава ВК8, другая из керамического материала – безвольфрамового твердого сплава КНТ16. Сплав КНТ16 имеет следующий химический состав: карбонитрид титана – 74 %, никель – 19,5 %, молибден – 6,5 %. Спецификой керметов, и КНТ16 в частности, является наличие в их микроструктуре так называемой К-фазы представляющей собой сложный карбид, образующий оболочечную структуру вокруг каждой частицы карбонитрида и обеспечивающий прочную связь этих твердых частиц с пластичной металлической связкой. Ввиду такой специфики керметы сочетают в себе как керамические свойства (исключительные твердость и износостойкость, устойчивость к окислению, низкую адгезию к обрабатываемому материалу), так и металлические свойства (прочность, сопротивление удару).

При проведении токарной обработки заготовок производили измерение составляющей  $P_z$  силы резания при помощи балочного датчика силы СВ1А-К3 закрепленного под резцом, рис.2, а данные измерений высвечивались на жидкокристаллическом экране индикатора DN-10 [9].

Таблица 1

Результаты исследования составляющей  $P_z$  силы резания при точении термопластов

Вид обработки	Составляющая $P_z$ силы резания, Н					
	Глубина резания, мм					
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Точение капролона пластиной из ВК8	225	236	249	265	280	303
Точение капролона пластиной из КНТ16	198	206	223	244	261	289
Точение фторопласта пластиной из ВК8	88	93	97	101	109	113
Точение фторопласта пластиной из КНТ16	67	76	84	91	99	104

Анализ экспериментальных данных (таблица 1) показывает устойчивую тенденцию снижения силы резания при точении термопластов пластиной из керамического сплава КНТ16. При этом применение имеет место снижение силы резания во всем диапазоне значений глубины резания. В свою очередь, снижение силы резания приводит к появлению таких положительных эффектов как повышение скорости резания при точении и соответственно производительности всего процесса обработки, а так же снижение энергосиловых параметров процесса. Следовательно, можно вполне обоснованно сформулировать предположение о снижении степени износа инструмента, выполненного из керамического материала КНТ16.

Эффект повышения силы резания с увеличением глубины резания объясняется увеличением объема деформированного материала при точении за счет увеличения длины контакта режущих кромок с обрабатываемым материалом [7,8].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00039*

Список используемых источников:

1. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных материалов/А.А. Степанов.- Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние.1987.-176 с.
2. Smith G. Cutting Tool Technology: Industrial Handbook - London: Springer-Verlag London Limited, 2008. – 559 p.
3. Davim P. Machining of Hard Materials – London: Springer-Verlag London Limited, 2011. – 211 p.
4. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/ М.Ф. Полетика.- М.: Машиностроение, 1969. 149 с.
5. Талантов Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента/ Н.В. Талантов.- М.: Машиностроение, 1992. 240с
6. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов/В.Н. Подураев. - М.: Высшая школа, 1974. 587 с.
7. Дрожжин В. И. О контакте поверхности инструмента с пластмассой при резании/В.И. Дрожжин //Резание и инструмент.1970, Выпуск 2. С. 7 – 10.
8. Поляков А.А. Исследование водородного износа/А.А. Поляков. –М.: Наука,1977. 347 с.].
9. Еренков О. Ю. Комбинированные способы токарной обработки полимерных композиционных материалов /О. Ю. Еренков. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 277 с.
10. Кудинов В. А. Динамика станков/ В.А. Кудинов.- М.: Машиностроение, 1967. - 359 с.
11. Кабалдин Ю. Г. Математическое моделирование самоорганизующихся процессов в технологических системах обработки резанием/Ю.Г. Кабалдин, А.И. Олейников, А.И. Шпилев, А.А. Бурков. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 195с.

## УЛУЧШЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПУТЕМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ

*Н.М. Антонова, д.т.н., проф., А.С. Пузанова, студ., А.А. Небрат, студ.  
Каменский технологический институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова  
347800, г. Каменск-Шахтинский, пр-т К. Маркса, 23, тел: 8 (863-65)7-90-86  
E-mail: melnik1@rambler.ru*

**Аннотация:** Изучена структура механически активированной целлюлозы. Методами электронной микроскопии и ИК-спектроскопии показано, что в процессе активации целлюлозы возрастает ее удельная поверхность и пористость, а целлюлоза модификации I переходит в целлюлозу модификации II, обладающую большей реакционной способностью. Активация целлюлозного сырья позволяет увеличить динамическую вязкость растворов карбоксиметилцеллюлозы вдвое.

**Abstract:** The structure of mechanically activated cellulose was studied. By means of the using of electron microscopy and IR spectroscopy, it was shown that in the process of the cellulose activation, its specific surface area and porosity increase, and cellulose of modification I passes into the cellulose modification II, which has greater reactivity. Activation of the cellulosic raw materials allows to increase the dynamic viscosity of carboxymethyl cellulose solutions in twice.

**Ключевые слова:** целлюлоза, механохимическая активация, карбоксиметилцеллюлоза.

**Keyword:** cellulose, mechanochemical activation, carboxymethylcellulose.

Повышенный интерес к производным эфирам целлюлозы обусловлен доступностью возобновляемых источников сырья и широким спектром применения в народном хозяйстве. Однако в области получения и использования эфиров целлюлозы существует ряд проблем, среди которых наиболее актуальными являются поиск новых источников сырья, которые могли бы стать альтернативой древесной целлюлозе и улучшение качества производимой в стране целлюлозы. Техническая карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) относится к простым эфирам целлюлозы, и наиболее востребована в нефтедобывающей промышленности. Используемое для ее изготовления целлюлозное сырье от различных производителей обладает радикально разной морфологией и структурой. Целлюлоза, выпускаемая в России, ориентирована преимущественно на производство бумаги, и произведенная из нее КМЦ не обеспечивает реологических свойств, необходимых потребителям. Вязкость для водных растворов КМЦ и суспензий на ее основе является откликом на межмолекулярные взаимодействия макромолекул и структурную прочность текучих систем [1, 2]. Несмотря на то, что реологические свойства растворов простых эфиров целлюлозы хорошо изучены [3], работ, касающихся влияния влияния структуры полимеров на их реологию, недостаточно.

Задача получения КМЦ из целлюлозного отечественного сырья низкого качества с заданными физико-химическим показателями, удовлетворяющими требованиям технической документации (ТУ 2231-034-079249837), была частично решена в работе [4]. Однако полностью решить эту задачу, не прибегая к модификации исходного целлюлозного сырья, невозможно. Анализ литературных источников показал, что поверхностная модификация целлюлозы является эффективным способом повышения ее реакционной способности [5, 6].

Среды органического происхождения на основе растительного сырья активно используются в механохимии для обработки труднодоступных поверхностей [7, 8]. В процессе активации наблюдаются кооперативные эффекты взаимодействия органическая среда – обрабатываемая поверхность, вследствие чего качественно улучшается производимая продукция [9]. Механохимическая активация целлюлозного сырья [5, 6] позволяет снизить степень кристалличности целлюлозы, обладающей высокопрочной кристаллической структурой. Это приводит к увеличению аморфности продукта, возрастанию его удельной поверхности, повышению реакционной способности сырья, и, как следствие, обеспечение реологических свойств КМЦ, удовлетворяющих предъявляемым производителем требованиям.

Цель работы – установить влияние механической и химической активации целлюлозы на реологические свойства карбоксиметилцеллюлозы.

В работе использовали сульфатную беленую целлюлозу ЦБК г. Братска марки К-1. Исследовали структуру листовой целлюлозы и предварительно измельченной целлюлозы. Анализ морфологических особенностей структуры целлюлоз проводили с помощью электронно-сканирующего микроскопа Quanta 200. Инфракрасные (ИК) спектры целлюлозы регистрировали на ИК-Фурье спектрометре Varian 640, в интервале 600-4000 см<sup>-1</sup>. Использовали оборудование ЦКП «Нанотехнологии



ЮРГПУ (НПИ)» имени М.И. Платова. Реологические характеристики водных растворов КМЦ изучали на ротационном вискозиметре Брукфильда DV-II+PRO.

Обрабатывали листовую целлюлозу для получения КМЦ: растворяли листы целлюлозы размерами 600x800 мм в водной пульпе с последующей обработкой сухим каустиком (NaOH) в установке непрерывной мерсеризации УНМ 6-30. Результатом отжима водно-целлюлозной пульпы является полученная влажность целлюлозы 50-70%. Активированную дробленную целлюлозу получали следующим способом: предварительно измельчали листовую целлюлозу на молотковой мельнице ИМ-200 до образования частиц размером 1x2 мм (насыпная плотность 90-120 г/л), затем растворяли в воде, с получением водно-целлюлозной пульпы и обработкой сухим каустиком. Полученная алкалицеллюлоза и в том, и в другом случае, подвергалась обработке натриевой солью монохлоруксусной кислоты с последующей этерификацией, сушкой и измельчением готового продукта.

Микрофотографии листовой целлюлозы и предварительно измельченной целлюлозы изображены на рисунке 1 а, б. КМЦ, изготовленной листовой и дробленной целлюлозы – на рисунке 1 в, г.

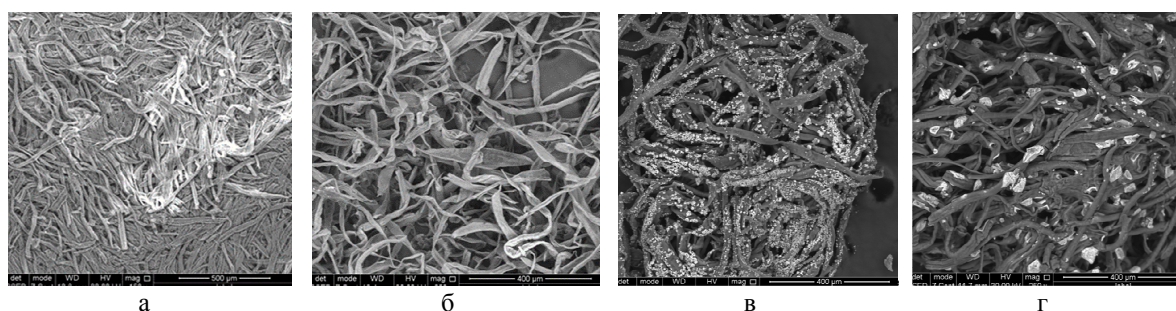


Рис. 1. СЭМ-изображения полимеров: а), б) целлюлозы листовой и после механической активации; в), г) КМЦ, изготовленной из листовой и измельченной целлюлозы

Волокна в листах относительно плотно упакованы, отличаются протяженностью и некоторой упорядоченностью, скручены слабо, целостность волокон сохраняется (рис. 1 а). После измельчения наблюдается разрыхление листовых фрагментов, разупорядочение и уплощение волокон. Структура волокон различна: наряду с трубчатыми присутствуют гладкие волокна и волокна с перфорированной поверхностью. Длина волокон уменьшается, суммарная площадь поверхности возрастает (рис. 1 б). Из литературных источников известно, что при механических воздействиях уменьшается и степень кристалличности целлюлозы. Следы термодеструкции не наблюдаются. Таким образом, в процессе активации целлюлозы наряду с увеличением площади поверхности волокон наблюдается значительное изменение морфологии поверхности волокон целлюлозы – по форме и по толщине.

Полимер КМЦ, исходным сырьем для которого служила целлюлоза листовая, отличается значительной неоднородностью. Наряду с одиночными волокнами присутствуют состоящие из волокон клубки округлой формы с размерами от 800 мкм до 6 мм (рис. 1 в). Использование измельченной целлюлозы позволяет получить порошок КМЦ с близкой дисперсностью: размеры клубков меняются от 1,2 мкм до 1,5 мкм, одиночные волокна практически отсутствуют. Образование клубков в более узком диапазоне размеров свидетельствует о большей степени однородности измельченной целлюлозы, возрастанию ее реакционной способности за счет роста удельной поверхности в процессе производства КМЦ.

Светлые включения, с размерами от 2 до 17 мкм, присутствуют в технической карбоксиметилцеллюлозе, независимо от способа получения. Согласно данным электронной спектроскопии и химического анализа полимера, включения образованы хлоридом натрия, что вполне отвечает требованиям технических условий на продукт. Это не противоречит сложившимся представлениям о получении КМЦ. В процессе получения карбоксиметилцеллюлозы, в реакции этерификации целлюлозы выделяется побочный продукт – NaCl [10].

Анализ ИК-спектров листовой и активированной целлюлозы показал, что спектры полимеров достаточно близки и типичны. Однако в ИК-спектре целлюлозы после механической активации имеет место ее сдвиг полосы  $1161 \text{ см}^{-1}$  в область меньших волновых чисел:  $1051 \text{ см}^{-1}$ . Согласно данным работы [11], сдвиг ее в область меньших волновых чисел свидетельствует о переходе целлюлозы I (природной) в модификацию целлюлозы II. В целлюлозе II, в результате перераспределения и ослабления водородных связей между макромолекулами целлюлозы, снижается плотность упаковки,

улучшается сорбционная способность, скорость диффузии жидкостей, реакционная способность. Анализ ИК-спектров КМЦ свидетельствует, что интенсивность полосы поглощения около  $3300\text{ см}^{-1}$  для спектра КМЦ, изготовленной из измельченной целлюлозы, значительно возрастает, что свидетельствует о росте взаимодействий в системе за счет водородных связей [12]. Индекс симметрии, рассчитанный в соответствии с [10], увеличивается, соответственно, от 0,74 до 0,80 соответственно, что свидетельствует о возрастании степени однородности системы.

Анализ физико-химических показателей КМЦ марки 75С, изготовленной из листовой и активированной целлюлозы, показал, что предварительное измельчение целлюлозного сырья механическим способом позволяет повысить вязкость 2% водных растворов КМЦ вдвое: от 70 мПа·с до 140 мПа·с. Увеличивается растворимость продукта в воде – от 98,2% до 98,8%.

Для установления интенсивности межмолекулярного взаимодействия в водных растворах КМЦ определялись значения кажущейся энергии активации вязкого течения по методике, изложенной в [13]. Измерения проводили при изменении температуры от 298,0 К, 313,0 К с шагом 5 К в диапазоне вязкости 0,0366 ... 0,0256 Па·с, при скорости вращения шпинделя 30 об/мин.

Зависимости эффективной вязкости в области обратных температур для диапазона 298–333 К в полулогарифмической шкале координат близки к линейным для КМЦ, изготовленной из листовой и измельченной целлюлозы, что дало возможность рассчитать кажущуюся энергию активации вязкого течения для указанных 2 % водных растворов полимеров. Она составляет, соответственно, 17,7 кДж/моль и 18,6 кДж/моль. Что подтверждает факт усиления интенсивности межмолекулярных связей водородных связей в водных растворах КМЦ из активированной целлюлозы, и следовательно, имеет место упрочнение текучей системы, коррелирующее с возрастанием вязкости.

Проведенный структурный анализ листовой целлюлозы и целлюлозы после механохимической активации свидетельствует об изменениях морфологии поверхности волокон целлюлозы после активации: наряду с трубчатыми присутствуют гладкие волокна и волокна с перфорированной поверхностью, наблюдается уплощение волокон. Изменяется и структура целлюлозы: результаты ИК-спектроскопии свидетельствуют о переходе целлюлозы I в модификацию целлюлозы II, обладающую большей реакционной способностью.

Таким образом, механохимическая активация целлюлозы позволяет значительно улучшить физико-химические показатели КМЦ: повысить растворимость, динамическую вязкость.

#### Список используемых источников:

1. Антонова Н.М., Болдырев Ф.М., Забияка И.Ю. Морфология и структура высокодисперсного композита на основе бемита, полученного из водных растворов Na-КМЦ с порошком алюминия. / Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2018. № 10. С. 37-44. DOI: 10.1134/SO207352818100050.
2. Антонова Н.М. Реологические свойства полимерных суспензий с порошком АСД-1, используемых для изготовления композиционных покрытий. / Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. № 4. С. 58-62.
3. Кирсанов Е.А., Матвеев В. Н. Неньютоновское поведение структурированных систем. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016.
4. Антонова Н.М., Неелова И.А., Лисниченко И.А., Кубраков А.Н., Зиновьев И.А. Комплексный подход к расчету влияния технологических параметров на реологические свойства Na-КМЦ для буровых растворов. / Инженерный вестник Дона, 2018, № 3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5089](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5089).
5. Zhang Y., Li Q., Su J., Lin Y., Huang Z., Lu Y., Sun G., Yang M., Huang A., Hu H., Zhu Y. A green and efficient technology for the degradation of cellulosic materials: Structure changes and enhanced enzymatic hydrolysis of natural cellulose pretreated by synergistic interaction of mechanical activation and metal salt. // *Bioresource Technology*. 2015. 177. pp. 176-181. DOI.org/10.1016/j.biortech.2014.11.085.
6. Zhao X., Zhang Y., Hu H., Huang Z., Yang M., Chen D., Huang K., Qin X., Feng Z. Effect of mechanical activation on structure changes and reactivity in further chemical modification of lignin. // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016. 91. pp. 1081-1089. DOI.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.074
7. Kolganova E.N., Goncharov V. M., Fedorov A. V. Investigation of deburring process at vibro-abrasive treatment of parts having small grooves and holes. // *Materials today: Proceedings*. 2019. 19(5). pp. 2368-2373. DOI.org/10.1016/j.matpr.2019.07.726.

8. Тамаркин М.А., Смоленцев Е.В., Колганова Е.Н. Анализ современного состояния финишных методов обработки в среде свободных абразивов деталей, имеющих малые пазы и отверстия. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. № 1. С. 122-129.
9. Колганова Е.Н., Федоров А.В., Ермаков А.А. Исследование процесса удаления заусенца при абразивной обработке деталей, имеющих малые пазы и отверстия. // Инновации в машиностроении. X Международная научно-практическая Конференция (ИнМаш-2019): сб. науч. тр./ Куз. гос. техн. ун-т – Кемерово: КузГТУ, 2019. С. 803-807.
10. Петропавловский Г.А. Гидрофильные частично замещенные эфиры целлюлозы и их модификация путем химического сшивания. Л.: Наука, 1988.
11. Нугманов О.К., Григорьева Н.П., Лебедев Н.А. Структурный анализ травяной целлюлозы. // Химия растительного сырья. 2013. № 1. С. 29-37.
12. Белами, Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
13. Геллер Б. Э., Геллер А.А., Чиртулов В.Г. Практическое руководство по физикохимии волокнообразующих полимеров. М.: Химия, 1996.

### ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ЕДИНИЧНЫХ ВАЛИКОВ ИЗ КОМПОНЕНТОВ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

*О.Г. Девойно, д.т.н., проф., Н.И. Луцко, науч. сотр., А.С. Лапковский, науч. сотр.,  
Белорусский национальный технический университет  
220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (375 17)331-00-45  
E-mail: nilucko@tut.by*

**Аннотация:** В статье изучены закономерности изменения элементного состава и микротвердости в наплавленных лазером валиках из сплава на основе никеля и бронзы, нанесенных как компоненты мультимодального покрытия. Получены зависимости содержания элементов и микротвердости от скорости наплавки. Показано влияние элементного состава валиков из сплава на основе никеля и бронзы при различных скоростях наплавки на микротвердость в поперечном сечении валиков.

**Abstract:** The article studies the patterns of changes in elemental composition and microhardness in laser-cladded tracks made of a nickel-based alloy and bronze deposited as components of a multimodal coating. The dependences of the element content and microhardness on the cladding speed are obtained. The effect of the elemental composition of the nickel-based alloy and bronze tracks at various deposition rates on the microhardness in the cross section of the tracks is shown.

**Ключевые слова:** лазерная наплавка, мультимодальные покрытия, микротвердость, содержание элементов.

**Keywords:** laser cladding, multimodal coatings, microhardness, elemental composition.

Практическое исчерпание пределов упрочнения однокомпонентных материалов вследствие интенсивного развития технологий повлекло возрастание роли композиционных материалов, в том числе покрытий из них. Оказалось, что наиболее высокие физико-механические свойства показывает такой вид композиционных покрытий, как мультимодальные покрытия [1, 2]. Модой является значение какого-либо признака (размера частиц упрочняющей фазы, величины пористости, вида материала), которое встречается наиболее часто. Если имеются два или более значений какого-то признака, имеющие одинаковую частоту повторения, то покрытие является мультимодальным.

Лазерная наплавка обеспечивает небольшие поперечные размеры напыляемых валиков, минимальное перемешивание материалов покрытия и подложки, хорошее сцепление валиков друг с другом и широкий диапазон приемлемых режимов наплавки [3]. Такие свойства лазерной наплавки обеспечивают возможность построения с ее помощью мультимодальных покрытий из послойно чередующихся валиков из разнородных материалов, которые могут быть использованы как для упрочнения, так и для восстановления поверхностей деталей [4, 5]. Получаемые покрытия при этом могут характеризоваться не только высокой износостойкостью, но и анизотропией износостойкости в разных направлениях относительно наплавленных валиков.

Поскольку мультимодальные покрытия такого типа строятся путем поочередного нанесения валиков из разнородных материалов, свойства получаемых покрытий во многом будут определяться физико-механическими свойствами единичных валиков из компонентов мультимодального покрытия. В данной работе исследуется взаимосвязь режимов наплавки единичных валиков из компонентов мультимодального покрытия и их элементного состава и микротвердости.

В качестве компонентов мультимодального покрытия выбраны порошок самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01 и порошок алюминиевой бронзы ПГ-19М-01. Порошок сплава ПГ-12Н-01 предназначен для упрочнения деталей из углеродистых и нержавеющей сталей и чугунов. Наплавленные им покрытия имеют низкий коэффициент трения и твердость 35-40 HRC [6]. Порошок бронзы ПГ-19М-01 рекомендован для создания покрытий на подушках прокатных станков, кулисах прессов, литейных моделях, шейках подшипников и других деталях. Покрытия из этого материала также имеют низкий коэффициент трения и обеспечивают максимальную износостойкость при трении по металлу с эффектом самосмазывания [6]. Грануляция обоих порошков составляла 20-80 мкм. Химический состав указанных порошков приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав используемых порошков										
Марка	Содержание компонентов, % (по массе)									
	Cr	B	Si	Fe	C	Ni	Co	Cu	W	Al
ПГ-12Н-01	8-14	1,7-2,5	1,2-3,2	1,2-3,2	0,3-0,6	Основа	-	-	-	-
ПГ-19М-01	-	-	-	До 4	-	-	-	Основа	-	8,5-10,5

Нанесение единичных валиков из выбранных материалов производили с различными скоростями наплавки, от 40 до 120 мм/мин для сплава ПГ-12Н-01, и от 100 до 300 мм/мин для бронзы ПГ-19М-01. Наплавку выполняли на технологическом комплексе, включавшем газовый CO<sub>2</sub>-лазер непрерывного действия типа «Комета 2» мощностью 1000 Вт и координатную систему с числовым программным управлением, обеспечивавшую необходимые перемещения наплавочной головки относительно образцов и точность перемещений. Наплавка выполнялась на образцы из стали 45, имевшие размеры 20×30×8 мм. Величина подачи порошка составляла 12 г/мин. Мощность лазерного излучения поддерживалась во всех случаях максимальной – 1000 Вт.

После наплавки образцы разрезали перпендикулярно валикам наплавки, заливали в оправки, а затем шлифовали и полировали. Микрофотографии шлифов поперечного сечения валиков из никелевого сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 показаны на рис. 1.

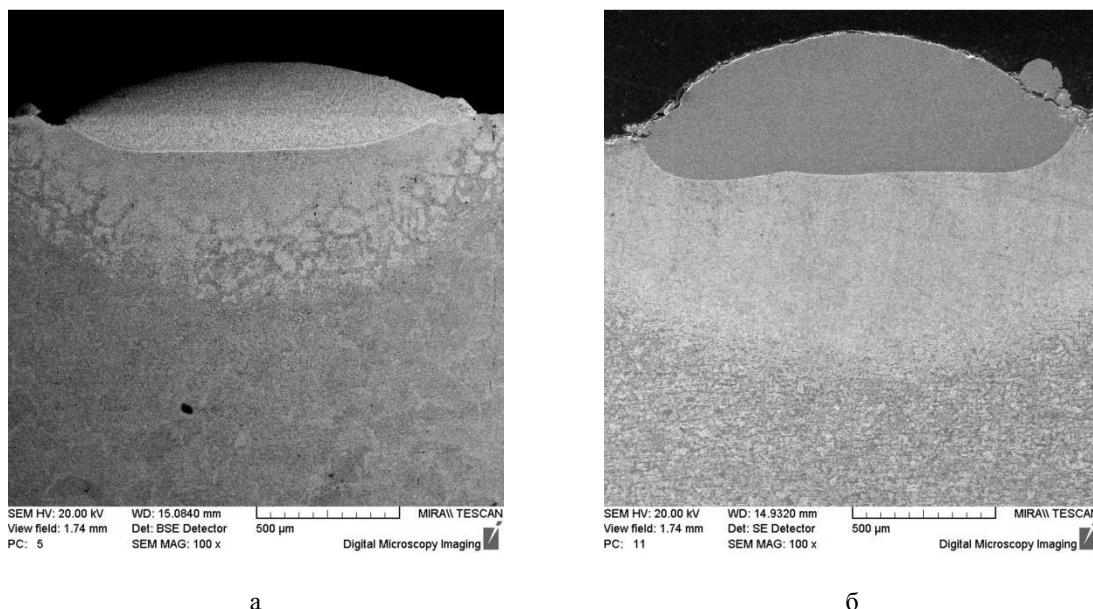


Рис. 1. Шлифы поперечного сечения валиков сплава ПГ-12Н-01 (а.) и бронзы ПГ-19М-01 (б.), использовавшиеся при исследованиях

На полученных шлифах поперечного сечения валиков для каждой скорости наплавки исследовали распределение элементов на трех участках по глубине поперечного сечения и микротвердость по глубине и ширине валиков. Исследования распределения элементов осуществляли методом микрорентгеноспек-

трального анализа (МРСА) на аттестованном микроскопе «Mira» фирмы «Oxford Instruments» (Великобритания). Исследования микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3 по глубине, по оси валика с шагом 0,05 мм, и в поперечном направлении параллельно основе, также с шагом 0,05 мм.

Проведенные исследования распределения элементов на трех участках поперечного сечения показали достаточно равномерное содержание элементов на всех этих участках по глубине валиков для каждой исследованной скорости наплавки и для каждого выбранного материала. Отличия в содержании элементов не превышали 3-5 %. Поэтому, для каждого элемента было определено среднее содержание элементов для всех этих участков для каждой скорости наплавки. На основании полученных данных были построены зависимости содержания элементов от скорости наплавки для никелевого сплава ПГ-12Н-01 (рис. 2) и бронзы ПГ-19М-01 (рис. 3).

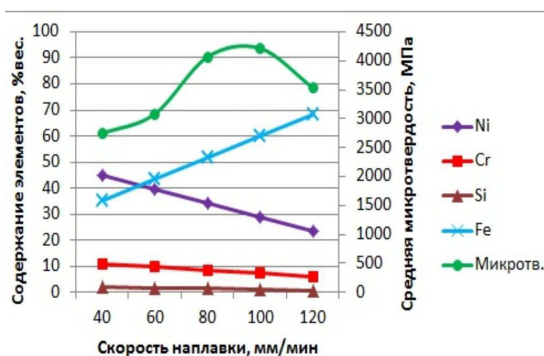


Рис. 2. Зависимости содержания элементов в валиках сплава ПГ-12Н-01 и микротвердости от скорости наплавки

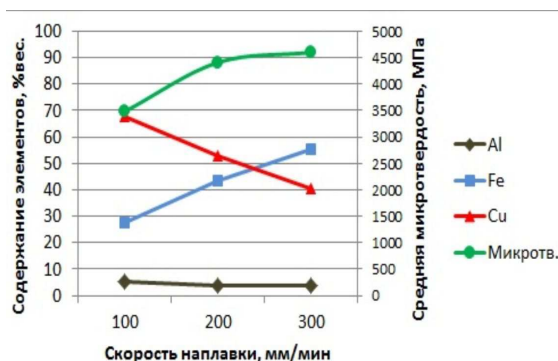


Рис. 3. Зависимости содержания элементов в валиках бронзы ПГ-19М-01 и микротвердости от скорости наплавки

Исследования распределения микротвердости по глубине поперечного сечения валиков и по ширине поперечного сечения валиков параллельно основе показали, что колебания величины микротвердости составляют не более 6 %. Величины микротвердости по глубине и ширине валиков находятся практически на одном уровне для конкретных скоростей наплавки и конкретных материалов. По этим причинам были определены средние величины микротвердости в поперечном сечении валиков для каждой скорости наплавки и каждого наплавленного материала. Полученные результаты позволили построить зависимости микротвердости от скорости наплавки для никелевого сплава ПГ-12Н-01 (рис. 2) и бронзы ПГ-19М-01 (рис. 3).

Для никелевого сплава ПГ-12Н-01 (рис. 2) можно заметить, что увеличение скорости наплавки в 3 раза, с 40 до 120 мм/мин, приводит к уменьшению содержания никеля в наплавленном валике с 45 до 23 % (в 1,9 раза). Уменьшается также содержание хрома с 11 до 6 % (в 1,8 раза) и кремния — с 2 до 0,8 % (в 2,5 раза). Содержание железа при этом возрастает с 35 до 68 % (в 1,9 раза). Такие колебания содержания элементов объясняются тем, что с увеличением скорости наплавки конвективный перенос тепла в ванне расплава становится все более доминирующим, что приводит к усилению перемешивания материалов покрытия и основы [7]. При этом содержание железа в покрытии достигает 68 %, хотя в исходном порошке сплава ПГ-12Н-01 содержание железа не превышает 3,2 % (таблица 1). Естественно, что содержание остальных элементов в материале валика уменьшается по сравнению с их содержанием в исходном порошке сплава ПГ-12Н-01.

На рис. 2 также показано изменение микротвердости материала валика из сплава ПГ-12Н-01 при увеличении скорости наплавки. Вначале, при изменении скорости наплавки до 80 мм/мин, микротвердость материала валика увеличивается с 2740 МПа до 4070 МПа. При скоростях наплавки 80-100 мм/мин, микротвердость стабилизируется в пределах 4070 – 4200 Мпа. При дальнейшем увеличении скорости наплавки до 120 мм/мин, микротвердость материала валика из сплава ПГ-12Н-01 несколько уменьшается до 3530 МПа. Такое изменение микротвердости материала валика при увеличении скорости наплавки скорее всего связано непосредственно с изменением содержания элементов, описанным выше.

Железо и никель взаимно растворимы в жидком состоянии [8]. При высоком содержании железа и никеля в материале валика, с учетом того, что там же содержится довольно много хрома, можно говорить о том, что мы имеем дело с железо-никелевым-хромистым сплавом. При этом известно

[9], что введение никеля в небольших количествах приводит к увеличению твердости и понижению прочности сплава, и наоборот, введение большого количества никеля, увеличивает прочность сплава, но уменьшает его твердость. Подобную картину мы наблюдаем на рис. 2. Кроме того на форму зависимости микротвердости материала валика из сплава ПГ-12Н-01 от скорости наплавки могут оказывать образующиеся в сплаве при лазерной обработке выделения интерметаллидных фаз системы Fe-Ni, состав и количество которых сильно зависят от содержания в сплаве никеля [10, 11].

Из рис. 3 (для бронзы ПГ-19М-01) видно, что увеличение скорости наплавки в 3 раза, со 100 мм/мин до 300 мм/мин, приводит к уменьшению содержания меди в наплавленном валике с 67 до 40 % (в 1,7 раза). Также уменьшается содержание алюминия с 5 до 4 % (в 1,3 раза). Содержание железа при этом возрастает с 27 до 55% (в 2 раза). Как и в предыдущем случае, такие изменения содержания элементов объясняются увеличением при росте скорости наплавки доли конвективного переноса тепла в ванне расплава [7]. Эти процессы приводят к тому, что содержание меди в материале валиков значительно меньше, чем в исходном порошке бронзы ПГ-19М-01 (таблица 1), а содержание железа в валике за счет диффузии из основы, значительно выше его содержания в исходном порошке (до 4 %, таблица 1). Содержание алюминия в материале валиков примерно в 2 раза меньше его содержания в исходном порошке.

На рис. 3 также приведена зависимость микротвердости материала валика из бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки. Видно, что при увеличении скорости наплавки в 3 раза, микротвердость материала валика из бронзы возрастает с 3489 МПа до 4600 МПа, т.е. в 1,3 раза. Как и в случае с валиком из никелевого сплава такой характер зависимости микротвердости от скорости наплавки, вероятно, связан с изменением содержания элементов.

Жидкое железо неограниченно растворяет медь, но в твердом состоянии имеет место ограниченная растворимость этих компонентов друг в друге [8, 12, 13, 14]. При температуре 1025; 900; 800; 700 °С, растворимость железа в меди составляет, соответственно 2,5; 1,5; 0,9; 0,5 % мас. [13]. Максимальная растворимость меди в  $\alpha$ -Fe наблюдается при температуре 857 °С и составляет 2 ат. % Cu [8]. Растворимость меди в  $\gamma$ -железе чуть больше: при 1000 °С в  $\gamma$ -железе растворяется 5 ат. % Cu [8]. Содержание алюминия в валиках бронзы находится в пределах 3-5 %. Практически весь имеющийся алюминий образует твердые растворы с железом и медью. Но его количества недостаточно до того, чтобы образовать твердые растворы с большим количеством (27-55 %) имеющегося в валиках железа. Скорее всего, большая часть железа находится в валиках в свободном виде. Последнее обстоятельство позволяет предположить, что рост микротвердости материала валиков из бронзы при увеличении скорости наплавки непосредственно связан с увеличением при этом количества железа в них (рис. 3).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Несмотря на то, что лазерная наплавка характеризуется как процесс, обеспечивающий низкую диффузию элементов из покрытия в основу, установлено, что количество железа проникающего из основы в наплавленный валик составляет – для валиков из никелевого сплава 35-68 %, для валиков из бронзы – 27-55 %.

С ростом скорости наплавки количество железа в наплавленных валиках увеличивается, а количество других элементов материалов валиков уменьшается, что связано с ростом при увеличении скорости наплавки конвективной составляющей переноса тепла в ванне расплава, приводящего к более интенсивному перемешиванию материалов покрытия и основы.

Установлено, что именно наличие большого количества железа в конечном счете определяет рост микротвердости при увеличении скорости наплавки как в валиках никелевого сплава, так и в валиках бронзы. В валиках бронзы это происходит из-за возрастающего при увеличении скорости наплавки количества железа в свободном виде, без образования твердых растворов с медью и алюминием. В валиках никелевого сплава рост микротвердости при увеличении скорости наплавки обуславливается одновременным увеличением количества железа и уменьшением количества никеля, а также возрастающей возможностью образования интерметаллидов системы Fe-Ni.

Скорость наплавки, таким образом, является важнейшим технологическим параметром, влияющим одновременно на элементный состав наплавленных валиков и физико-механические свойства материалов валиков.

Список используемых источников:

1. Ratajski, J. Mechanical properties of antiwear Cr/CrN multimodule coatings/ J. Ratajski, A. Gilewicz, P. Bartosik, L. Szparaga// Archives of Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 75. - I. 2. – P. 35-45.

- Gilewicz, A. The properties of multi-module and gradient coatings base on CrN/CrCN deposited on nitride 4140 steel/ A.Gilewicz, R. Olik, L. Szpraga, J. Ratajski// Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems. – 2014. – I. 3. – P. 27-43.
- Vilar, R. Laser cladding/ R. Vilar// Journal of laser applications. – 1999. – V. 11. – I. 2. – P. 64-79.
- Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок/ Под ред. В.Я. Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С.664.
- Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, - С. 424.
- Волосенков, В.Е. Порошки для газотермических покрытий: Состав. Свойства. Применение/ В.Е. Волосенков, И.Л. Куприянов. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 27 с.
- Hofman, J.T. Development of a Observation and Control System for Industrial Laser Cladding/ J.T. Hofman. – Enshede the Netherlands: Ipskamp Drukkers BV, 2009. – 203 p.
- Баннх, О.А. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа/ О.А. Баннх, П.Б. Будберг, С.П. Алисова и др. – М.: Metallurgia, 1986. – 458 с.
- Красавин А.Л. Формирование упрочняющих наноструктур в порошковых покрытиях на основе Ni и Co при модифицирующем облучении: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.07/ Александр Львович Красавин; Алтайский государственный технический университет им И.И. Ползунова. – Барнаул, 2016. – 159 л.
- Алонцева Д.Л. Структурно-фазовое состояние и свойства сплавов на основе NiCr, Co-Cr, Fe-Ni-Cr в результате воздействия концентрированных потоков энергии: монография: Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2013. – 294 с.
- Лякишева, Н.П. Диаграмма состояния двойных металлических систем/ Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996-2000. – 527 с.
- Двойные и многокомпонентные системы на основе меди/ Справ. под ред. Абрикосова Н.Х.. – М.: Наука, 1979. – 248 с.
- Кубашевски, О. Диаграммы состояния систем на основе железа/ О. Кубашевски. – М.: Metallurgia, 1985. – 184 с.
- Шанк, Ф. Структуры двойных сплавов/ Ф. Шанк. – М.: Metallurgia, 1982. – 392 с.

## ФОРСИРОВАНИЕ СКОРОСТИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ ПРИВОДНОЙ РОТОРНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ

*Аль Тии М., Аспирант*

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

*119991, Москва, Ленинский пр-т., д.65, +7 (499) 507-88-88*

*E-mail: mustafa.altae@mail.ru*

**Аннотация:** Рассмотрена работа моторизованной роторной управляемой системы, интегрированной с винтовым забойным двигателем, при вращении и не вращении бурильной колонны. Показано, что применение этой системы позволяет увеличить частоту вращения бурового долота и существенно повысить механическую скорость проходки.

**Abstract:** The operation of a motorized rotary controlled system integrated with a downhole screw motor during rotation and not rotation of the drill string is considered. It is shown that the use of this system allows to increase the rotation frequency of the drill bit and significantly increase the mechanical speed of penetration.

**Ключевые слова:** моторизованное роторное бурение, роторная управляемая система, винтовой забойный двигатель, бурильная колонна.

**Keywords:** powered rotary drilling, rotary steered system, downhole helical motor, drill string.

В последнее время ведущими зарубежными компаниями – производителями буровой техники Schlumberger, BakerHughes, Halliburton, Weatherford, разработана и получила распространение новая эффективная технология моторизованного роторного бурения, основанная на совместном использовании роторной управляемой системы (РУС) и гидравлического забойного двигателя [1, 2, 3, 4]. В компоновку низа бурильной колонны (КНБК) включены долото, РУС, винтовой забойный двигатель (ВЗД) и телеметрическая система (MWD). Новая схема КНБК позволяет увеличить частоту вращения бурового долота по сравнению с традиционным роторным способом бурения и, как следствие, существенно повысить механическую скорость проходки [5, 6].

В работах [7, 8, 9] также отмечается, что применение моторизованной РУС обеспечивает не только увеличение скорости бурения, но и существенно снижает уровень вибраций бурильной

колонны. Очевидно это связано с тем, что при использовании в роторной КНБК винтового забойного двигателя, динамическая составляющая силы реакции забоя от осевой нагрузки на долото передается непосредственно на вал ВЗД. Передача этой силы корпусу забойного двигателя, который жестко связан с бурильной колонной, происходит через осевой подшипник, что и снижает вибрационную нагрузку. Вероятно, по этой же причине происходит демпфирование и крутильных колебаний, возникающих от динамики крутящего момента на долоте.

С целью определения и анализа показателей применения технологии моторизованного роторного бурения были проведены исследовательские работы в прироторном бурении глубокой наклонной скважины на месторождении Республики Ирак. Работы проводились при бурении наклонно-прямолинейного участка скважины в интервале от 3435 м до 3975 м долотом PDC Bit 8<sup>1/2</sup> диаметром 215,9 мм. Компоновка низа бурильной колонны показана на рис. 1.

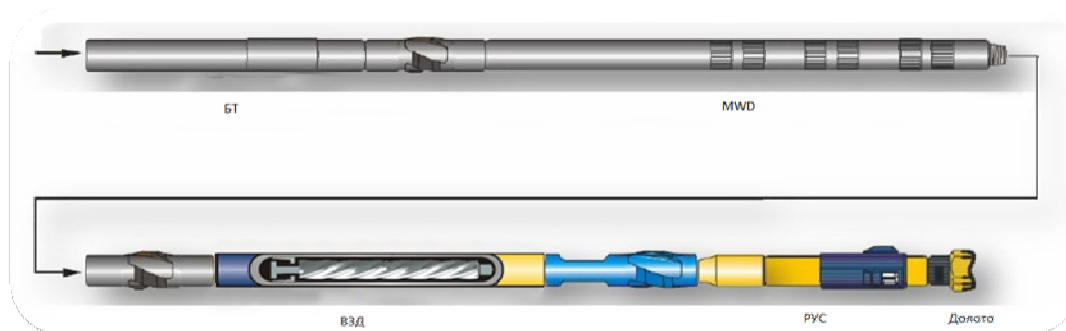


Рис. 1. Компоновка низа бурильной колонны

Моторизованная система (PUC+ВЗД) Motorized RSS (ATK + X-treme Modular Motor) диаметром 172 мм имела общую длину около 10 м.

Телеметрическая система MWD диаметром 172 мм длиной 9,4 м была оснащена датчиками давления, температуры, крутящего момента и частоты вращения.

Характеристика винтового забойного двигателя производства компании Baker Hughes (6 3/4" X-treme Modular Motor) показана в таблице 1. В процессе работы винтовой двигатель вращал роторную управляемую систему с долотом. Общая длина этой подвески составляла 2,2 м.

Таблица 1

Техническая характеристика винтового забойного двигателя

Параметр	Размерность	Значение
Диаметр	мм	172
Длина	м	7,8
Заходность ротор/статор	-	5 / 6
Расход жидкости	л/с	16,7 – 41,7
Частота вращения (холостая)	об/мин	90 – 220
Максимальное дифференциальное давление	МПа	6,1
Максимальная мощность	кВт	180
Перепад давления на холостом режиме	МПа	1,54

Плотность бурового раствора составляла 1250 кг/м<sup>3</sup>. Согласно проекту, изменение зенитного угла в указанном интервале не производилось, однако при бурении он естественным образом снизился с 50° до 47°. Результаты исследований приведены в таблице 2.

В процессе выполнения работ были проведены замеры параметров при пяти характерных режимах работы винтового забойного двигателя:

- холостой режим ВЗД при промывке скважины;
- холостой режим ВЗД при бурении;
- рабочий режим ВЗД при бурении с вращением БК;



- рабочий режим ВЗД при бурении без вращения БК;
- тормозной режим ВЗД.

Как видно из полученных данных, при вращении бурильной колонны с помощью верхнего силового привода частота вращения долота увеличивалась в среднем на 30-35% по сравнению с режимом не вращающейся БК. При этом механическая скорость проходки возрастала приблизительно в той же или большей пропорции. Можно предположить, что на рост мехскорости оказывало влияние не только увеличение частоты вращения долота, но и само вращение бурильной колонны, в результате которого подача инструмента осуществлялась плавно, без рывков, способствуя полной передаче осевой нагрузки на долото.

При холостом режиме работы ВЗД давление на выходе бурового насоса было минимальным. Это наблюдалось как при промывке, так и при бурении скважины. Увеличение осевой нагрузки на долото приводило к росту перепада давления на винтовом забойном двигателе. Рабочий диапазон дифференциального давления на ВЗД составлял от 1,7 до 3,3 МПа. Давление на выходе насоса практически не зависело от вращения или не вращения бурильной колонны.

Тормозной режим ВЗД был специально спровоцирован увеличением осевой нагрузки на долото до 150-160 кН. Дифференциальный перепад давления при этом значительно увеличился до 6,2 МПа и выше. Это привело к резкому росту давления в бурильной колонне, который был существенно сглажен за счет автоматически сработавшего перепускного клапана, установленного над телесистемой. После этого ВСП и буровой насос были отключены оператором (бурильщиком) с целью недопущения аварийного инцидента. Приведенная картина полностью соответствовала теоретическому описанию тормозного режима работы ВЗД с одновременным вращением бурильной колонны [10].

Увеличение частоты вращения долота обеспечило закономерный рост механической скорости проходки. Весь интервал длиной 540 м был пробурен за 49 ч времени мехбурения, без учета промывок и проработок. Это на 25-40% превышало скоростные показатели традиционного роторного бурения с системой РУС идентичных интервалов скважин на данном месторождении. Учитывая, что стоимость аренды моторизованной системы «РУС-ВЗД» почти в два раза превышает стоимость аренды РУС, была выполнена оценка основного технико-экономического показателя строительства скважин – стоимости метра проходки, в рассматриваемом интервале бурения. Для сравнения были выбраны показатели бурения соседней скважины, пробуренной традиционным роторным способом с использованием верхнего силового привода и роторной управляемой системы аналогичной конструкции.

Расчет проводился по формуле:

$$C_m = \frac{B + R(T_{\delta} + T_{cn}) + R_{np}T_{\delta}}{H}, \quad (1)$$

где  $C_m$  – стоимость метра проходки, USD/м;

$H$  – длина интервала бурения, м;

$T_{\delta}$  – время мехбурения интервала, ч;

$T_{cn}$  – время спускоподъемных операций и вспомогательных работ, ч;

$B$  – стоимость долота, USD;

$R$  – стоимость часа работы буровой установки, USD/ч;

$R_{np}$  – стоимость аренды привода долота: РУС или РУС+ВЗД, USD/ч.

Числовые значения стоимостных параметров в формуле (1) принимались приблизительно, на основе неофициальных сведений отехнико-коммерческих результатах бурения в рассматриваемом регионе:

- стоимость долота PDC  $B = 65000$  USD;
- стоимость часа работы буровой установки  $R = 2200$  USD/ч;
- стоимость аренды РУС  $R_{np} = 300$  USD/ч;
- стоимость аренды «РУС-ВЗД»  $R_{np} = 570$  USD/ч;
- среднее время СПО и ВР  $T_{cn} = 22$  ч.

Результаты выполненного расчета представлены в таблице 3. Анализ полученных данных показывает, что применением моторизованной роторной системы с использованием винтового забойного двигателя приводит к увеличению механической скорости проходки в рассматриваемом интервале по сравнению с традиционной технологией роторного бурения с РУС и обеспечивает рост технико-экономических показателей.

Таблица 3

## Результаты бурения скважин

Способ бурения	Роторный традиционный РУС	Роторный моторизованный РУС-ВЗД
Вид привода долота	ВСП	ВСП + ВЗД
Буровой насос	12Т1600 PUMP-MUD	12Т1600 PUMP-MUD
Глубина скважины по вертикали, м	2460	2500
Тип скважины	Наклонная (отклонение 43°)	Наклонная (отклонение 50°)
Рассматриваемый интервал под обсадную колонну	Эксплуатационная колонна	Эксплуатационная колонна
Интервал бурения, от-до, м	3350-3920	3435-3975
Диаметр долота, мм	215,9	215,9
Тип долота	PDC	PDC
Типоразмер ВЗД	-	6 ¾" X-treme ModularMotor
Расход бурового раствора, л/с	31	33
Плотность бур. р-ра, кг/м <sup>3</sup>	1260	1250
Осевая нагрузка на дол., кН	90	100
Давление насоса, МПа	13,8	20,3
Частота вращения ВСП, об/мин	80-120	50
Частота вращения ВЗД, об/мин	-	180
Частота вращения долота, об/мин	80-120	230
Общая проходка, м	570	540
Общее время мехбурения, ч	72	49
Мехскорость проходки, м/ч	7,9	11,0
Рейсовая скорость, м/ч	6,1	7,6
Стоимость метра проходки, USD/м	515	461

Замеры вибраций бурильной колонны также показали, что при бурении моторизованной системой «РУС-ВЗД» амплитуда колебаний значительно снижалась по сравнению с традиционным роторным бурением с РУС.

Следует отметить, что увеличенное давление на выходе бурового насоса, которое меняется в зависимости от режима работы ВЗД, создает повышенный технологический риск из-за применения буровой системы с использованием винтового забойного двигателя. Однако этот риск может быть значительно нивелирован с помощью автоматических предохранительных устройств, срабатывающих при росте давления выше допустимой (опасной) величины.

## Вывод

Применение технологии приводного роторного бурения на основе интеграции роторной управляемой системы с винтовым забойным двигателем обеспечивает рост механической скорости проходки и рейсовой скорости бурения при снижении стоимости метра проходки и сокращение сроков строительства нефтяных и газовых скважин.

## Список используемых источников:

1. PowerDrivevortex. Интернет-сайт Schlumberger. [Электронный ресурс]. [https://www.slb.ru/service/s/drilling/drilling\\_measurements/powerdrive\\_family/powerdrive\\_vortex/](https://www.slb.ru/service/s/drilling/drilling_measurements/powerdrive_family/powerdrive_vortex/) (дата обращения 31.03.2020).

2. AutoTrak X-treme. Интернет-сайт Baker Hughes. [Электронный ресурс]. <https://www.bhge.com/upstream/drilling/drilling-services/rotary-steerable-services/autotrak-x-treme-rotary-steerable-system-0> (дата обращения 31.03.2020).
3. Geo-Pilot Drigo Rotary Steerable System. Интернет-сайт Halliburton. [Электронный ресурс]. [https://www.halliburton.com/content/dam/ps/public/ss/contents/Data\\_Sheets/web/Geo-Pilot-Dirigo-Datasheet.pdf?node-id=hfjyrsph&nav=en-US\\_sperry\\_public](https://www.halliburton.com/content/dam/ps/public/ss/contents/Data_Sheets/web/Geo-Pilot-Dirigo-Datasheet.pdf?node-id=hfjyrsph&nav=en-US_sperry_public) (дата обращения 31.03.2020).
4. Revolution Rotary Steerable System. Интернет-сайт Weatherford. [Электронный ресурс]. <https://www.weatherford.com/en/products-and-services/drilling/drilling-services/rotary-steerable-systems/point-the-bit-rss> (дата обращения 31.03.2020).
5. Симонянц С.Л., Аль Тии М. Стимулирование процесса бурения верхним силовым приводом с использованием винтового забойного двигателя. Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 438-442. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.354.
6. Симонянц С.Л. Эволюция способов вращательного бурения нефтегазовых скважин. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2020. № 4. С. 15-18.
7. Cavallaro G., Concas A., Heisig G. etc. Motor-Power Rotary Steerable Systems resolve steerability problems and improve drilling performance in Val d'Agri re-entry applications. OffshoreMediterraneanConferenceandExhibitioninRavenna, Italy, March 28-30, 2007.
8. Hamdy A., Douglas M., Abdelshafy I. etc. Middle East first introductions of MWD and RSS Systems Below Mad Motors mitigates vibrations in harsh drilling environment and delivers a record well in Egypt Western Desert Khalda Operations. Offshore Technology Conference Asia held in Kuala Lumpur, Malaysia, 20-23 March 2018.
9. Ronnau H.-H., Balslev P.V., Ruzska J. etc. Integration of a Performance Drilling Motor and Rotary Steerable System Combines Benefits of Both Drilling Methods and Extends Drilling Envelopes. SPE/IADC Drilling Conference held in Amsterdam, The Netherlands, 23-25 February 2005.
10. Симонянц С.Л., Аль Тии М. О вращении бурильной колонны при работе винтового забойного двигателя с долотом. Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2019. № 3. С. 44-48.

## PLASMA PROCESSING OF CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE WASTE

*A.E. Tikhonov, stud., I.Yu. Novoselov, assist.*

*Tomsk Polytechnic University*

*634050, Tomsk, Lenin ave. 30, tel. (3822)-70-17-77*

*E-mail: aet13@tpu.ru*

**Abstract:** The work proposed the plasma method of processing closed nuclear fuel cycle wastes in the form of a water-salt-organic composition. This method has several advantages and allows recycling such material safely. The optimal composition for recycling in plasma was determined. Equilibrium compositions showed that in the process of plasma processing  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  and also  $FeCl_3$  and  $Fe_2O_3$  in the condensed phase were formed. Lack of soot is an indicator that the recycling process is environmentally safe.

**Аннотация.** В работе предложен плазменный метод переработки отходов замкнутого ядерного топливного цикла в виде водно-солеорганической композиции. Этот метод имеет несколько преимуществ и позволяет безопасно перерабатывать такой материал. Определен оптимальный состав для утилизации данного отхода в плазме. Равновесные составы показали, что в процессе плазменной обработки образуются  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , а также  $FeCl_3$  и  $Fe_2O_3$  в конденсированной фазе. Отсутствие сажи является показателем того, что процесс переработки является экологически безопасным.

**Keyword:** waste, plasma, closed nuclear fuel cycle.

**Ключевые слова:** отходы, плазма, закрытый ядерный топливный цикл.

For the development of nuclear energy, namely, to create a closed nuclear fuel cycle (NFC), the final stage is important - reprocessing of spent nuclear fuel (SNF), its non-combustible (NC SNF) and combustible reprocessing waste (C SNF). The problem of SNF management is not new; in search of a solution to this problem, a tremendous amount of work has been done, many different technologies have been created [1].

The basis of modern technology for spent nuclear fuel processing at radiochemical plants (including Russian ones) is the PUREX process (Plutonium-Uranium Recovery by EXtraction), which is preceded by cutting (fragmentation) of spent fuel assemblies (SFA), as well as the dissolution of spent fuel in nitric acid.

Most often, the extractant material in this process, with which it is possible to extract uranium and plutonium purified from fission products, is tributyl phosphate (TBP), which is diluted with kerosene, carbon tetrachloride or hexachlorobutadiene (HCBD), etc.

SNF reprocessing waste (RW SNF) after uranium and plutonium was extracted from them, are water-salt solutions of metals with a certain model composition, which is given in [3].

A sufficiently high concentration in the solution of fission products, as well as plutonium nuclides, significantly reduces the efficiency of the extractant due to radiation exposure, thus, the extractant is converted to C SNF. During the extraction process, waste is also formed in the form of water contaminated with radioactive isotopes, which is drained into quarries at radio engineering factories and drainage lakes enclosed by dams.

A significant reduction in energy costs for the process is possible with the plasma processing of SNF wastes in the form of combustible water-salt-organic compositions (WSOC).

The experiments showed that the complete combustion of liquid combustible waste is observed when they have a combustion temperature of about 1200 °C [4]. Figure 2 shows the effect of the content of the NC SNF and TBP (in the C SNF) on the adiabatic combustion temperature of different compositions of the WSOC based on them.

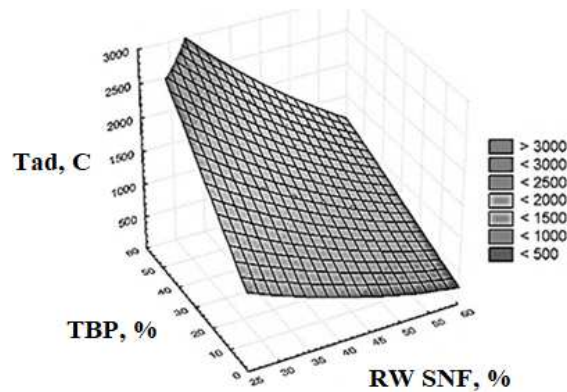


Fig. 1. Graph of the effect of the content of TBP in the extractant and the spent fuel on the adiabatic combustion temperature  $T_{ad}$  of different works

Analyzing the dependence, it is obvious that in order to create a combustible WSOC with an adiabatic combustion temperature of  $\approx 1200$  °C, as well as a maximum content of OP SNF, the following composition of the WSOC is required: 34% RW SNF: 20% TBP: 46% HCBD.

Figure 2 shows the compositions of the main gaseous (a) and condensed (b) products formed during the plasma processing of NC SNF and C SNF in the form of the optimal composition of the WSOC (the share of the plasma coolant is 70% by weight).

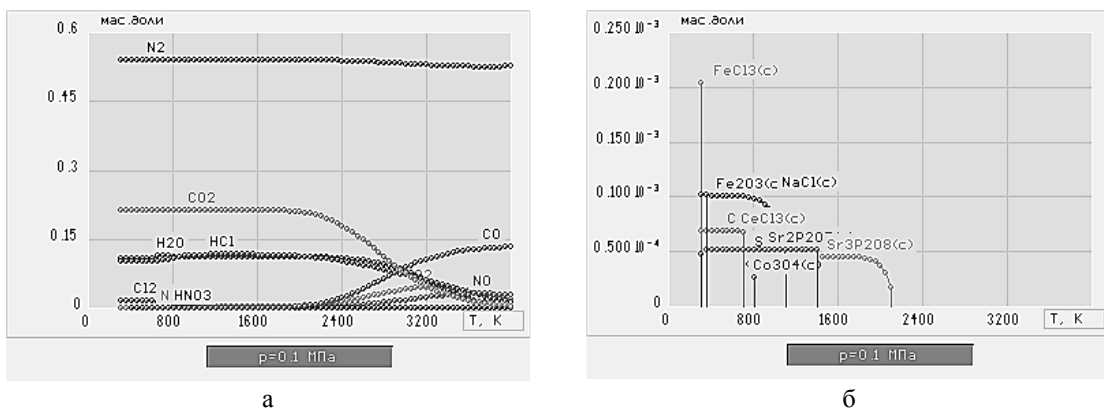


Fig. 2. The composition of the gaseous (a) and condensed (b) products of the plasma utilization of combustible waste from the reprocessing of spent nuclear fuel in air plasma (70% air: 30% WSOC)

An analysis of the compositions (Fig. 2) shows that mainly  $N_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$  are formed in the gas phase, and simple oxides and chlorides form in the condensed phase. The absence of soot and toxic gases

among the products is an indicator that the plasma reprocessing of NC SNF and C SNF is in an environmentally friendly, and therefore optimal mode.

Conclusions. Plasma utilization of nuclear fuel cycle waste in the form of the optimal composition of the WSOC allows avoiding evaporation and chemical treatment, and reduces energy costs for the process. Taking into account the obtained results, we can recommend the following modes for practical implementation of the process:

- temperature range  $1200 \pm 100^\circ \text{C}$ ;
- composition of WSOC (34% RW SNF: 20% TBP: 46% HCBD);
- fraction of plasma coolant: 70%.

List of sources used:

1. Andryushin I.A., Yudin Yu.A. Overview of the problems of handling radioactive waste and spent nuclear fuel. Sarov: FGUP "VNIIEF", 2010. – 119 p.
2. Skachek M.A. Management of spent nuclear fuel and radioactive waste from NPP. Moscow: Publishing House MEI, 2007. – 448 p.
3. Panteleyev Yu.A., Alexandruk A.M., Nikitina S.A., Makarova T.P., Petrov E.R., Bogorodskiy A.B., Grigoreva M.G. Analytical methods for determining the components of liquid radioactive waste. – Leningrad: Proceedings of the Khlopinadium Institute, 2007. – V. 12. – P. 124–147.
4. Bernadiner M.N., Shurygin A.P. Hot-fire processing and neutralization of industrial wastes. – Moscow: Chemistry, 1990. – 304 p.

## **СЕКЦИЯ 2: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ**

*В.П. Иванов<sup>1</sup>, д.т.н., доц., Е.В. Лаврова<sup>2</sup>, к.т.н., доц., Д.П. Ильященко<sup>3</sup>, науч. сотруд.*

*<sup>1, 2</sup>ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина 87500, Украина, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7. тел. +38 (096) -6047008*

*<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, Россия 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4. тел. 89236030500*

*E-mail: lavrova.e.v.pstu.edu@gmail.com*

**Аннотация:** В статье представлена нестационарная математическая модель формирования зоны проплавления при электродуговой наплавке, в которой параметры этой зоны являются функцией от времени действия источника нагрева. Разработанная модель может быть использована в составе системы управления технологическим оборудованием для наплавки, что позволит обеспечить гарантированное качество и высокую работоспособность наплавленного слоя, повысить уровень автоматизации технологического процесса а также этапов его разработки.

**Abstract:** The article presents a non-stationary mathematical model of the formation of a penetration zone during electric arc surfacing, in which the parameters of this zone are a function of the time of action of the heating source. The developed model can be used as part of a control system for technological equipment for surfacing, which will ensure the guaranteed quality and high performance of the deposited layer, increase the level of automation of the technological process, as well as the stages of its development.

**Ключевые слова:** математическая модель, зона проплавления, наплавка, автоматизация технологического процесса, наплавленный слой.

**Key words:** mathematical model, penetration zone, surfacing, automation of the technological process, deposited layer.

Анализ литературных данных свидетельствует о недостаточной сходимости результатов глубины проплавления для стационарных моделей, а также отсутствие математических моделей для нестационарных условий, на основании чего был сделан вывод о необходимости совершенствования расчетных методов для повышения эффективности электродуговой наплавки и возможности использования автоматизированного оборудования для управления технологическим процессом наплавки в режиме реального времени.

Основное внимание было уделено моделированию эволюции зоны проплавления во времени при неподвижном источнике нагрева, поскольку расчетные данные, полученные для неподвижной ванны ( $v_n = 0$  м/с), можно использовать для случая движения дуги со скоростью сварки, если учесть, что по данным, полученным Ю.И. Райчуком для тонкого основного металла, и Г.Г. Чернышевым для основного металла большой толщины [1], когда реализуется схема трехмерного теплоотвода, 90% всего тока наплавки  $I_n$  протекает именно в головной части ванны. Поскольку перед дугой металл ванны имеет пониженную, по сравнению с другими направлениями, температуру, плотность тока, протекающего через жидкий металл хвостовой части, как минимум, на порядок меньше, чем в главной части сварочной ванны. В этом случае необходимо учитывать увеличение скорости проплавления основного металла благодаря уменьшению толщины жидкого слоя металла на передней стенке кратера ванны под дугой и связанное с этим фактором изменение силового баланса в ванне.

Целью работы является исследование формирования зоны проплавления, а также разработка нестационарной математической модели формирования зоны проплавления при электродуговой наплавке.

Если изобразить усредненную зависимость глубины зоны проплавления для проволочных электродов в диапазоне диаметров 3÷5 мм от скорости наплавки (рис. 1) для условного неподвижного (1), подвижного (2) и быстродвижущегося (3) источников нагрева, можно наблюдать, что в зоне 2 влияние скорости перемещения источника нагрева незначительно.

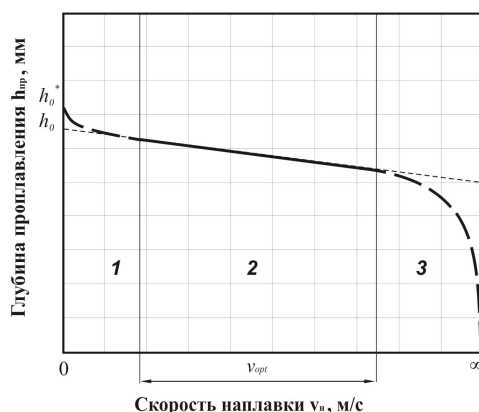


Рис. 1. Зависимость усредненной глубины зоны проплавления от скорости наплавки для проволочных электродов диаметров  $3 \div 5$  мм: 1, 2, 3 - зоны значений скорости наплавки, в которых вид зависимости различен

Из этого можно сделать вывод о том, что увеличение скорости наплавки в пределах основного технологического диапазона не приводит к существенному изменению баланса формообразующих силовых факторов в сварочной ванне, и, также, распределения скоростей жидкого металла и температур в зоне проплавления основного металла.

В области малых значений скорости (зона 1 на рис. 1), если основываться на положениях теории теплопроводности, глубина проплавления должна расти в зависимости, обратная для зоны 3, пересекая ось ординат в точке максимальной глубины проплавления  $h_0^*$  для соответствующих параметров режима наплавки (аппроксимационная кривая на рис. 1 обозначена пунктиром). Однако, при проведении экспериментальных наплавки для неподвижного источника нагрева значение максимальной глубины проплавления оказались значительно ниже (точка  $h_0$  на оси ординат, рис. 1). Следует отметить, что значение глубины проплавления на участке 1 при снижении скорости наплавки до значений  $5 \cdot 10^{-4}$  м/с практически не растут, увеличиваясь лишь при приближении к нулевому значению скорости, то есть при остановке источника нагрева.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать предположение о том, что в диапазоне широко используемых в производстве значений скорости наплавки –  $(1,4 \div 11) \cdot 10^{-3}$  м/с, возможно использовать данные глубины проплавления, полученные на модели для неподвижной дуги.

Это обстоятельство очень важно для определения последовательности построения, как модели, так и расчета размеров зоны проплавления на ее основе, как в случае неподвижного источника нагрева, так и в случае, когда оно движется со скоростью наплавки в рассматриваемом диапазоне.

Поскольку стандартная диффузная теория распространения тепла позволяет с большим приближением рассчитать размеры (форму) стационарной сварочной ванны, изменяя распределенность теплового источника и теплофизические константы для основного металла, учет только диффузионной составляющей теплопереноса не отражает реально наблюдаемые в эксперименте факты. Это обстоятельство требует разработки новых подходов к решению задачи по определению размеров зоны проплавления основного металла при электродуговой наплавке в нестационарном режиме с неподвижной дугой ( $v_n = 0$ ).

Анализ работ, в которых представлены нестационарные модели для вариантов сварки неплавящимся и плавящимся электродом в среде аргона, углекислого газа и их смеси [2,3] показал, что в данных моделях, независимо от способа наплавки, перенос электродного металла и, соответственно, влияние роста зоны наплавки на изменение баланса сил в сварочной ванне не учитывается как значимый. Более того, в данных работах отсутствует информация о расчете интервала роста зоны проплавления до его прекращения и причины, вызывающие это явление. Это требует проведения дальнейших исследований формирования зоны проплавления. Для случая наплавки плавящимся электродом под слоем флюса, не проводился детальный анализ основных силовых факторов формирования зоны проплавления и их распределения по объему сварочной ванны для определения их влияния на движение жидкого металла и конвекционный теплоперенос, что не позволило построить нестационарную математическую модель для расчета размеров зоны проплавления при  $v_n = 0$  с учетом силовых факторов в сварочной ванне. В работах [4–6] были рассмотрены квазистационар-

ные модели сварочной ванны для случая сварки под слоем флюса. Впрочем, при наплавке под флюсом очень сложно контролировать, а то и просто определить основные параметры, влияющие на эволюцию сварочной ванны в период ее формообразования.

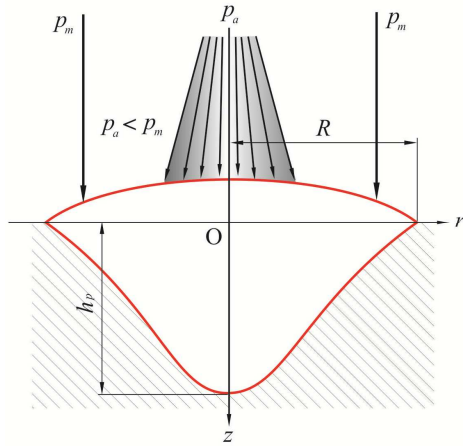


Рис. 2. Схема баланса давлений в сварочной ванне при неподвижном источнике нагрева

Для анализа баланса давлений в случае неподвижного источника нагрева построена расчетная схема баланса давлений в сварочной ванне, которая представлена на рис. 2.

Эволюция прослойки жидкого металла под дугой –  $\delta_{ж}$ , и, соответственно, зоны проплавления, определяется динамическим балансом металлостатического давления и давления дуги на сварочную ванну.

Основным фактором, влияющим на вытеснение жидкой прослойки на периферийные участки ванны и рост глубины проплавления после начала действия дуги, является ее давление на основной металл ( $P_d$ ):

$$p_d = \frac{P_d}{F_{пд}}, \quad (1)$$

где  $P_d$  – сила действия дуги на изделие, Н;

$F_{пд}$  – площадь пятна дуги,  $m^2$ .

Значение площади пятна дуги  $F_{пд}$  принимаем согласно [7], изменение значения  $F_{пд}$  при росте объема расплавленного металла не учитываем.

Металлостатическое давление  $p_m$  (Па) можно определить по выражению:

$$p_m = \rho g(h_{np} + h_{yc} - \delta_p), \quad (2)$$

где  $h_{np}$ ,  $h_{yc}$  – соответственно, глубина проплавления металла изделия и высота усиления наплавленного валика, м.

Поскольку энергетические характеристики дуги не изменяются при постоянных параметрах режима наплавки, рост зоны проплавления происходит до момента, при котором давление дуги будет уравновешенный металлостатическим давлением жидкого металла (рис. 3). После этого момента дуга будет вытесняться вверх и металл жидкого слоя, заполняя кратер, будет пополнять исключительно зону наплавки.

Для определения точки равновесия  $p_d = p_m$ , необходимо было определить функциональную зависимость  $p_m = f(t)$ . При этом исходили из предположения, что рост глубины проплавления прекращается при выходе дуги на поверхность основного металла, когда

$$p_d = \rho g h_{yc}, \quad (3)$$

где  $h'_{yc}$  – величина высоты усиления валика, м, металлостатическое давление которого равно давлению дуги.

Учитывая, что давление дуги можно определить:

$$p_d = 10^{-7} \cdot j_d \cdot I_n, \quad (4)$$

где  $j_d$  – средняя плотность тока в дуге,  $A/m^2$ .

По данным [7], значение  $j_d$  при дуговой наплавки находятся в пределах  $(18 \div 22) \cdot 10^6 A/m^2$ . В расчетах принимали значение  $j_d = 20 \cdot 10^6 A/m^2$ .

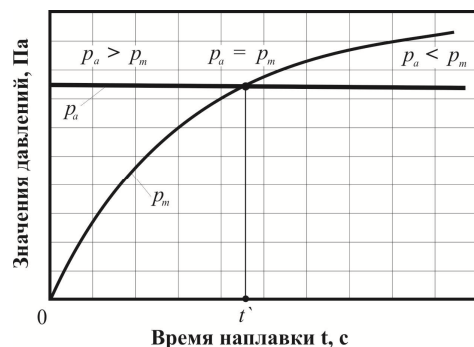


Рис. 3. Схема динамики баланса давлений в сварочной ванне при неподвижном источнике нагрева



Таким образом, значение глубины зоны проплавления, при котором прекращается рост зоны проплавления и дуга начинает вытесняться вверх расплавленным металлом сварочной ванны, может быть выражено следующим уравнением:

$$h_{np} = \frac{P_0}{\rho g} - h'_{noc} + \delta_p \quad (5)$$

Для определения  $h'_{yc}$  необходимо было разработать методику решения уравнения равновесия наплавленного металла сварочной ванны в нестационарных условиях. При решении уравнения равновесия сварочной ванны под действием сил поверхностного (межфазного) натяжения и сил притяжения, которое имеет вид дифференциального уравнения второй степени, использовали вариационно-энергетический метод по модели, изложенной в [8]:

Для получения частного решения и определения всех размеров жидкой капли, были заданы граничные условия, соответствующие некоторой дуге интегральной кривой. Для этих условий определены площадь сечения ( $F_n, m^2$ ) и диаметр точки ( $B, m$ ), жидкой капли, которые могут быть рассчитаны или измерены в результате эксперимента. Для вычисления параметров  $b_0$  и  $f_0$  использовали уравнения объема фигуры вращения, образованной гладкой кривой второго порядка. Поскольку объемная скорость подачи электродного металла является величиной постоянной, изменение объема наплавленного металла во времени имеет линейный характер, что позволяет определить значение  $f_0$  в любой момент времени формирования стационарной сварочной ванны. Поскольку искомое значение параметра  $c$  можно определить по выражению (3), расчет останавливали при выполнении условия:

$$c = h'_{yc}/a_k \quad (6)$$

Результаты расчета по разработанной модели показали, что формирование зоны проплавления в широком диапазоне параметров режима для случая наплавки проволочным электродом под слоем флюса практически совпадает. Независимо от диаметра электрода и параметров режима наплавки (в определенном диапазоне) динамика формирования зоны проплавления соответствует усредненной зависимости, что подтверждает обоснованность использованного подхода к моделированию формирования зоны проплавления на постоянной основе. Экспериментальные данные относительной глубины проплавления  $h^*$  от времени действия источника нагрева для наплавки проволочными электродами под слоем флюса приведены на рис. 4.

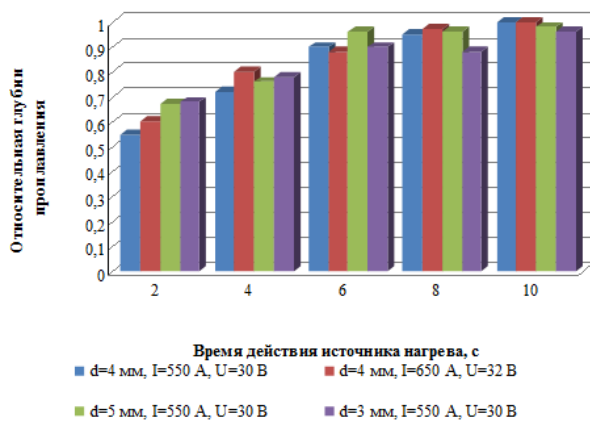


Рис. 4. Расчетная зависимость относительной глубины проплавления от времени действия источника нагрева по сравнению с экспериментальными данными

Анализ данных показывает, что при электродуговой наплавке под слоем флюса проволочными электродами рост глубины зоны проплавления основного металла завершается в период времени 10÷12 с, причем в первые две секунды формирования зоны проплавления ее размеры достигают величин, не менее 60% от предельных для всех вариантов наплавки.

Результат расчета по разработанной методике позволяет, таким образом, получить в качестве исходного параметра значение момента времени  $t'$ , при достижении которого сварочная дуга будет вытеснена на поверхность основного металла и рост глубины проплавления прекратится.

Это является необходимым условием для создания новой модели формирования сварочной ванны в нестационарном режиме, которая позволит определять параметры зоны проплавления и зоны наплавки в условиях изменения силового баланса в сварочной ванне. Применение данной модели впервые дает возможность использовать в качестве одного из входных параметров ходе эволюции зоны проплавления и установить функциональные зависимости формирования размеров наплавленного валика не только от параметров

режима наплавки, но и от времени горения дуги. Кроме того, с помощью разработанной модели появляется возможность получать расчетным путем данные о формировании сварочной ванны при неподвижном источнике нагрева, которые ранее можно было установить только экспериментальным путем.

Применение предлагаемой расчетной методики также позволит дополнительно повысить эффективность электродуговой наплавки проволокой и ленточным электродом под слоем флюса при использовании автоматизированного оборудования, за счет создания соответствующего программного обеспечения для управления процессом в режиме реального времени.

**Выводы:**

1. На основе баланса давлений сварочной дуги и гидростатического давления столба жидкого металла в кратере сварочной ванны при нулевой скорости наплавки определено время, в течение которого прекращается увеличение размеров зоны проплавления для вариантов наплавки проволокой диаметром 3÷5 мм под флюсом. При этом получена хорошая сходимости расчетных значений и экспериментальных данных.
2. Разработана методика расчета, позволяющая определять параметры зоны проплавления основного металла головной части ванны в зависимости от времени действия источника нагрева.

Список используемых источников:

1. Чернышов Г.Г. Распределение тока в сварочной ванне / Г.Г. Чернышов, М.П. Сычев, А.М. Рыбачук, В.Ф. Кубарев // Автоматическая сварка. -1979. - №11. -с.27-29.
2. Matsunawa A. Convection in weld pool and its effect on penetration shape in stationary arc welds/ A. Matsunawa, S. Yokoya, Y. Asako // Transactions of JWRI. – 1987. – Vol. 16, No. 2. – PP. 229s–236s.
3. Урусов Р.М. Численное моделирование нестационарного нагрева и плавления анода электрической дугой. Часть 2. Расчетные характеристики сварочной ванны анода / Р.М. Урусов, Ф.Р. Султанова, Т.Э. Урусова // Теплофизика и аэромеханика. –2012(19). –№ 1. – С. 111-124.
4. Cho D.-W. Analysis of submerged arc welding process by 3D computational fluid dynamics simulations./ D.-W. Cho, W.-H. Song, M.-H. Cho, S.-J. Na // J. Materials Processing Technology. – 2013. – Vol. 213. P. 2278-2291.
5. Sengupta V. Effect of current on metal transfer in SAW. Part 1: DCEP / V. Sengupta, P. F. Mendez // Welding Journal. – 2017. – Vol. 96, No. 6. – PP. 241-s–249-s.
6. Цвелев Р.В. Физико-математическое моделирование процесса дуговой сварки под флюсом / Р.В. Цвелев, Д.В. Слезкин, В.А. Судник, В.А. Ерофеев, А.В. Масленников // Сб. тр. Междунар. конф. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 2012. – С. 156-163.
7. Размышляев А.Д. Физические основы формообразования валиков и швов при дуговой наплавке и сварке с управляющими воздействиями: дис. докт. техн. наук: 05.03.06 / А.Д. Размышляев. – Мариуполь, 1996. – 394 с.
8. Березовский Б.М. Математические модели дуговой сварки: В 3 т. – Т.1. Математическое моделирование и информационные технологии, модели сварочной ванны и формирования шва / Б.М. Березовский. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2002. – 585 с.

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ ПОДЛОЖКА-ИЗДЕЛИЕ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЕЧАТИ АЛЮМИНИЕВОЙ БРОНЗЫ**

*Е.С. Хорошко, м.н.с., А.В. Филиппов, к.т.н, с.н.с., Н.Н. Шамарин, м.н.с.*

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81*

*E-mail: avf@ispms.ru*

**Аннотация:** В данной работе рассматривается процесс электронно-лучевой печати алюминиевой бронзы БрА7 на подложке из аустенитной коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. С применением методов металлографических исследований установлены размеры сформированных областей с различным структурно-фазовым составом в пределах рассматриваемой переходной области подложка-изделие. Методом энергодисперсионного анализа с применением растрового электронного микроскопа установлен химический состав, сформировавшихся в переходной области частиц вторичных фаз. Эти частицы являются интерметаллидными соединениями типа  $Fe_x-Al_y$ ,  $Ni_x-Al_y$ .

**Abstract:** In this paper, we consider the process of electron-beam printing of aluminum bronze Cu-7%Al on a substrate of austenitic corrosion-resistant steel AISI 321. Using the methods of metallographic studies, the

sizes of the formed regions with different structural-phase composition within the considered transition region of the substrate-product are established. By the method of energy dispersive analysis using a scanning electron microscope, the chemical composition established in the transition region of the particles of the secondary phases is established. These particles are intermetallic compounds of the type  $Fe_x-Al_y$ ,  $Ni_x-Al_y$ .

**Ключевые слова:** медный сплав, аддитивное производство, структура.

**Keywords:** copper alloy, additive manufacturing, structure.

В последние два десятилетия технологии аддитивного производства изделий получили широкое распространение в различных отраслях промышленности [1, 2]. Этому способствует значительный прогресс в области изучения влияния условий и методов печати на особенности структурообразования разнообразных металлов и сплавов.

Медные сплавы и в частности алюминиевые бронзы широко распространены в промышленности. Из них изготавливают различные изделия, работающие преимущественно в условиях воздействия коррозионных сред и/или механического износа. Однако, как известно печать изделий из меди и медных сплавов является сложной задачей. Это связано с их высокой теплопроводностью и окислением межслойных границ при печати даже с защитной атмосферой [3-5]. Одну из этих проблем можно устранить используя технологии печати в вакууме. Среди известных технологий в этом отношении наиболее эффективной для печати меди является электронно-лучевая печать.

Важным элементом процесса печати является подложка, на которой осуществляется печать изделия. От выбора материала подложки зависит ряд аспектов процесса печати, например, условия теплоотвода, формирование структурно-фазового градиента на границе подложка-изделие. При этом на границе подложка-изделие происходит взаимное растворение элементов, входящих в состав как подложки, так и филамента. В результате первые напечатанные слои значительно отличаются по составу от требуемого. От особенностей формирования первых слоев зачастую зависит качество формируемого изделия. Изменение химического состава приводит к формированию новых фаз, не характерных для используемого филамента. Это в свою очередь отражается на микро и макроструктуре формируемого изделия.

Целью данной работы является исследование структуры в переходной области подложка-изделие при печати алюминиевой бронзы на подложке из аустенитной коррозионностойкой стали.

Для получения образцов использовалась проволока алюминиевой бронзы, содержащая 7,5% алюминия. Печать осуществлялась на лабораторной установке, разработанной и изготовленной в ИФПМ СО РАН [6]. В качестве подложек использовалась сталь 12X18H10T. Металлографические исследования выполнены на оптическом микроскопе Метам-ЛВ. Анализ химического состава в переходной зоне выполнен при помощи энерго-дисперсионного метода на микроскопе Microtrac SemTrac mini.

На основе металлографических исследований можно выделить четыре основные области в пределах переходной зоны. Первая, представляется собой область переплавления стали толщиной порядка 200 мкм. Структура стали в этой области является крупноклеточной дендритной со средним размером ~15 мкм. Вторая область, представляет собой тонкую полосу (толщиной ~10 мкм) которая резким градиентом отделяет первую область от третьей. Третья область, состоит из матрицы из алюминиевой бронзы со значительным количеством разнообразных интерметаллидных фаз. Среди этих фаз можно выделить соединения:  $Fe_x-Cr_y$ ,  $Fe_x-Al_y$ ,  $Ni_x-Al_y$ . Часть из этих фаз характерна для высокопрочных алюминиевых бронз, содержащих алюминий, железо и никель. Четвертая область, представляет собой матрицу из твердого раствора Cu-Al с небольшим количеством интерметаллидных частиц  $Fe_x-Al_y$ ,  $Ni_x-Al_y$ .

Выше переходной области структура напечатанной алюминиевой бронзы представлена вытянутыми столбчатыми дендритными зернами. Их толщина составляет от 100 мкм до 1 мм, а высота достигает до 5 мм.

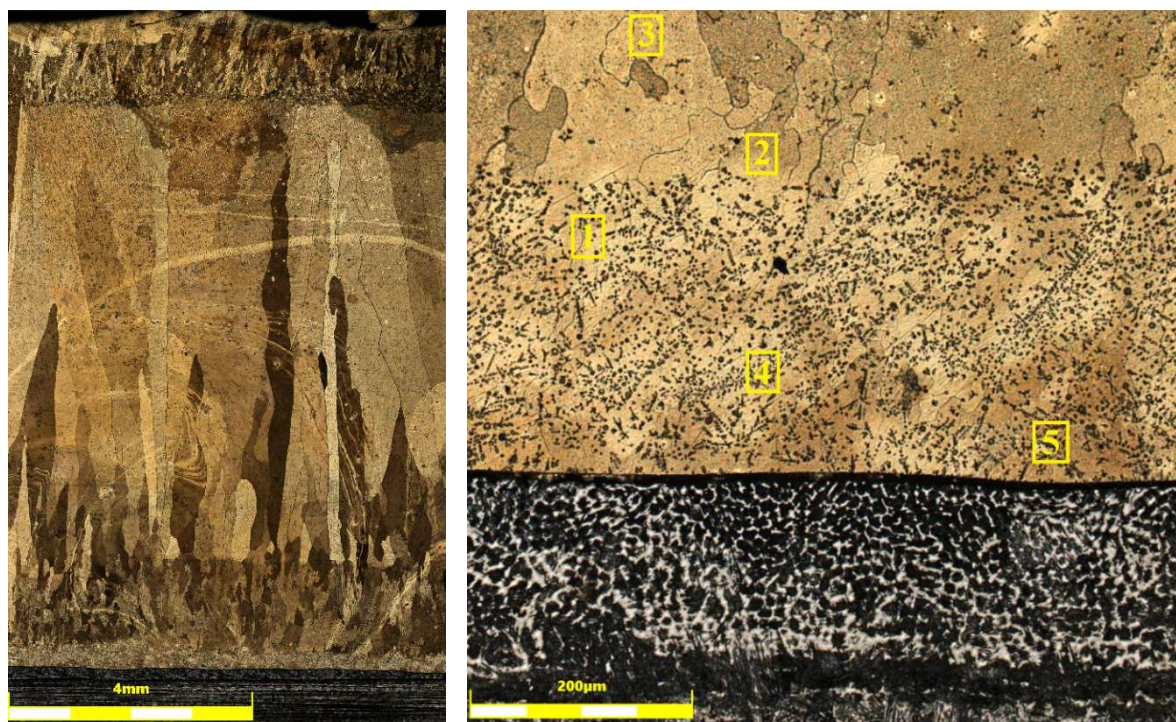


Рис. 1. Изображения макроструктуры напечатанного образца алюминиевой бронзы (а) и переходной зоны подложка-изделие (б)

Таблица 1

К анализу химического состава в переходной зоне подложка-изделие

Область анализа	Химические элементы, at%					
	Cu	Al	Fe	Cr	Ni	Ti
1	75,7	11,9	9,5	1,3	1,6	0,0
2	83,4	9,2	4,2	0,5	2,3	0,4
3	86,4	7,6	4,0	0,8	1,0	0,2
4	85,5	7,2	3,2	1,5	1,6	1,0
5	1,3	0,9	70,3	21,4	5,9	0,2

### Выводы

В результате выполненных экспериментальных исследований установлены четыре зоны с различным структурно-фазовым составом в пределах переходной области подложка-изделие. Использование аустенитной коррозионностойкой стали 12X18H10T в качестве подложки привело к частичному растворению никеля и железа в матрице алюминиевой бронзы. Из-за это сформировались интерметаллидные частицы Fe<sub>x</sub>-Al<sub>y</sub>, Ni<sub>x</sub>-Al<sub>y</sub>.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90130.*

### Список используемых источников:

1. Murr L.E. Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting. Addit Manuf 2015; 5:40–53. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.12.002>.
2. Murr L.E., Gaytan S.M., Ramirez D.A., Martinez E., Hernandez J., Amato K.N., et al. Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies. J Mater Sci Technol 2012;28:1–14. [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(12\)60016-4](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(12)60016-4).
3. Guschlbauer R., Momeni S., Osmanlic F., Körner C. Process development of 99.95% pure copper processed via selective electron beam melting and its mechanical and physical properties. Mater Charact 2018;143:163–70. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.04.009>.

4. Pobel C.R., Lodes M.A., Körner C. Selective Electron Beam Melting of Oxide Dispersion Strengthened Copper. *Adv Eng Mater* 2018;20:1–7. <https://doi.org/10.1002/adem.201800068>.
5. Raab S.J., Guschlbauer R., Lodes M.A., Körner C. Thermal and Electrical Conductivity of 99.9% Pure Copper Processed via Selective Electron Beam Melting. *Adv Eng Mater* 2016;18:1661–6. <https://doi.org/10.1002/adem.201600078>.
6. Tarasov S.Y., Filippov A.V., Shamardin N.N., Fortuna S.V., Maier G.G., Kolubaev E.A. Microstructural evolution and chemical corrosion of electron beam wire-feed additively manufactured AISI 304 stainless steel. *J Alloys Compd* 2019;803:364–70. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2019.06.246>.

## ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН TiC/(Ni-Cr) ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛА

Овчаренко В.Е.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, Чинахов Д.А.<sup>1,2,a</sup>, к.т.н., доцент,  
<sup>1</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г.Томск,  
634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4,

<sup>2</sup> Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
652055 Россия, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская 26

<sup>a</sup>E-mail: chinakhov@tpu.ru

**Аннотация:** В работе рассмотрены закономерности влияния режимов импульсного электронного облучения в плазме аргона поверхности резцов из пластин металлокерамического сплава 50 об. % TiC/50 об. % (Ni-Cr) на стойкость резцов при резании металла.

**Abstract:** The regularities of the influence of pulsed electron irradiation modes in an argon plasma of the surface of cutters made of ceramic-metal alloy 50 vol.% TiC / 50 vol.% (Ni-Cr) on the resistance of cutters during metal cutting are considered.

**Ключевые слова:** металлокерамический сплав, поверхностный слой, импульсное электронное облучение, стойкость резцов при резании металла

**Key words:** cermet alloy, surface layer, pulsed electron irradiation, resistance of cutters during metal cutting.

### Введение

Проблема повышения ресурса работы металлорежущего инструмента является постоянно актуальной для всех отраслей современной промышленности предметом многочисленных исследований во всех технически развитых странах мира. Исключая методы нанесения специальных износостойких покрытий на рабочие поверхности резцов инструмента, определяющим направлением в создании высокоресурсных резцов из металлокерамических сплавов является структурно-фазовая модификация поверхностного слоя рабочих поверхностей резцов, направленная на формирование в поверхностном слое высокопрочных субмикроструктурных и наноразмерных металлокерамических состояний путем высокоэнергетического воздействия на поверхностный слой. Сказанное наиболее эффективно достигается при электронном облучении в импульсном режиме тонкого поверхностного слоя ( $10^{-4} - 10^{-3}$  мм) до критических температур и достижение в поверхностном слое предельных градиентов температуры (до  $10^7 - 10^8$  град/м), обеспечивающих охлаждение поверхностного слоя за счет теплоотвода в основной объем материала со скоростью  $10^4 - 10^9$  град/с, определяют условия образования в поверхностном слое неравновесных структур, в т.ч. в наноразмерной области структурно-фазовых состояний.

Целью настоящей работы являлось исследование закономерностей влияния на стойкость резцов из металлокерамического сплава 50 об. % TiC/50 об. % (Ni-Cr) импульсного электронного облучения рабочих поверхностей режущих пластин при различных значениях плотности мощности электронного пучка и длительности импульсов облучения.

### Материалы и методы исследования

Модификацию структурно-фазового состояния поверхностных слоев резцов из металлокерамического сплава 50 об. % TiC/50 об. % (Ni-Cr) проводили импульсным облучением в плазме аргона электронным пучком с длительностью импульсов ( $\tau$ ) 30, 50, 100, 150 и 200 мкс в режиме одиночных импульсов (число импульсов облучения  $N = 15$ ) с плотностью энергии электронов в пучке ( $E_S$ ) от 21 до 30 Дж/см<sup>2</sup>. При этом плотность мощности энергии ( $W_S$ ) в пучке при изменении длительности импульсов в указанных выше пределах изменялась в диапазоне  $(1...6) \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup> [1-3] (таблица 1).

Таблица 1.

№ режима обработки	$\tau$ , мкс	$E_s$ , Дж/см <sup>2</sup>	$W_s$ , 10 <sup>5</sup> , Вт/см <sup>2</sup>	N, имп.
1	50	30	6,0	15
2	100	27	2,7	15
3	150	21	1,5	15
4	200	22	1,1	15

Заточку резцов в пластин из металлокерамического сплава проводили на универсально-заточном станке модели ЗМ642 с использованием круга АС4-63/50-4-В2-01. Пластины закрепляли в трёхворотных тисках и ориентировали относительно шлифовального круга. В процессе затачивания пластине придавали форму призмы с квадратом в основании. На двух рёбрах пластины, соответствующих рабочим вершинам, были выполнены упрочняющие фаски. Эскиз пластины представлен на рис. 1, размеры заточенных пластин приведены в таблице 2.

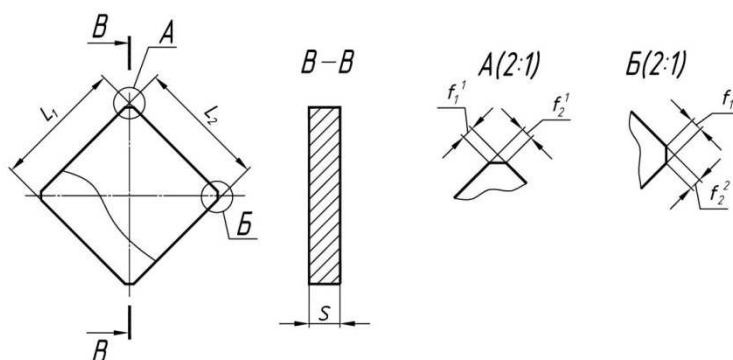


Рис. 1. Эскиз резца из металлокерамической пластины после заточки

Таблица 2

Размеры резцов после заточки

№	Режим облучения ( $W_s$ , 10 <sup>5</sup> , Вт/см <sup>2</sup> )	Размеры, мм							
		Вершина №1				Вершина №2			
		$L_1$	$f_1^1$	$f_2^1$	$s^1$	$L_2$	$f_1^2$	$f_2^2$	$s^2$
1	Исходное состояние	11,73	0,38	0,39	2,86	11,63	0,36	0,38	2,92
2	6,0	11,81	0,41	0,40	3,00	11,89	0,42	0,38	3,08
3	2,2	11,79	0,42	0,43	2,82	11,68	0,43	0,44	2,81
4	1,5	11,71	0,36	0,37	2,88	11,77	0,43	0,39	2,94
5	1,0	11,82	0,36	0,38	2,95	11,78	0,42	0,37	2,77

Углы инструмента в статической системе координат измеряли при помощи угломера маятникового. Результаты измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3

Статические углы резца.

Параметр	Значение, град
Главный передний угол $\gamma$	-5
Главный задний угол $\alpha$	7
Главный угол в плане $\phi$	45
Главный угол наклона режущей кромки $\lambda$	5
Вспомогательный передний угол $\gamma_1$	-5
Вспомогательный задний угол $\alpha_1$	7
Вспомогательный угол в плане $\phi_1$	45
Вспомогательный угол наклона режущей кромки $\lambda_1$	-5

Измерения сил резания производились на токарно-винторезном станке модели 1К62. На суппорт станка был установлен трёхкомпонентный упруго-электрический динамометр с закрепленным на нем исследуемым резцом. К динамометру подключали измерительную станцию для регистрации показаний одновременно по трём измерительным каналам.

#### Результаты и их обсуждение

Известно, что при обработке конструкционных сталей основной износ токарных резцов происходит по переходной и главной задней поверхности [4,5]. Динамика роста износа для всех поверхностей резца различна. Наибольший износ всегда наблюдается на переходной задней поверхности. На главной задней поверхности величина износа переменная, она минимальна в конце зоны контакта и увеличивается, достигая максимального значения, на переходной задней поверхности. Учитывая рекомендации, высказанные в [4,5], при проведении стойкостных экспериментов за критерий износа принимали износ по переходной задней поверхности, равный 1мм.

На рисунке 2 представлены зависимости износа резцов в исходном состоянии и после импульсного электронного облучения с плотностью мощности в электронном пучке от 1,0 до  $6,0 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Полученные экспериментальные данные показывают, что стойкость режущих пластин, подвергнутых электронно-пучковому облучению, значительно выше, чем исходных пластин. Анализируя кривые износа можно отметить, что практически все они имеют явно выраженные участки приработки, нормального и катастрофического износа. Участок приработки на всех пластинах составляет по времени резания приблизительно около 1 минуты. Увеличение стойкости пластин, подвергнутых электронно-пучковому облучению, достигается за счет увеличения времени нормального износа.

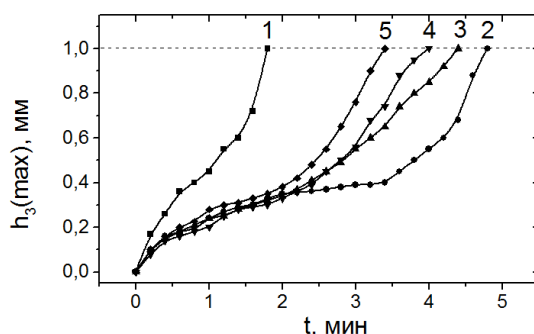


Рис. 2. Временные зависимости износа металлокерамических резцов в исходном состоянии (кривая 1) и после обработки электронным пучком с плотностью мощности энергии  $W_s$ ,  $10^5$  Вт/см<sup>2</sup>: 2 – 6,0; 3 – 2,2; 4 – 1,5; 5 – 1,0

Стойкость облученных пластин, в соответствии с рисунком 3.37, значительно выше, чем исходных. Однако режим облучения влияет неоднозначно на увеличение стойкости, а именно: при плотности мощности пучка электронов  $W_s = 6,0 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup> и  $W_s = 2,2 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup> – в 2,5 раза;  $W_s = 1,5 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup> и  $W_s = 1,0 \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup> – в 2,1 раза (рис. 3).

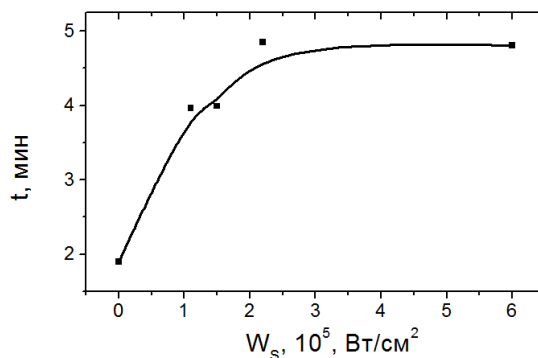


Рис.3. Зависимость периода стойкости вершины режущей пластины до достижения величины  $h_3 \text{ max} = 1$  мм от плотности мощности электронного пучка.  $h_3 \text{ max}$  – максимальная величина износа по переходной задней поверхности режущего инструмента

Подобный результат получен и при анализе зависимости величины пути резания за один проход от критической степени износа передней режущей кромки металлокерамического резца от величины плотности мощности электронного облучения (рис.4).

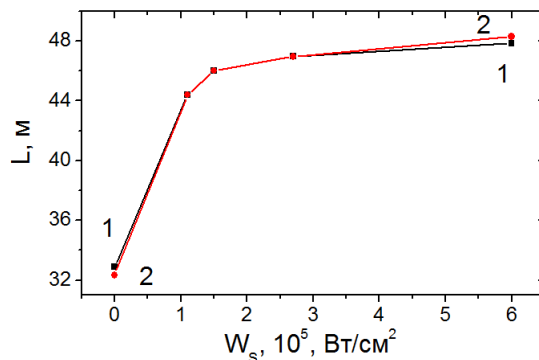


Рис. 4. Зависимость величины пути резания  $L$  за один проход до критической степени износа передней режущей кромки металлокерамической пластины ( $h_3(\max)$ ) от длительности импульса облучения (а) и плотности мощности электронного пучка (б). Режим облучения № 2. Кривая 1 –  $h_3(\max) = 0,3 \text{ мм}$ ; кривая 2 –  $h_3(\max) = 1 \text{ мм}$ .

#### Заключение

Оптимальным режимом упрочнения рабочей поверхности резцов из металлокерамического сплава 50 об. % TiC/50 об. % (Ni-Cr) методом импульсного электронного облучения в плазме аргона при резании стали 40Х является облучение электронным пучком с плотностью мощности  $W_s \sim 6,0 \cdot 10^5 \text{ Вт/см}^2$ . Полученные результаты находятся в соответствии с полученными ранее данными о формировании наноразмерных структурно-фазовых состояний в металлокерамическом сплаве 50 об. % TiC/50 об. % (Ni-Cr) при импульсном электронно-пучковом облучении в плазме инертного газа и влиянии структурно-фазовой модификации на физические и прочностные свойства металлокерамического сплава [6,7].

*Работа выполнена в рамках госбюджетной тематики ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.1.*

Список используемых источников:

1. Devyatkov V.N., Koval N.N., Schanin P.M., Grigoryev V.P., Koval T.V. Generation and propagation of high-current low-energy electron beams// Laser and Particle Beams. – 2003. – V.21. – P. 243-248.
2. Коваль Н.Н., Девятков В.Н., Щанин П.М., Толкачев В.С., Винтизенко Л.Г. Установка для обработки поверхности металлов электронным пучком // ПТЭ, 2005, №1, с. 135-140.
3. Девятков В.Н., Коваль Н.Н., Григорьев С.В., Сочугов Н.С. Плазменный источник электронов «Соло» // Труды II международного крейнделевского семинара «Плазменная эмиссионная электроника», г. Улан- Удэ, 17-24 июня 2006 г., с.79-85.
4. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1985.-304 с.
5. Развитие науки о резании металлов/ под ред. В. Ф. Боброва М.: Машиностроение, 1967. – 416с.
6. Ovcharenko V.E., Ivanov K.V., Ivanov Yu.F., and A. A.Mohovikov. Influence of High Energy Impact on the Structural-Phase State and Tribological Properties of the Surface Layer of Metal-Ceramic Composite Materials//Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2018, Vol. 12, No. 3, pp. 485–491.
7. Vladimir E. Ovcharenko, Oleg V. Lapshin, Konstantin V. Ivanov, Vasilij A. Klimenov. Effectiveness of inert plasma gases in formation of modified structures in the surface layer of a cermet composite under pulsed electron irradiation//International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 77 (2018) 31–36.



**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО РАСПЫЛЕНИЯ**

*М.А. Кузнецов, А.В. Крюков, С.А. Солодский*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, Россия.*

*E-mail: kuznechik\_85@mail.ru*

**Аннотация:** В работе рассмотрено моделирование процесса, получения порошков микро- и наноразмерного диапазона. По результатам моделирование было спроектировано и разработано сопло плазматрона, реализующего процесс генерации капель микро- и наноразмерного диапазона.

**Abstract:** The paper considers the modeling of the process of obtaining powders of the micro- and nanoscale range. Based on the simulation results, a plasma torch nozzle was designed and developed that implements the micro- and nanoscale droplet generation process.

**Ключевые слова:** моделирование, сопло плазматрона, порошки микро- и наноразмерного диапазона.

**Key words:** modeling, plasmatron nozzle, micro- and nanoscale powders.

Для разработки конструкции исполнительного оборудования, реализующего процесс генерации капель микро- и нанодиапазона было произведено моделирование процесса получения мелко-размерных частиц с использованием плазменного распыления [1,2]. Одной из главных задач является рассмотрение процесса формирования плазменной струи и течения электродуговой плазмы [3,4].

Для работы плазматрона весьма важны геометрические размеры газового канала, в котором образуется плазма. С целью оптимизации геометрии сопла, и параметров режима плазматрона было проведено моделирование процесса работы плазматрона. Расчётная область задачи представляет собой газовый канал проектируемого плазматрона. Рассматривались различные значения входного, выходного диаметров сверхзвукового сопла, его длина.

Постановка задачи:

При формулировке были установлены следующие допущения:

- поток газа является ламинарным;
- действие силы тяжести не учитывается;
- рассматривается осесимметричная задача;
- термодинамические и транспортные свойства газа зависят от температуры.

Рассматриваемая модель описывается следующими основными уравнениями:

Система уравнений Максвелла:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{J} = \left( \sigma + \epsilon \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \right) \bar{E}; \\ \bar{E} = -\nabla V; \\ \sigma \frac{\partial \bar{A}}{\partial t} + \nabla \times \bar{H} = \bar{J}; \\ \bar{B} = \nabla \times \bar{A}, \end{array} \right.$$

где  $V$  - электрический потенциал;  $J$  - плотность тока;  $E$  - напряжённость электрического поля;  $B$  - вектор магнитной индукции;  $H$  - вектор магнитной напряжённости,  $\sigma$  - электропроводность;  $\mu$  - относительная магнитная проницаемость;  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость.

Уравнение баланса энергии:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \bar{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q;$$
$$Q = E \cdot J + Q_{rad},$$

где  $\rho$  - плотность;  $C_p$  - теплоёмкость;  $k$  - теплопроводность;  $EJ$  - Джоулев нагрев;  $Q_{rad}$  - потери на радиацию.

Уравнение движения:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot \left[ -pI + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T) \right] + F;$$

$$F = \frac{1}{2} \text{Re}(J \times B^*)$$

где  $F$  - сила лоренца;  $u$  - поле скоростей;  $p$  - давление;  $T$  - температура;  $\mu$  - динамическая вязкость;  $\rho$  - плотность.

Уравнение непрерывности:

$$\rho \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \nabla(\rho \bar{u}) = 0$$

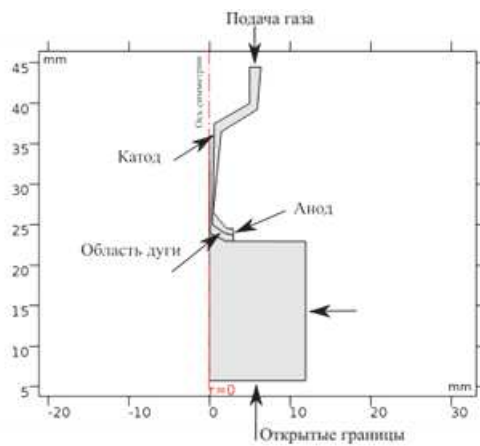


Рис. 1. Расчетная область

Рассматривались значения скорости газа в критическом сечении реактивного сопла и распределение температуры.

Для работы плазматрона весьма важны геометрические размеры газового канала, в котором образуется плазма. С целью оптимизации геометрии сопла, и параметров режима плазматрона было проведено моделирование процесса работы плазматрона. Расчётная область задачи представляет собой газовый канал проектируемого плазматрона и представлена на рисунке 1. Рассматривались различные значения входного, выходного диаметров сверхзвукового сопла, его длина.

Входными параметрами для моделирования были выбраны: расход газа, л/мин (10-40), ток, А (100-200), диаметр, мм (1,5-4), длина сопла, мм (10-30), диаметр на входе, мм (3-10)

На рисунке 2 представлены результаты моделирования для некоторых значений варьируемых

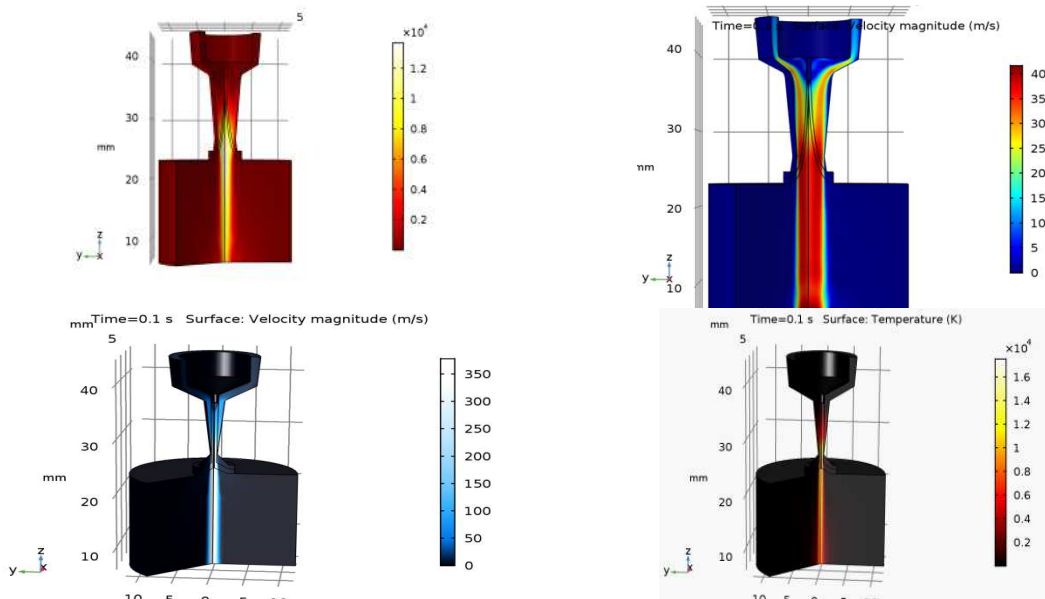


Рис. 2. Распределение скоростей и температур в плазмообразующем канале

По результатам моделирования было спроектировано и разработано сопло плазмотрона, представленное на рисунке 3.

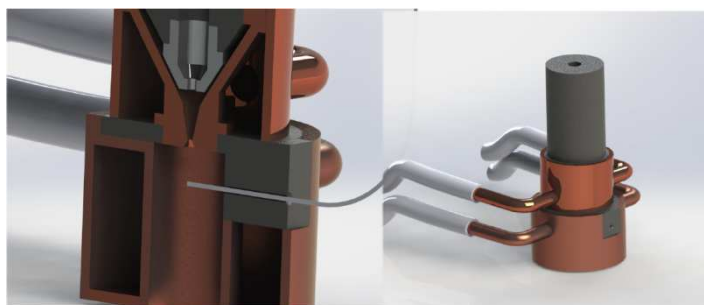


Рис. 3. Сопло плазмотрона

#### Выводы

Смоделирован процесс течения плазмы, разработана и спроектирована конструкция исполнительного оборудования, реализующая исследуемый процесс генерации капель микро- и наноразмерного диапазона. Изготовлено сопло плазмотрона формирующее необходимые направления плазменных потоков для образования на поверхности капли жидкого металла микронеровностей под действием исследуемых неустойчивостей.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10035)*

#### Список используемых источников:

1. Peng J., Yang L. Mathematical model on characteristics of V groove molten pool during MIG welding. CIESC J. 2016; 67 (S1): 117-126.
2. Bilenko G.A., Khaibrakhmanov R.U., Korobov Y.S. Computer Simulation in Developing the Technology of Welding High-Tensile Steel Sheets. Metallurgist. 2017; 61: 265-270.
3. Kumar N., Bandyopadhyay A. Simulation of the effects of input parameters on weld quality in laser transmission welding (LTW) using a combined response surface methodology (RSM)-finite element method (FEM) approach. Lasers Eng. 2017; 36: 225-243.
4. Chinakhov D.A., Vorobjev A.V., Tomchik A.A. Simulation of active shielding gas impact on heat distribution in the weld zone. Mater. Sci. Forum. 2013; 762: 717-721.

### СПОСОБЫ ВЛИЯНИЯ НА СВОЙСТВА И ГЕОМЕТРИЮ СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

*Д.А. Чинахов, к.т.н, доцент, Е.Г. Григорьева<sup>а</sup> ст.преподаватель,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, Тел: 8 (384-51) 7-77-63,*

*<sup>а</sup>E-mail: Sedasch@tpu.ru*

**Аннотация:** Сварка в защитных газах является одним из наиболее распространенных способов сварки плавлением, применяемых в промышленности. Управление свойствами и геометрией шва играют важнейшую роль в оценке эффективности процесса сварки, так как определяют работоспособность металлоконструкции. В данной работе произведен обзор современных методик повышения качества сварки в защитных газах. В результате проведенных исследований установлено, что динамическое воздействие струи защитного газа оказывает существенное влияние на формирование сварного шва.

**Abstract:** Shielded gas welding is one of the most common fusion welding methods used in industry. The management of the properties and geometry of the weld play a crucial role in assessing the effectiveness of the welding process, as they determine the performance of the metal structure. In this paper, we review modern methods for improving the quality of welding in shielding gases. As a result of the studies, it was found that the dynamic effect of the protective gas jet has a significant effect on the formation of the weld.

**Ключевые слова:** сварка, эффективность, свойство, микроструктура, шов, капля металла, газ.

**Keywords:** welding, efficiency, property, microstructure, seam, drop of metal, gas.

Сварка представляет собой один из значимых технологических процессов обработки металлов. Она находит широкое применение во всех производственных секторах, таких как машиностроение, автомобильная, аэрокосмическая, архитектурная промышленность и микроэлектроника. Быстрое развитие современной промышленности сталкивается с серьезной проблемой повышения эффективности дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Существует множество методов, используемых для решения этой задачи. Ученые всего мира занимаются исследованием и разработкой наиболее эффективных способов сварки.

Сварка в защитных газах – один из наиболее распространенных способов сварки плавлением, применяемых в промышленности. Управление свойствами и геометрией шва играют важнейшую роль в оценке эффективности процесса сварки, так как определяют работоспособность металлоконструкции в целом.

Исследователи [1] предлагают управлять и повышать механические свойства сварочного шва при помощи применения гибридных видов сварки. Так, например, увеличить глубину проплавления и снизить разбрызгивание металла позволило совмещение сварки в  $\text{CO}_2$  и лазерной сварки. Хорошие результаты были получены на образцах, предварительно заваренных сваркой в  $\text{CO}_2$ , а затем на той же самой поверхности производилась дуговая сварка под флюсом. При таком способе сварки улучшается микроструктура и повышается твердость сварного шва [1]. Однако применение комбинированных способов сварки требует использования дополнительного оборудования и не всегда возможно на производстве.

Авторы Yang Z. и др. проводили исследования поведения дуги и переноса капли при сварке в  $\text{CO}_2$  используя модифицированную форму витой проволоки, где основная проволока используется в центре а другие равномерно распределяются вокруг нее. При таком способе сварки существенно изменяется форма сварочной дуги, что влечет за собой увеличение частоты капель и уменьшению их размера. Тем самым повышается эффективность сварочного процесса и качество наплавленного слоя [2].

В ряде исследований установлено, что применение механических колебаний в зоне дуги способствует улучшению структуры и свойств сварных соединений. Для передачи механических колебаний в зоне сварки может быть использовано несколько методов, таких как электродуговые колебания [4-5], прямое введение колебаний в материал через волновод [6], электромагнитное перемешивание [7], введение ультразвуковых колебаний [8-11]: в сварочную ванну, воздействие на сварочную дугу, вибрация электрода и вибрацию заготовки во время сварки [12].

Установлено, что ультразвуковая вибрационная дуговая сварка является более перспективной с точки зрения улучшения механических свойств сварного шва и микроструктуры [12]. Наблюдается более высокая степень измельчения зерна, однородная структура сварного шва и снижение вероятности горячих трещин.

Исследователи [13] предлагают модернизировать традиционный процесс дуговой сварки в защитных газах, путем вращения сварочной проволоки для изменения потока жидкости в расплавленной ванне. Такой способ позволил уменьшить глубину проплавления основного металла и улучшить микроструктуру шва. Более мелкая микроструктура сварного шва заметно увеличивала прочность на растяжение.

Авторы [14] предложили использовать внешнее магнитное поле для управления геометрией и оптимизации механических свойств сварного шва. Внешнее магнитное поле заставляло дугу и сварочную проволоку непрерывно наклоняться вперед по направлению сварки, а также периодически качаться перпендикулярно направлению сварки. Так же наблюдалось увеличение частоты переноса металла и уменьшение размера капли.

Rosado T. и др. исследовали процессы при сварке в газовой защите с использованием двух электродных проволок. В процессе сварки двумя дугами используются две сварочные проволоки с электроизоляцией, расположенные последовательно одна за другой по отношению к направлению сварки. Тандемная сварка обеспечивает хорошие механические и пластические свойства сварных соединений. Тандемный метод является одним из наиболее эффективных методов повышения производительности сварки [15].

Однако большинство перечисленных способов управления процессом сварки требуют затрат дополнительной энергии и применения специализированных устройств и оборудования. Это является сдерживающим фактором для широкого применения в промышленности.

При дуговой сварке защитный газ используется не только для защиты расплавленного металла сварочной ванны, он и для формирования сварочной дуги, которая обеспечивает сварочную энергию. Защитный газ влияет на свойства сварочной дуги, стабильность процесса сварки и конечное качество сварного соединения. В настоящее время наиболее часто используемые газы это аргон (Ar), гелий (He), углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), водород ( $\text{H}_2$ ), кислород ( $\text{O}_2$ ) и их смеси. Защитные газы, взятые индиви-

дуально, имеют различные характеристики, а бинарные, троичные или даже четвертичные смеси разрабатываются и широко используются благодаря их комплексным преимуществам.

Однако исследований в этой области очень мало и механизм влияния защитного газа на процесс сварки (перенос капель и течение расплавленной ванны) до конца не изучен. В основном в работах, связанных с улучшением качества защиты газом зоны сварки, исследования отражают влияние газовой защиты на качество защиты зоны сварки, стабильность процессов сварки, разбрызгивание металла электрода из зоны сварки.

Авторам Федоренко Г.А., Киянов С.С., Тарасов М.Н., Чинахов Д.А., Шейко П.П., Новиков О.М. и др. [16] проводились исследования по воздействию изменения потоков защитных газов на процессы сварки плавящимся электродом. Исследователи выяснили, что с повышением скорости истечения газа происходит улучшение качества защиты зоны сварки, формообразование сварного шва, стабильность большинства процессов сварки. Так же анализ результатов исследований показал, что предел прочности и предел текучести в основном зависят от силы сварочного тока и скорости потока защитного газа [16].

Сварка плавящимся электродом в  $\text{CO}_2$  получила широкое применение за счет ряда преимуществ: высокая концентрация энергии дуги и ее проплавляющая способность, более высокая экономичность процесса, стойкость против образования трещин и пор, возможность визуального наблюдения за формированием сварного шва, высокая мобильность и маневренность процесса. Однако при таких достоинствах способ сварки в  $\text{CO}_2$  имеет и ряд недостатков. Авторы [17] исследовали влияние защитного газа на микроструктуру и механические свойства сварных швов. Определили, что разбрызгивание расплавленного металла увеличивается по мере повышения содержания  $\text{CO}_2$  в защитном газе, состоящем из смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ .

Авторы Cai X. И др. исследовали влияние газа на формирование сварного шва с переменным газом  $\text{Ar-He}$ . Различный защитный газ приводит к различному переносу капель, когда защитным газом является гелий, размер капель становился больше и глубина проплавления увеличивается [18]. Установлено, что применение чередующихся защитных газов создает динамическое воздействие в сварочной ванне и обеспечивает преимущества с точки зрения увеличения скорости сварки, уменьшения пористости в зоне сварки и увеличения прочности на растяжение. Kang и др. [19] установили, что сварка при попеременном подводе  $\text{Ar}$  и  $\text{He}$  образует более глубокий и широкий профиль проплавления сварного шва за счет совместного влияния характеристик концентрации дуги  $\text{Ar}$  и расширения дуги  $\text{He}$  под действием дугового давления импульса с попеременной подачей защитного газа.

М. Gao, X. и др. в своей работе [20] показали, что увеличение подачи  $\text{CO}_2$  может снижать стабильность процесса сварки и влиять на внешний вид сварного шва при сварке углеродистой стали. Кроме того, они определили, что направление и скорость потока защитного газа оказывают влияние на процесс сварки стали. Так же установлено, что изменение расхода защитного газа оказывает существенное влияние на форму расплавленной ванны, увеличение потока газа облегчает распространение жидких металлов в обе стороны, что делает выпуклость края расплавленной ванны меньше. Замечено, что высокий расход газа помогает избежать окисления сварного шва и получить лучший внешний вид, но в тоже время может ухудшиться стабильность процесса сварки. Поэтому объемный расход подаваемого газа должен быть тщательно подобран для достижения требуемого качества сварки. В литературе рекомендуется применять расход защитного газа 15-20 л/мин, но на практике сварщики иногда используют расход до 36 л/мин. Изменение вылета электрода не оказывало никакого влияния на качество сварного шва при расходе защитного газа выше 15 л/мин.

Авторы работ [21] исследовали влияние защитных газов при дуговой сварке в защитных газах. Установлено, что при использовании в качестве защитного газа гелия, ширина и глубина проплавления сварного шва выше, чем у сварных швов с защитным газом  $\text{Ar}$ . Так же, при защите  $\text{He}$ , сварной шов имеет более высокую ударную вязкость.

Авторы [22] изучали влияния защитного газа, водорода и аргона. Наибольшая прочность на растяжение и изгиб была получена у образца, сваренного с использованием с защитного газа 1,5 %  $\text{H}_2 + \text{Ar}$ . Средний размер зерна в металле сварного шва увеличивается с повышением содержания водорода, а также увеличивается глубина проплавления металла шва и его ширина.

Авторы [23] изучали влияние изменения состава защитного газа на свойства сварного шва. После выполнения ряда механических и металлографических испытаний было установлено, что поглощенная энергия при испытании на удар сначала увеличивалась, затем оставалась постоянной при увеличении количества углекислого газа в смеси защитного газа. Количество включений умень-

шается, а объемная доля феррита увеличивается с повышением процентного содержания диоксида углерода в защитном газе, зона термического влияния увеличивается.

Авторами [24] разработан способ сварки с двухструйной газовой защитой сварочной ванны. По результатам экспериментальных исследований установлено, что при одинаковых режимах сварки и расходе газа, но разным способе газовой защиты значительно изменяются геометрические параметры сварного шва. Геометрия наплавляемого валика с применением двухструйного сварочного сопла имеет более плоскую форму [25]. Что способствует значительному повышению прочности сварных соединений, особенно при переменных нагрузках. Так же при сварке с двухструйной газовой защитой наблюдается плавный переход от сварного шва к основному металлу, что обеспечивает более высокую работоспособность сварных соединений.

Газодинамическое управление формообразованием и геометрией сварного шва имеет большое практическое значение и дает возможность повысить эксплуатационную надежность сварной конструкции без дополнительных затрат.

#### Список используемых источников:

1. Lala S. D. et al. Study of hardness of the weld bead formed by partial hybrid welding by metal inert gas welding and submerged arc welding at three different heat inputs //Materials Today: Proceedings. – 2018. – Т. 5. – №. 5. – p. 13650-13657.
2. Yang Z. et al. Arc behavior and droplet transfer of CWW CO<sub>2</sub> welding //Journal of Iron and Steel Research International. – 2016. – Т. 23. – №. 8. – p. 808-814.
3. Shinde A. P. et al. Evaluation of Tensile Strength of a Butt-Welded Joint Considering the Effect of Welding Parameters Using Response Surface Methodology //Materials Today: Proceedings. – 2017. – Т. 4. – №. 8. – p. 7219-7227.
4. L. He, M. Wu, L. Li, H. Hao. Ultrasonic generation by exciting electric arc: a tool for grain refinement in welding process Appl Phys Lett, 89 (2006), pp. 10-12
5. Lei Y. C., Wang Z. W., Chen X. Z. Effect of arc-ultrasound on microstructures and mechanical properties of plasma arc welded joints of SiCp/Al MMCs //Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2011. – Т. 21. – №. 2. – p. 272-277.
6. W. Dai. Effects of high-intensity ultrasonic-wave emission on the weldability of aluminum alloy 7075-T6 Mater Lett, 57 (2003), pp. 2447-2454
7. Villafuerte J. C., Kerr H. W. Electromagnetic stirring and grain-refinement in stainless-steel GTA welds //Welding journal. – 1990. – Т. 69. – №. 1. – p. S1-S13.
8. Vasantharaja P., Vasudevan M., Palanichamy P. Effect of welding processes on the residual stress and distortion in type 316LN stainless steel weld joints //Journal of Manufacturing Processes. – 2015. – Т. 19. – p. 187-193.
9. Yuan T., Kou S., Luo Z. Grain refining by ultrasonic stirring of the weld pool //Acta Materialia. – 2016. – Т. 106. – p. 144-154.
10. Sun Q. J. et al. Penetration increase of AISI 304 using ultrasonic assisted tungsten inert gas welding //Science and Technology of Welding and Joining. – 2009. – Т. 14. – №. 8. – p. 765-767.
11. Fan Y. Y. et al. Ultrasonic wave assisted GMAW //Weld J. – 2012. – Т. 91. – №. 3. – С. 91S-99S.
12. Kumar S. et al. Application of ultrasonic vibrations in welding and metal processing: a status review //Journal of Manufacturing Processes. – 2017. – Т. 26. – p. 295-322.
13. Zhang H. et al. A novel rotating wire GMAW process to change fusion zone shape and microstructure of mild steel //Materials Letters. – 2014. – Т. 123. – p. 101-103.
14. Sharma P., Chattopadhyaya S., Singh N. K. A review on magnetically supported gas metal arc welding process for magnesium alloys //Materials Research Express. – 2019. – Т. 6. – №. 8. – p. 082002.
15. Rosado T. et al. Innovations in arc welding //Zavarivanje i zavarene konstrukcije. – 2011. – Т. 56. – №. 1. – p. 23-36.
16. Чинахов Д.А. Влияние режимов сварки плавлением на структуру и свойства соединений из легированных сталей: монография// Монография / Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 114 с.
17. M.T. Liao, W.J. Chen The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and Mechanical properties of stainless steel weldments. Materials Chemist and Physics 55 (1998) pp. 145-151.
18. Cai X. Et al. Капельный перенос и формирование сварного шва при сварке MIG с переменным газом Ar-He для алюминиевого сплава // Технологические процессы. – 2020. – Т. 49. – С. 94-101.

19. Kang B. Y. et al. Characteristics of alternate supply of shielding gases in aluminum GMA welding //Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – Т. 209. – №. 10. – С. 4716-4721.
20. Gao M. et al. Effects of shielding gas in CO2 laser-MAG hybrid welding //Transactions-China Welding Institution. – 2007. – Т. 28. – №. 2. – p. 85.
21. P. Sathiya, S.Aravindan, R.Soundararajan, and A. NoorulHaq” Effect of shielding gases on mechanical and metallurgical properties of duplex stainless-steel welds” J Mater Science (2009) 44: pp114–121
22. Ahmet DurgutluExperimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel. Materials and Design 25 (2004) p. 19–23
23. Mohamad Ebrahimnia, MassoudGoodarzi, Meisam Nouri, Mohsen Sheikhi Study of the effect of shielding gas composition on the mechanical weld properties of steel ST 37-2 in gas metal arc welding. Materials and Design 30 (2009) pp. 3891–3895.
24. Патента на изобретение № RU 2233211 С1 Российская Федерация, 7 В 23 К 9/173//В 23 К 103:04. Способ сварки: заявл. 27.05.2003; опубл. 27.07.2004 / Чинахов Д.А., Федько В.Т., Сараев Ю.Н. – 5 с.
25. Chinakhov D.A., Grigorieva E.G., Mayorova E.I. Study of gasdynamic effect upon the weld geometry when consumable electrode welding. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 127 (2016) 012013. doi:10.1088/1757- 899X/127/1/012013

### СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ СПЛАВА НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА

Н.А. Сапрыкина<sup>1</sup>, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин<sup>1а</sup>, к.т.н., доц., Ю.П. Шаркеев<sup>2</sup>, д.т.н., проф.,  
Е.А. Ибрагимов<sup>1</sup>, к.т.н., ст. препод., М.А. Химич<sup>2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup>Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,  
652055, Кемеровская область, г.Юрга, Ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук,

634055, Томская область, г. Томск, Академический пр., 2/4,

<sup>а</sup>E-mail: saprikina@tpu.ru

**Аннотация:** сплавы на основе кобальта применяют в качестве коррозионностойких, жаропрочных, износостойких сплавов, предназначенных для работы в агрессивных средах и при высоких температурах. В статье описано формирование порошковой композиции из порошков 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, 6 мас. % Мо, альтернативной сфероидизации, более дешевой и доступной для метода селективного лазерного плавления. Представлены результаты поисковых экспериментов по созданию сплава из композиции СоСгМо с пористостью менее 5 процентов.

**Abstract:** cobalt-based alloys are used as corrosion-resistant, heat-resistant, wear-resistant alloys designed to work in aggressive environments and at high temperatures. The article describes the formation of a powder composition from powders of 66 wt. % Со, 28 wt. % Сг, 6 wt. % Мо, an alternative spheroidization, cheaper and available for the selective laser melting method. The results of search experiments on creating an alloy from СоСгМо composition with a porosity of less than 5 percent are presented.

**Ключевые слова:** селективное лазерное плавление (СЛП); кобальтовый сплав; аддитивное производство; пористость.

**Keywords:** selective laser melting (SLM); cobalt alloy; additive manufacturing; porosity.

В современном машиностроении жаропрочные кобальтовые сплавы занимают определенную нишу благодаря своим уникальным свойствам. Прежде всего, кобальтовые сплавы применяют в качестве коррозионностойких, жаропрочных, износостойких сплавов, предназначенных для работы в агрессивных средах и при высоких температурах. Примерами таких деталей являются лопатки, сопла, завихрители, кольца и прочие элементы турбин и двигателей внутреннего сгорания. Традиционные методы формообразования не обеспечивают в полной мере эксплуатационные и технологические характеристики перечисленных изделий машиностроительной отрасли. Применение метода селективного лазерного плавления позволяет сократить время на изготовление и себестоимость сложнопрофильных деталей [1, 2]. Для этой технологии применяют порошковые композиции, которые должны отвечать определенным требованиям: сферическая форма частиц, гранулометрический, фазовый и элементный составы, текучесть, сыпучесть и т.п.

Целью представленного исследования является формирование композитного порошка, альтернативного сферическому, более дешевого и доступного для метода селективного лазерного плавления и проведение поисковых экспериментов для создания из него, плотного образца с пористостью менее 5 процентов.

В качестве исходных материалов применены порошки кобальта, хрома и молибдена. Порошок кобальта представлял собой конгломераты неправильной формы размером 10-150 мкм, состоящие из отдельных частиц, размер которых не превышал 20 мкм. Однофазный порошок хрома представлял собой смесь отдельных частиц размером до 50 мкм и конгломератов неправильной формы, размер которых варьировался в диапазоне 10-250 мкм, при этом доля крупных конгломератов не превышала 15%. Однофазный порошок молибдена состоял из конгломератов размером 10-150 мкм, которые, в свою очередь, содержали мелкие частицы размером не более 15 мкм. Доля крупных конгломератов в порошке не превышала 10 об. %. Для формирования порошковой композиции исходные порошки подвергались классификации на ситах с размерами ячеек 20-70 мкм. Механическое перемешивание осуществлялось вручную путем помещения исходных порошков в одной емкости в соотношении 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, Мо и перемешивания в течение 15 минут. Механическое легирование осуществлялось в стаканах высокоэнергетической планетарной шаровой мельницы АГО-2С в течение 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 40 и 60 минут в защитной атмосфере аргона или на воздухе.

Эксперимент по формированию объемных образцов из смеси порошков 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, Мо был реализован на установке селективного лазерного плавления ВАРИСКАФ-100МВС, позволяющей изменять все технологические параметры процесса. Процесс плавления порошковых материалов осуществлен в камере, заполненной инертным газом Аг после предварительного вакуумирования. Образцы сформированы на подложке из титана марки ВТ1-0, предварительно нагретой до температуры 190-200 °С. Анализ литературных данных позволил предварительно оценить диапазоны варьируемых параметров изготовления [3, 4]. Диапазоны скоростей сканирования - 50-90 мм/с и 350-400 мм/с; толщина слоя порошка - 25 мкм; шаг сканирования (межстрочное расстояние) - 100 мкм; мощность лазерного излучения – 100 Вт; режим лазера - импульсный. Схема сканирования построчная по областям, направление штриховки взаимоперпендикулярное от слоя к слою. Под воздействием лазерного излучения получены образцы квадратного сечения со стороной 10 мм, содержащие по 15 слоев. Установлено, что при относительно низких скоростях сканирования (50-90 мм/с) наблюдается значительное коробление образцов, на поверхности видны глубокие трещины, значительно превосходящие толщину слоя порошка. При увеличении скорости сканирования до скоростей 350-400 мм/с на поверхности сплавленного образца трещины отсутствовали. На оптическом изображении поверхности образца, полученного при высокой скорости сканирования, можно видеть границы ванн расплава, имеющих форму вырожденной окружности. Такая форма связана с применением импульсно-периодического режима СЛП, рис. 1.

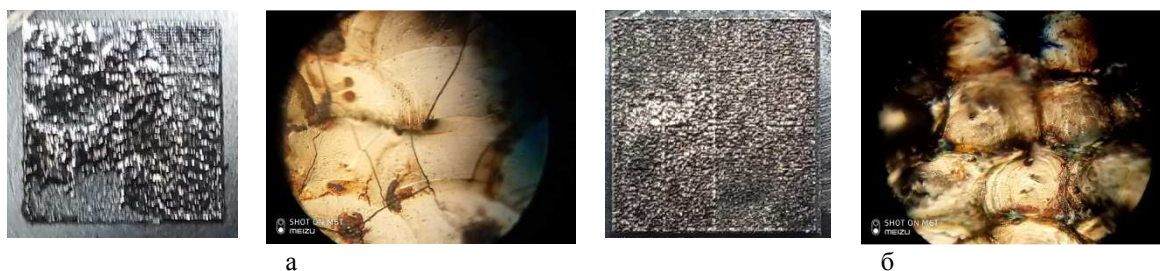


Рис. 1. Поверхность образцов при различных скоростях сканирования: скорость сканирования 80 мм/с, скорость сканирования 400 мм/с

Дальнейшие поисковые эксперименты проводились в диапазонах скоростей сканирования 300-450 мм/с. В результате из порошков Со, Сг и Мо смешанных вручную получена панель объемных образцов, которая позволяет анализировать характер изменения пористости в зависимости от скорости сканирования (рис. 2). Микросъемка производилась по трем разным областям каждого образца.

По оптическим изображениям, снятым со шлифов поверхностей полученных образцов, видно, что на данных режимах при скорости 350 мм/с достигается наименьшая объемная пористость, менее 5 процентов. Пористость рассчитана на основе данных, полученной из измерения металлографическим методом на оптических изображениях шлифов. С увеличением скорости сканирования объемная пористость уменьшается нелинейно.

Таким образом, используя метод селективного лазерного плавления, получены объемные образцы сплава 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, 6 мас. % Мо из порошков, сформированных разными спо-



собами подготовки, а именно, простым механическим перемешиванием; механическим легированием в планетарной шаровой мельнице АГО-2С. Проведены поисковые эксперименты. Определено, что пористость, менее 5 процентов получена у образцов, полученных на следующих технологических режимах:  $P=100\text{Вт}$ ,  $V=350\text{ мм/с}$ ,  $s=0,1\text{ мм}$ ,  $h=0,03\text{ мм}$ .

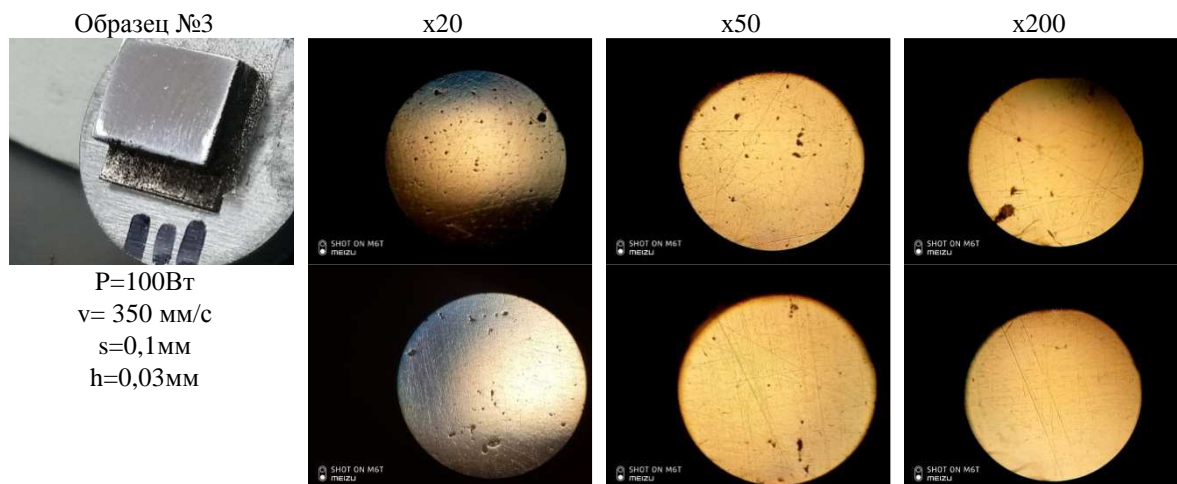


Рис. 2. Фотографии структуры образца

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Томской области в рамках научного проекта №19-48-700022 p\_a.

Список используемых источников:

1. Barucca, G., Santecchia, E., Majni, G., Girardin, E., Bassoli, E., Denti, L., Gatto, A., Iuliano, L., Moskalewicz, T., Mengucci, P., 2015. Structural characterization of biomedical Co-Cr-Mo components produced by direct metal laser sintering. *Mater. Sci. Eng. C* 48, 263–269.
2. Zhou, X., Li, K., Zhang, D., Liu, X., Ma, J., Liu, W., Shen, Z., 2015. Textures formed in a CoCrMo alloy by selective laser melting. *J. Alloys Compd.* 631, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.01.096>.
3. Takaichi, A., Suyalatu, Nakamoto, T., Joko, N., Nomura, N., Tsutsumi, Y., Migita, S., Doi, H., Kurosu, S., Chiba, A., Wakabayashi, N., Igarashi, Y., Hanawa, T., 2013. Microstructures and mechanical properties of Co-29Cr-6Mo alloy fabricated by selective laser melting process for dental applications. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 21, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2013.01.021>.
4. Zhang, M., Yang, Y., Song, C., Bai, Y., Xiao, Z., 2018. An investigation into the aging behavior of CoCrMo alloys fabricated by selective laser melting. *J. Alloys Compd.* 750, 878–886. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.04.054>.

## ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ БРЫЗГ (КАПЕЛЬ) РАСПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ РДС

Д.П. Ильященко, к.т.н, доцент,

Ю Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 89236030500  
E-mail: mita8@rambler.ru

**Аннотация:** В статье представлены результаты телевизионного исследования температуры брызг (капель) расплавленного металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами (РДС). Экспериментально определена поверхностная температура капли-брызги (капли диаметром  $\geq 1,6\text{ мм}$ ) в момент соприкосновения с твердой поверхностью свариваемой детали, которая лежит в диапазоне от  $1750\text{ }^\circ\text{C}$  до  $500\text{ }^\circ\text{C}$  на различном удалении от оси шва от 10 до 60 мм соответственно, что вызывает не только сцепление капель-брызг расплавленного электродного металла, но и способствует небла-

гоприятным изменениям структуро-фазового состава поверхностных слоев, под каплей, что необходимо избегать особенно при сварке сталей аустенитного класса.

**Abstract:** The article presents the results of a television study of the temperature of the splashes (drops) of molten metal during manual arc welding with coated electrodes (MMA). The surface temperature of the droplet-spray (droplets with a diameter of  $\geq 1.6$  mm) was experimentally determined at the moment of contact with the solid surface of the part to be welded, which lies in the range from 1750 °C to 500 °C at different distances from the weld axis from 10 to 60 mm, respectively, which causes not only adhesion of droplet-spray of molten electrode metal, but also contributes to adverse changes in the structure-phase composition of the surface layers, under the drop, which must be avoided especially when welding austenitic steel.

**Ключевые слова:** тепловизор, сварка, капля, разбрызгивание, температура.

**Keyword:** thermal imager, welding, drop, spray, temperature.

Температура капли в момент контакта и последующее её изменение по времени оказывают существенное влияние на характер взаимодействия капли расплавленного металла с поверхностью свариваемого изделия. В работах [1-4] приводятся экспериментальные данные по рассматриваемому вопросу применительно к механизированной сварке в углекислом газе. Обзор литературных источников [1-4], позволил установить, что данная проблема при ручной дуговой сварке покрытыми электродами рассмотрена не достаточно. Электродный металл при РДС переносится каплями различного размера, поверхность которых покрыта (частично или полностью) слоем расплавленного шлака, а при механизированной сварке в углекислом газе капля не имеет шлакового покрытия. Проблема изучения температуры капли в момент касания с поверхностью свариваемого изделия и скорость ее охлаждения при РДС, актуальная задача.

Экспериментально определить поверхностную температуру капель (брызг) в момент соприкосновения с поверхностью свариваемого изделия при РДС при наплавке валика (покрытые электроды LB 52U, 3 мм; пластины Ст3 100x150x6 мм толщиной 6 мм), можно с использованием тепловизора фирмы ThermaCAM P65HS Тепловизионную съемку осуществляли на протяжении времени накладки валика, с частотой 5 кад/сек. Полученные файлы обработаны с помощью компьютерного приложения ThermaCAM Researcher (рис. 1-3).

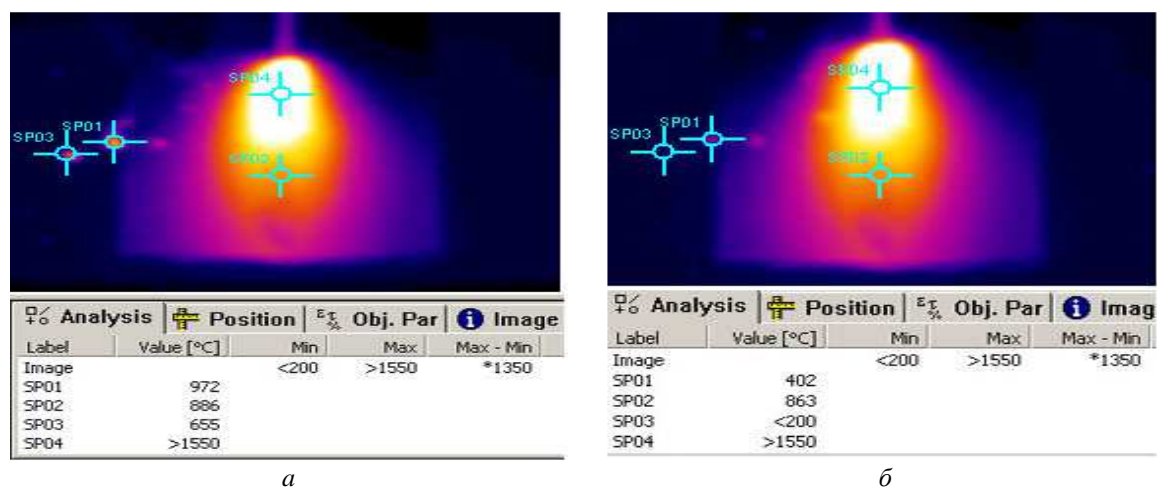


Рис. 1. Тепловизионные кадры ручной дуговой сварки покрытыми электродами при попадании каплей-брызг расплавленного металла на поверхность свариваемых изделий:  
 а) в момент соприкосновения со свариваемой поверхностью,  
 б) через 2 секунды после соприкосновения

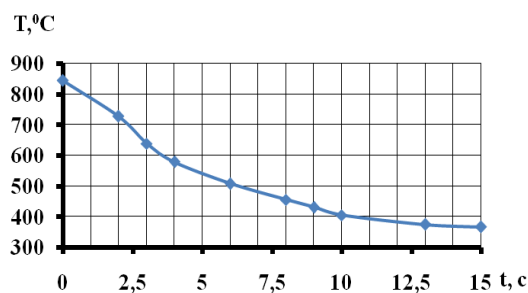


Рис. 2. График зависимости поверхностной температуры капли-брызги (диаметр 1,6 мм) на поверхности свариваемого изделия (на расстоянии 30 мм от оси шва) от времени нахождения (начальная температура изделия в момент касания капли 2730С, на 15 секунде  $T_{изд} = T_{капли}$  )

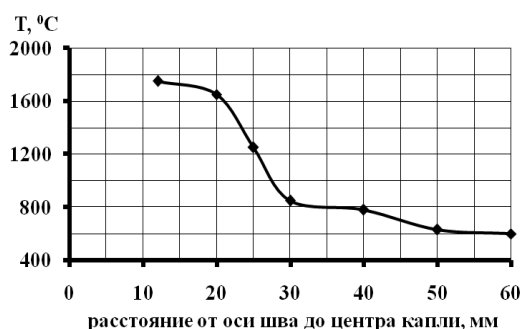


Рис. 3. График зависимости поверхностной температуры капли-брызги в момент соприкосновения с поверхностью свариваемого изделия на расстояния от оси шва (капли диаметром  $\geq 1,6$  мм)

Экспериментально определена поверхностная температура капли-брызги (капли диаметром  $\geq 1,6$  мм) в момент соприкосновения с твердой поверхностью свариваемой детали, которая лежит в пределах от 1750 °C до 500 °C на расстоянии от оси шва 10 – 60 мм соответственно, что вызывает не только сцепление брызг с поверхностью свариваемых изделий, но и способствует неблагоприятным изменениям структуро-фазового состава поверхностных слоев, под каплями, что необходимо избегать особенно при сварке сталей аустенитного класса.

Список используемых источников:

1. Fed'ko, V.T., Sapozhkov, S.B. (1999), Investigation of temperature fields in the contact zone of droplets (splashes) on molten metal with the surface of welded metal, *Welding Int.* 13(4): 310-313. doi: 10.1080/09507119909447386.
2. Il'yashchenko, D.P., Sapozhkov, S.B. Splashing in manual arc coated electrode welding and methods of reducing splashing (2008) *Welding International*, 22 (12), pp. 874-877.
3. Зернин Е.А., Томас К.И. Автоматизированный метод исследования процесса нанесения покрытий// *Инженерный вестник дона.* – 2015. - Т. 36. № 2-2. – С. 70.
4. Dmitry P. Ilyashchenko, Dmitry A. Chinakhov, Elena V. Verkhoturova, Elena V. Lavrova/ Stability of mma welding with protective coatings structural integrity and life// *Vol. 20, No 1 (2020)*, pp. 33–36.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВАРНОГО ШВА В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V, ПОЛУЧЕННЫХ АДДИТИВНЫМИ МЕТОДАМИ

А. Яхин, аспирант,

Томский политехнический университет,  
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56,  
E-mail: albertodebertto@mail.ru

**Аннотация:** В данной работе проводился сравнительный анализ микроструктуры и микротвердости сварных соединений, полученных методом электроннолучевой сварки (ЭЛС). В качестве образцов исследовались пластины, полученные прокаткой и аддитивным методом EBF<sup>3</sup> (electron-beam freeform fabrication – электронно-лучевое изготовление свободной формы). Выявлено аналогичное формирование трех сварочных зон после ЭЛС в 3D-напечатанных образцах. Показано влияние исходной структуры на процесс формирования сварного соединения. Из результатов дюрOMETрического анализа следует, что зона плавления (FZ) характеризуется повышенной микротвердостью относительно основного материала. Однако в случае образцов, полученных методом EBF<sup>3</sup>, характер повышения отличается, что связано с особенностями формирования сварного шва.

**Abstract:** Comparing analysis of the microstructure and microhardness has been investigated in electron-beam welded Ti-6Al-4V alloy parts obtained by rolling and additive manufacturing. Electron-beam

welding produced three distinct zones (FZ – the fusion zone, HAZ – the heat affected zone, BM - the base metal) in the welded material. The influence of the BM on the structure of welded joint is shown. According to the results of microhardness testing, it follows that in the FZ the microhardness is higher than in the BM. However, for samples obtained by EBF<sup>3</sup>, the nature of the increase is different due to the features of the formed microstructure during welding.

**Ключевые слова:** Ti-6Al-4V, титановые сплавы, аддитивные технологии, проволока, EBF<sup>3</sup>, ЭЛС, сварка.

**Keyword:** Ti-6Al-4V, titanium alloys, additive manufacturing, wire, EBF<sup>3</sup>, EBW, welding.

Инновационные технологии способствуют развитию машиностроения. В последнее время активно исследуются аддитивные методы построения металлических изделий. Одним из важных направлений является 3D-печать титановыми сплавами [1,2]. Данный метод пока не позволяет создать целиком готовое крупногабаритное изделие. В связи с этим возникает вопрос соединения аддитивно полученных материалов и деталей. Одним из традиционных методов соединения металлов является сварка. Так как титановые сплавы в основном используются в авиа- и ракетостроении, то для соединения ответственных узлов используется электронно-лучевая сварка. Высокая концентрация тепла, точное позиционирование и отсутствие насыщения расплавленного металла атмосферными газами позволяют получать качественные сварные соединения. А регулируя фокусировку, мощность и ширину пучка, траекторию движения луча в зоне шва, можно менять характер плавления металла, тем самым добиваясь необходимых физико-механических свойств соединений в соответствии с условиями эксплуатации конструкций. Применение данного метода для сварки традиционно полученных материалов достаточно хорошо изучено [3-5], в отличие от сварки 3D-напечатанных изделий. Таким образом, целью данной работы является исследование особенностей формирования сварного соединения в изделиях из титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных аддитивными методами.

Исследования проводили на образцах сплава Ti-6Al-4V, полученных прокаткой и EBF<sup>3</sup>. Прокатанные образцы были в состоянии поставки, ГОСТ 22178-76. Образцы EBF<sup>3</sup> были изготовлены на установке электронно-лучевой сварки ЭЛУ-9 с установленным аппаратным и программным комплексом 6Е400, в вакууме  $133 \times (10^{-4} - 10^{-5})$  Па [6]. В ходе процесса EBF<sup>3</sup> использовалась проволока диаметром 1,6 мм из сплава титана Ti-6Al-4V марки Grade 5, её плавление осуществлялось пушкой с плазменным катодом с ускоряющим напряжением – 30 кВ, током пучка - 20 мА и скоростью подачи проволоки 2 м/мин под углом 35° к поверхности подложки. Электронно-лучевая сварка проводилась на установке ЭЛУ-9. Параметры ЭЛС представлены в таблице 1. Перед сваркой поверхности сопряжения тщательно очищались. Образцы подвергались двухсторонней сварке без разделки кромок.

Таблица 1

Параметры электронно-лучевой сварки исходных образцов

Образцы	Толщина свариваемых пластин, мм	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток пучка, мА	Скорость сварки, мм/мин
Прокат	2	30	25	900
EBF <sup>3</sup>	6	30	50	900

Для исследования макро- и микроструктуры изготавливались продольные полированные металлографические шлифы. Травление шлифов образцов сплава Ti-6Al-4V проводили в растворе Кролла. Микроструктуру изучали на оптическом микроскопе ZEISS AXIOVERT 40 MAT. Микротвердость по Виккерсу измерялась на боковой поверхности образцов сплава Ti-6Al-4V с использованием твердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г в течение 10 с.

По результатам микроструктурного анализа после ЭЛС у образца проката из титанового сплава Ti-6Al-4V отчетливо наблюдается три различные области: зона плавления (FZ), где осуществлялось плавление и повторное затвердевание металла, зона термического влияния (HAZ), которая подвергается тепловому циклу в твердом состоянии, и основной металл (BM), который в основном не зависит от процесса сварки (рис. 1а). Микроструктура проката BM (рис. 1б), представлена в основном равноосными зернами  $\alpha$ -Ti размером 3-10 мкм, по границам которых наблюдается  $\beta$ -фаза Ti. Частично встречается мелкодисперсная первичная  $\alpha$ -фаза, вытянутая в направлении BM (рис. 1б). FZ почти полностью состоит из игольчатой  $\alpha$ -фазы в предшествующих столбчатых  $\beta$ -зернах, что согласуется характеристикой бездиффузионного превращения  $\beta$ -фазы при быстром охлаждении. Данные зерна характеризуются вытянутой формой и размером от 50-150 мкм (рис. 4г). Происходит эпитаксиальный рост  $\beta$ -зерен в шве в направлении теплоотвода. HAZ можно описать как переходную область микроструктуры по отношению

к FZ с участками рекристаллизации, где микроструктура зависит от локальной температуры начала мартенситного превращения у основного материала ( $M_s$ ). На микрофотографии, представленной на рисунке 4г видно, что зона HAZ представлена укрупненной структурой основного металла и редкими игольчатыми  $\alpha'$  зернами, похожими на таковые в FZ, но с отличающейся морфологией.

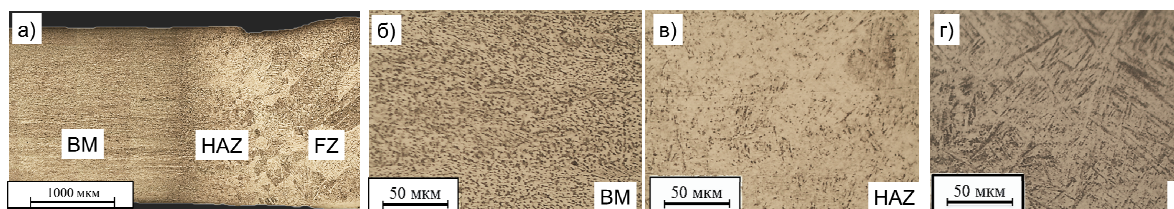


Рис. 1. Микроструктуры образца проката из титанового сплава Ti-6Al-4V. а) металлографическое изображение поперечного шлифа, б), в), г) микроизображения зон BM, HAZ, FZ

Похожим образом происходит формирование трех зон в образце EBF<sup>3</sup> (FZ, HAZ и BM), что наблюдается на рисунке 2а. Микроструктура основного материала BM представлена первичными столбчатыми зернами  $\beta$ -фазы, внутри которых наблюдается структура мартенсита (рис. 2б), образованная в результате аддитивного процесса EBF<sup>3</sup>. FZ сварного шва EBF<sup>3</sup> образцов наблюдается формирование столбчатых зерен  $\beta$ -фазы, состоящих из тонкой игольчатой  $\alpha'$ -фазы (рис. 2г). Однако размер столбчатых зерен больше (рис. 1а и 2а), чем в случае проката. В ходе плавления в образце EBF<sup>3</sup> происходит наследование поперечных размеров столбчатых  $\beta$ -зерен от основного материала к шву, что связано с зарождением  $\beta$ -зерен из расплава на  $\beta$ -зернах исходного сплава. HAZ представлена столбчатыми  $\beta$ -зернами основного материала, рис. 2а. Внутри данных зерен структура также состоит из игольчатой  $\alpha'$ -фазы, морфология (рис. 2в) которой зависит от локальной температуры и, следовательно, от расстояния до зоны FZ.

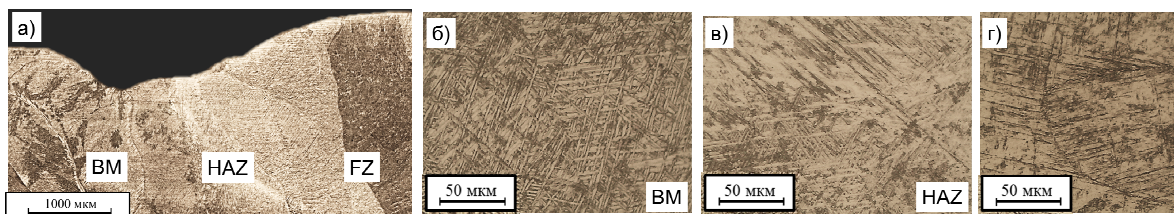


Рис. 2. Микроструктуры образца EBF<sup>3</sup> из титанового сплава Ti-6Al-4V. а) металлографическое изображение поперечного шлифа, б), в), г) микроизображения зон BM, HAZ, FZ

По результатам дюрOMETрического анализа (рис. 3) образцов видно, что в исходном прокате микротвердость составляет около 4,5 ГПа, а в сварном шве – около 5 ГПа в связи с образованием мартенситной структуры. В образцах EBF<sup>3</sup> твердость основного металла 4,1 ГПа, что объясняется грубой игольчатой структурой, т.е. поперечный размер ламелей больше, чем в сварном шве. Микротвердость в FZ составляет также 5 ГПа. Формирование тонкой структуры в зоне FZ связано с большей скоростью охлаждения, чем в HAZ. Значения твердостей в зоне термического влияния постепенно снижаются от значений в зоне плавления (FZ) к основному металлу (BM) для всех образцов.

В результате проведенных исследований сварных соединений, полученных ЭЛС, было выявлено образование трех сварных зон (FZ, HAZ, BM) в изделиях из титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных как прокаткой, так и аддитивным методом EBF<sup>3</sup>. В зоне плавления (FZ) исследованных образцов образуются первичные  $\beta$ -зерна, внутри которых наблюдается тонкая мартенситная структура. Характер и размеры зерен, образующихся в зоне термического влияния образцов проката и EBF<sup>3</sup>, различаются в виду закономерностей наследования структуры основного материала. Показано повышение твердости в зоне плавления, что связано с образованием более тонкой мартенситной структуры. Происходит переходное снижение микротвердости в HAZ при удалении от зоны плавления.

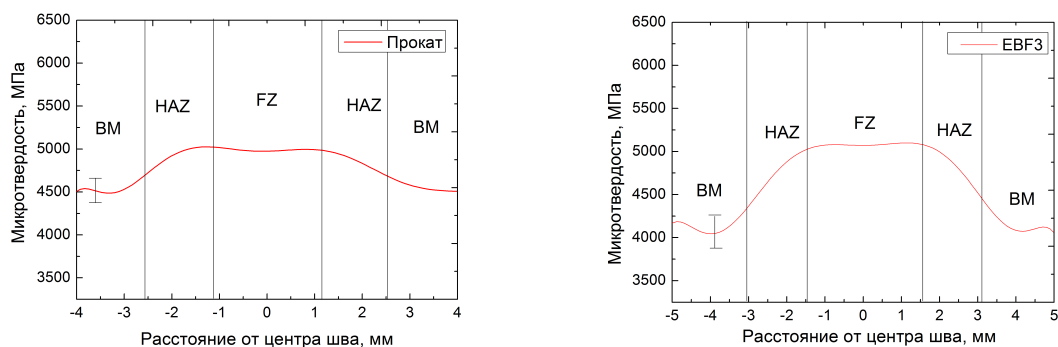


Рис. 3. Распределения микротвердости образцов проката и EBF<sup>3</sup> после ЭЛС

Список используемых источников:

5. Rafi H. K., Karthik N. V., Gong H., Starr T. L., Stucker B. E. Microstructures and Mechanical Properties of Ti6Al4V Parts Fabricated by Selective Laser Melting and Electron Beam Melting // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2013. – V. 22., № 12. – P. 3872–3883.
6. Hasan S.F., Casey R.S., Kazunori H. Metal Additive Manufacturing for Microelectromechanical Systems: Titanium Alloy (Ti-6Al-4V)-based Nanopositioning Flexure Fabricated by Electron Beam Melting // Sensors and Actuators, A: Physical. 2016. V. 249. P. 284-293.
7. Куликов В.П. Технология сварки плавлением и термической резки / Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2016. 463 с.
8. Башенко В.В. Электронно-лучевые установки / М.: Машиностроение, 1972. 168 с.
9. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
10. Panin A., Kazachenok M., Perevalova O., Martynov S., Panina A., Sklyarova E. Continuous Electron Beam Post-Treatment of EBF3-Fabricated Ti-6Al-4V Parts // Metals. – 2019. – V. 9., № 6. – P. 1-16.

### **СЕКЦИЯ 3: ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Г.М. Исмаилов, к.т.н., доц., Л.В. Скорнякова, студ.,  
С.А. Ломовская, студ., Ли В.Е. Минеев, студ.  
Томский государственный педагогический университет  
634041, г. Томск, ул. Киевская 60, тел. (3822)-31-12-41*

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены нанотехнологии, которые применяют в машиностроении. Приведен сравнительный анализ в развитии нанотехнологий между развитыми странами и Россией. Приведены последние разработки в сфере технологий будущего. Рассмотрены современные перспективные направления нанотехнологий в мире.

**Abstract:** This article discusses nanotechnologies that are used in mechanical engineering. A comparative analysis of the development of nanotechnology between developed countries and Russia is presented. The latest developments in the field of future technologies are presented. Modern promising directions of nanotechnology in the world are considered.

**Ключевые слова:** нанотехнология, наноматериалы, машиностроение, nanoengineering, промышленность, специальные покрытия, технологии будущего.

**Key words:** nanotechnology, nanomaterials, mechanical engineering, nanoengineering, industry, special coatings, technologies of the future.

На сегодняшний день мир переживает качественные изменения технологических способов производства под воздействием развития научно технического прогресса. Актуальность исследования связана с развитием нанотехнологий, которые помогают решать проблемы в машиностроении и других областях.

Цель работы: сравнить уровень развития нанотехнологий, используемые в России и за рубежом, выяснить какие достижения уже применяют и какие перспективные направления еще разрабатывают.

Нанотехнология – процесс, который позволяет получать материалы, технические системы, функционирование которых определяется наноструктурой. Актуальность широкого внедрения нанотехнологий связана с изнашиванием деталей и изделий машиностроения. В основном проблема катастроф различных физических объектов зависит от качества и надежности машин. Один из способов решения этой проблемы - повышение эффективности и прочности материалов за счёт использования нанотехнологий. Отличительные особенности таких материалов это малый вес, термическая устойчивость, высокая удельная прочность [1].

В повседневной жизни мы окружены продуктами, усовершенствованными с помощью нанотехнологий. В машиностроении происходит активное внедрение ресурса режущих и обрабатывающих инструментов с помощью специальных покрытий и эмульсий. Применяют нанотехнологические разработки в модернизацию парка высокоточных и металлорежущих станков. Зпатентованы способы повышения долговечности на этапе эксплуатации от 200 до 500%. В автомобилестроении используют нанопримеси на основе оксида церия, повышающие КПД двигателя на 4-5% и снижают степень загрязнения окружающей среды выхлопными газами. Таким образом, используя наноматериалы можно добиться более точной обработки поверхностей, снижения эксплуатационных затрат, улучшения совокупности технических показателей [2].

Сегодня практически все страны мира исследуют наноразработки, вступив в «нанотехнологическую» гонку, вкладывая миллиарды долларов, как в фундаментальные исследования, так и в прикладное применение нанокomпонентов.

Первое место на данный момент в нанотехнологической гонке занимает США. Аналогичные программы по развитию нанотехнологий, хотя и в меньших масштабах, реализуются и в других странах, в частности Японии и ведущих государствах ЕС. Германия является одной из ведущих стран, находящейся на третьем месте в перечне мировых лидеров в этой области после США и Япо-

нии. В тенденции возрастает роль Китая в развитии инноваций. В таблице 1 приведен список стран инновационных лидеров, которые занимаются разработкой нанотехнологий.

Таблица 1

## Нанотехнологии в развитых странах.

Страны, разрабатывающие нанотехнологии	разработки
США	Спроектированы полевые инверторы на углеродных нанотрубках; Разработаны схемы энергонезависимых запоминающих устройств на кремниевых нанокристаллах; Создан метод обнаружения взрывчатых веществ по их нанотермомеханическим сигнатурам; созданы новые высокоэффективные катализаторы и абсорбенты; Разработана инновационная ткань для одежды, которая может заряжать мобильные гаджеты; Произведен "печатный станок" для наноструктур.
Япония	Разработаны самоочищающиеся автомобильные поверхности на основе нанопорошков; Спроектирован аэропоезд, работающий на альтернативных источниках энергии; Создан двигатель внутреннего сгорания из двух молекул; Произведен новый тип наномотора, который приводится в движение светом.
Германия	Созданы легкоочищаемые покрытия, антиграффити; Спроектированы тонкие пленки для микросистем; Используют нанотехнологии в производстве GMR-сенсоров для машиностроения.
Китай	Разработаны наночастицы, позволяющие повысить эффективность добычи нефти; Открыт синтез стабильных многокомпонентных материалов (смешанные фосфаты, оксиды металлов, бораты металлов); Созданы новые катализаторы, технологии, связанные с молекулярными взаимодействиями, возникающими на наноразмерных расстояниях.

Многие годы Россия не считалась инновационным лидером, несмотря на одну из сильнейших в мире научно-технических школ. Но в 2019 году ситуация изменилась и наша страна расположилась на 46 месте из 129 в глобальном инновационном индексе. Государство активно вкладывает ресурсы в разработки нанотехнологий, реализует программы по их созданию. Эта деятельность в будущем приведет к кардинальным изменениям во многих сферах человеческой деятельности. В частности перспективы развития нанотехнологий ожидаются в промышленности. Планируется заменить традиционные способы производства молекулярными роботами, которые способны собирать предметы из атомов. В ближайшем будущем появятся нанороботы, которые будут полностью автономны.

Алмазид – наноматериал будущего, на основе которого появятся сверхпрочные, сверхлёгкие и негорючие материалы, которые будут использоваться в аэрокосмической и автомобильной промышленности, самоочищающиеся ткани, а также материал, защищающий человека от вредного радионизлучения. Созданием и производством «умных материалов», активно реагирующих на изменения окружающей среды и изменяющих свои свойства в зависимости от обстоятельств занимается нанохимия [3].

Одна из отечественных разработок это мобильный лазерный комплекс для обработки деталей различного элементного состава и размеров представленный компанией «ТермоЛазер» и госкорпорацией «Ростех». Благодаря этой технологии повышается износостойкость изделий и продлевается срок службы. Мобильность комплекса позволяет обрабатывать даже крупногабаритные детали, не поддающиеся транспортировке.

Впервые был разработан настольный 5D-принтер волгоградским производителем «СтереоТек». Кроме трех осей он печатает еще в двух плоскостях, что позволяет создавать более прочные изделия, чем при обычной 3D-печати. Эту технологию в будущем будут применять авиационные и оборонные предприятия.



Одной из инновационных разработок является газотурбинный двигатель. Компания займется созданием модернизированного газотурбинного двигателя ГТД-110. Двигатель будет усовершенствован, с использованием камеры сгорания, которая обеспечит допустимый уровень вредных выбросов в производстве. Планируется использование технологий наноструктурированных покрытий для повышения надежности горячей части турбины.

В Челябинске разработан инновационный проект по сбору двигателей для е-мобилей. Новые моторы могут работать не только от электроэнергии, но и на классическом топливе.

В Красноярске ученые изобрели эффективный способ производства углеродных наноструктур. На основе эксперимента было показано, что при пиролизе этанола процесс осаждения углеродных наноструктур происходит значительно быстрее. Этот процесс будут применять в нанoeлектронике и сенсорной технике. Планируют создать промышленное производство нановолокон на основе оксида алюминия, с помощью которого можно улучшить свойства некоторых материалов. Появятся такие инновационные продукты как сверхвысокомолекулярный полиэтилен, модифицированный бетон, долговечные автомобильные покрышки; порошок для 3D-печати композитных деталей, материалы для дорожной разметки (Н-Краски).

Ученые из Томска разработали микропылесос для очистки помещений от вредных для здоровья наночастиц.

В Кольском научном центре создали технологию очистки жидких радиоактивных отходов, используя наноматериалы с уникальными свойствами. Специальные минералы способны забирать радиоактивные вещества из отходов, а дальнейшее их хранение безопасно для экологии. Такую технологию можно применять в очистке радиоактивных отходов и производственных стоков от тяжелых цветных металлов.

В таблице 2 представлены последние достижения в области нанотехнологий [4].

Таблица 2

Последние достижения в области нанотехнологии

Наноматериалы	Свойства
Жидкий металл	Поддается управлению с помощью электричества, реагирует на изменения вокруг, может создавать непростые фигуры, может «создать видимость» что производит биохимическую реакцию.
Нанопленка	В сочетании с сеткой из нержавеющей стали отталкивает нефть, очищая поверхность воды.
Нанопроводники	Передача тока в разных направлениях, могут заменить собой работу выпрямителей тока, переключателей и диодов.
Нанозарядка	Впитывает из окружающей среды кинетическую энергию, и направляет её в устройство, может создавать электричество, используя собственное механическое напряжение.
Полупроводниковые кристаллы	Применяются для светодиодов, биомедицинских маркеров, для солнечных батарей с повышенным КПД.
Антибактериальные нанопокрyтия	Используют для обеззараживания лабораторной посуды и инструментов

Одним из перспективных направлений в мире в области нанотехнологий является механосинтез. Он позволит автоматически составлять нужные сочетания молекул, используя атомное приближение. Когда будет изобретен этот прибор, он сможет без вмешательства человека собрать точно такой же.

Следующим направлением является автоматизированная система ассемблеров и дисассемблеров. Это полностью автоматизированная система, которая способна собирать любой заданный объект. Его появление ознаменует закрытие огромного количества комбинатов по производству товаров.

Важным направлением будет изобретение новейшей орбитальной станции, благодаря которой можно будет избежать глобальной мировой проблемы нехватки сырья [5].

Направление по утилизации отходов имеет огромное значение для всего мира. Можно будет максимально оптимизировать процесс обработки отходов, что приведет к резкому увеличению в объеме сырья.

Наиболее перспективным направлением среди конструкционных наноматериалов являются «интеллектуальные» материалы с управляемыми свойствами. Будет возможно производить атомно-

молекулярную «сборку» устройств, восстанавливать поврежденные элементы и детали сложных конструкций за счет самозалечивания [6].

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод, что основными направлениями в развитии нанотехнологий будут области инженерии, машиностроения, биохимии, физики, электроники и экологии.

Таким образом, область разработок нанотехнологий является наиболее перспективной на сегодняшний день. Повышение качества материалов в несколько раз позволяет прослужить многие годы. Создание совершенно новых устройств позволяет продвинуться вперед в «нанотехнологической» гонке. Такие устройства как 5D-принтер может существенно облегчить ручной труд и повысить прочность изделий. Появилась возможность создавать разнообразные материалы с заданными целевыми свойствами. Некоторые нанотехнологии уже внедрены в производство, но в ближайшем будущем возможен еще больший прорыв в этой сфере.

Список используемых источников:

1. Адаптивная система управления поверхностью при трении композитных материалов / В. Е. Минеев, А. Е. Тюрин, Г. М. Исмаилов, Т. К. Бекетова // XXI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» (17-21 апреля 2017 г.). – 2017, Томск: изд-во ТГПУ. – С. 148-152.
2. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 416 с.
3. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития / Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса : пер. с англ. Москва : Мир, 2002. – С. 54-63.
4. Швецов, А. Самые важные достижения нанотехнологий 21 века. – URL : <https://engclub.ru/samye-vazhnye-dostizheniya-nanotekhnolo/> (дата обращения 15.02.2020).
5. Скорнякова, Л. В. Перспективные направления современной трибологии / Л. В. Скорнякова, В.Е. Минеев-Ли, Г. М. Исмаилов // Моя профессиональная карьера. 2019. – Т. 2. – №5. – С. 156-162
6. Чемоданов, Е. Перспективные направления нанотехнологий. – URL : <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/perspektivnye-napravleniya-nanotekhnologii> (дата обращения 15.02.2020).

## ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РИСКА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОРГАНИЗАЦИИ

*Ю.Н. Чуднов, ведущий инженер научно-исследовательского сектора,  
АО «Концерн «Океанприбор»  
197376, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., д. 46, тел. (812)-320-80-40  
E-mail: juri.chudnov@gmail.com*

**Аннотация:** В настоящей статье основное внимание уделено проблеме риска. Кратко рассмотрены некоторые существующие и находящиеся на стадии разработки международные и российские стандарты в данной области. Перечислены принципы, основные элементы структуры и процесс менеджмента риска. Предложена методика по мониторингу и реагированию на риск, возникающий в производственных процессах организации. В конце статьи приведены выводы.

**Abstract:** This article is generally focused on the risk problem. It describes in short some of the current and being under development international and Russian risk management standards. General principles, main structure elements and risk-management process are reported. A methodology is proposed to monitor and react to the risk arising within the production process. Conclusions are drawn in the end of the article.

**Ключевые слова:** система менеджмента качества, риск, менеджмент риска, процесс

**Keyword:** quality management systems, risk, risk management, process

На сегодняшний день, когда набирает обороты очередной Мировой экономический кризис, вызванный коронавирусом COVID-19, падением цены на нефть и другими политическими и экономическими факторами, неизбежно, под его удар попадет весь мировой бизнес. Вероятней всего, многие из существующих игроков не смогут пережить выпавших на их долю испытаний, им, скорее всего, придется пройти через слияние, поглощение или реструктуризацию бизнеса [1], либо просто остаться в истории. Однако не исключены и взлеты ранее неизвестных, но быстро приспосабливающихся к новым реалиям, фирм. В общем, выстоят организации, которые устроены как отлаженная система безотказно взаимодействующих элементов.

Одним из основных показателей здоровья системы является способность ее высшего руководства представить будущее компании, т.е. ее видение [2]. Без четкого видения любая компания будет нежизнеспособна. Видение помогает формировать политики организации и определять стратегию ее развития. Если у бизнеса отсутствует видение и стратегия, то это показатель того, что он плывет по течению и конец его предсказуем – «крах». Тоже касается и миссии организации.

Помимо этого, есть вещи, без которых не может существовать ни одна компания, это продукция, которую она производит, и услуги, которые она оказывает. Они являются основными источниками дохода организации. От качества продукции и услуг зависит способность компании удовлетворять своих потребителей, конкурировать на существующих рынках или завоевывать новые. Чтобы добиться этих результатов, у фирмы должна быть разработана, внедрена, поддерживаться и постоянно улучшаться система менеджмента качества, соответствующая требованиям стандарта ISO 9001:2015, на территории РФ – ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Система менеджмента качества. Требования» [3].

В отличие от предыдущих версий стандарта, ISO 9001:2015 базируется на риск-ориентированном мышлении. Стимулом для данной концепции стали выводы, сделанные после экономического кризиса 2008–2010 гг., ставшего причиной банкротства множества компаний, работавших в различных отраслях экономики. Стандарт указывает на необходимость выявления рисков еще на стадии планирования, до начала выполнения основных работ. Помимо этого стандарта существуют и узконаправленные на риск стандарты, например ISO 31000, который взаимосвязан с ISO 9001.

В России в 2019 году, Приказом Росстандарта от 10.12.2019 N 1379-ст «Об утверждении национального стандарта Российской Федерации» [4] был введен государственный стандарт ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» [5], идентичный международному ISO 31000:2018, взамен ГОСТ Р ИСО 31000-2010. Стандарт ориентирован на лиц, принимающих решения, участвующих в постановке и достижении целей, повышении эффективности деятельности и создании и защите ценностей путем менеджмента риска в организации. Стандарт содержит принципы, структуру и процесс менеджмента риска.

Для компаний менеджмент риска, встроенный в корпоративное управление на всех уровнях, способен оказать содействие в совершенствовании ее системы управления, помочь в определении ее стратегии, достижении поставленных целей и принятии взвешенных решений. Менеджмент риска должен учитывать внешнюю и внутреннюю среду организации, охватывать все виды ее деятельности и включать в себя взаимодействие с заинтересованными сторонами. Для большей эффективности организациям необходимо соблюдать принципы, структуру и процесс менеджмента риска содержащиеся в стандарте, которые приведены ниже.

К основным принципам менеджмента риска относятся:

- интегрированность;
- структурированность и комплексность;
- адаптированность;
- вовлеченность;
- динамичность;
- базирование на наилучшей доступной информации;
- учет поведенческих и культурных факторов;
- непрерывное улучшение.

В структуру, необходимую для интеграции процесса менеджмента риска в основные направления деятельности и функции организации, входят:

- лидерство и приверженность;
- адаптация;
- проектирование и разработка;
- внедрение;
- оценка эффективности;
- улучшение.

Необходимо понимать, что компоненты структуры и их совместная работа должны быть адаптированы к потребностям организации.

Сам процесс менеджмента риска включает в себя:

- обмен информацией и консультирование;
- область применения, среду и критерии;

- оценку риска (идентификацию риска, анализ риска, сравнительную оценку риска);
- обработку риска;
- мониторинг и пересмотр;
- документирование и отчетность.

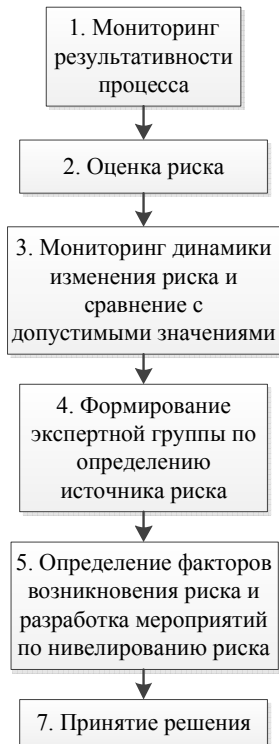


Рис. 1. Процесс управления риском

Более подробную информацию о принципах и руководстве менеджмента риска можно узнать из ГОСТ Р ИСО 31000-2019.

Существуют различные способы оценки рисков, обладающие своими преимуществами и недостатками. Раньше, дополнением к ГОСТ Р ИСО 31000-2010 служил ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 [6], который содержал различные методы оценки риска, но в 2020 году он уже не имеет статус действующего стандарта на территории РФ. В настоящее время ИСО и МЭК уже готовят новую версию стандарта ISO/IEC 31010 [7], которая в дальнейшем, скорее всего, получит свой российский вариант.

В настоящей статье предлагается метод управления риском, который достаточно прост и может быть применим ко всем процессам организации. Процесс управления риском приведен на рисунке 1.

#### 1. Мониторинг результативности процесса.

Производственные процессы организации постоянно подвергаются воздействию различных внутренних и внешних факторов. Эти факторы могут иметь системный и несистемный характер и оказывать долгосрочное или краткосрочное влияние на их результативность. В связи с этим, организация должна проводить мониторинг фактической результативности своих производственных процессов, для контроля над происходящими в них изменениями.

Фактическая результативность ( $REZ_{факт.}$ , %) рассчитывается по следующему уравнению:

$$REZ_{факт.} = \frac{Факт}{План} \times 100\%$$

Под фактом понимаются полученные фактические результаты по процессу за отчетный период. Под планом процесса понимаются запланированные результаты, либо, количество запросов от внутренних и внешних потребителей, которые нужно выполнить за отчетный период. Например, каждый день исполнителю поступает различное количество заявок от потребителей, которые он должен выполнить, соответственно, план – количество поступивших заявок за отчетный день, факт – количество выполненных заявок, поступивших за отчетный день.

Данные по результативности процесса могут предоставляться лицом, назначенным ответственным за процесс (в виде отчетного документа), либо, при хорошо развитых на предприятии информационных технологиях, в автоматизированном режиме, для последующей обработки.

#### 2. Оценка риска.

В настоящей статье предлагается следующий способ оценки риска процесса, базирующийся на определении отклонения фактической результативности от плановой ( $REZ_{план.}$ , %). Следовательно разница между плановой и фактической результативностью и есть риск ( $RISK$ , %). Таким образом, формула расчета риска будет иметь вид:

$$RISK = REZ_{план.} - REZ_{факт.}$$

Исходим из того, что в идеале мы стремимся к абсолютно результативному процессу, следовательно  $REZ_{план.} = 100\%$ .

#### 3. Мониторинг динамики изменения риска и сравнение с допустимыми значениями.

Для мониторинга следует непрерывно, в ручном или автоматизированном режиме, вести контрольную карту риска по этому процессу. Риск неизбежно будет меняться во времени, следовательно, при анализе риска необходимо понимать, в каких ситуациях какие меры необходимо предприни-

мать. Также важно установить допустимые границы риска, при которых значение риска не будет рассматриваться как потенциальная угроза, т.е. колебания, вызванные прогнозируемыми вещами (например, заявка пришла в конце рабочего дня, что не позволило ее вовремя отработать и т.п.). Кроме этого, аналитик может столкнуться со следующими ситуациями:

Во-первых, как показано на рисунке 2, может произойти разовый скачок риска. Это не системное проявление риска и может быть связано, например, с тем, что сотрудник испытывал проблемы со здоровьем в этот день и, поэтому, менее результативно выполнил свою работу. Как видно из приведенной контрольной карты риска, на следующий день риск снизился до допустимой границы, таким образом, нет необходимости в принятии каких-то экстренных мер.

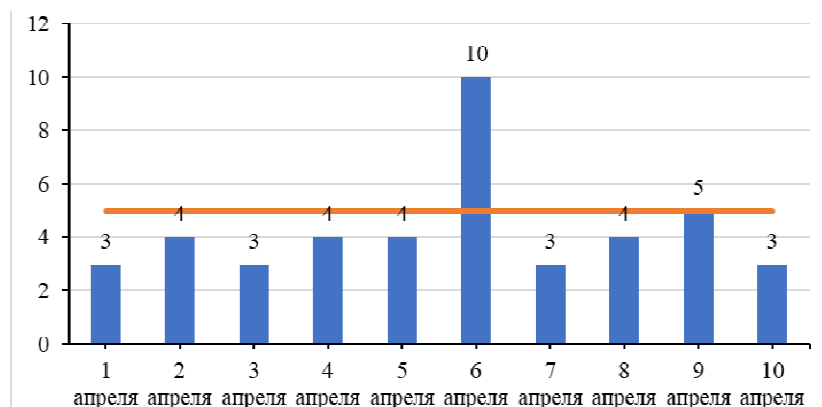


Рис. 2. Контрольная карта риска, %.

Во-вторых, как показано на рисунке 3, риск начинает увеличиваться в течении продолжительного периода времени. Это уже признак системных изменений. Например, износился какой ни будь элемент оборудования, повлиявший на рост выхода несоответствующей продукции или начала портиться среда в коллективе, воздействуя на результативность процесса и т.п. В этом случае возникает необходимость в принятии взвешенных решений.

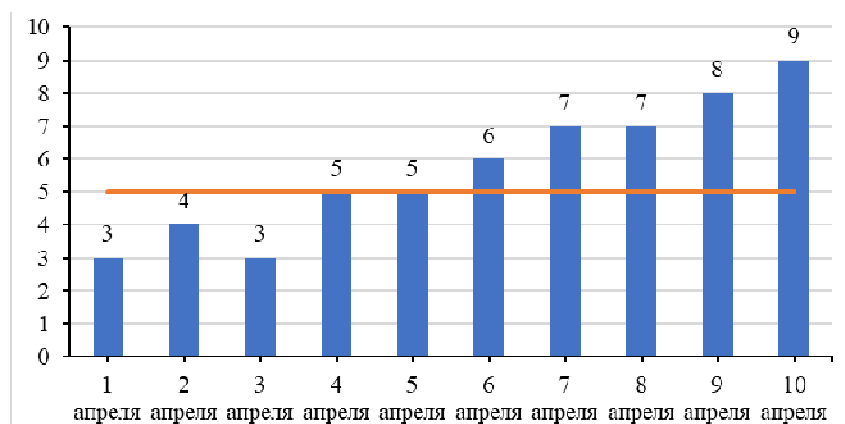


Рис. 3. Контрольная карта риска, %

#### 4. Формирование экспертной группы по определению источника риска.

В случае выявления системных изменений риска необходимо сформировать экспертную группу из сотрудников, обладающих необходимыми знаниями и опытом для идентификации негативных факторов, влияющих на процесс. У экспертной группы должен быть руководитель и она должна обладать всей необходимой ответственностью и полномочиями. Руководители процессов и все лица, участвующие в процессе, должны предоставлять экспертной группе всю необходимую информацию в полном объеме и обязаны оказывать требуемую помощь в определении риска.

#### 5. Определение факторов возникновения риска и разработка мероприятий по нивелированию риска.

Основная задача экспертной группы определить факторы риска и оценить последствия проявления этого риска. После завершения работы экспертной группы, ее руководителю необходимо составить подробный отчет о проведенной работе и передать его лицу, отвечающему за принятие решения в отношении риска. Отчет должен содержать выявленные факторы риска, возможные последствия риска и предложения по нивелированию риска.

6. Принятие решения.



Рис. 4. Процесс реализации мероприятий в отношении риска

Исходя из предоставленного отчета, ответственным лицом должно быть принято решение в отношении риска. Решение может быть следующим: полное или частичное выполнение предложенных экспертной группой мероприятий, разработка дополнительных мероприятий или игнорирование риска. Необходимо понимать, что в случае игнорирования риска, лицо принявшее решение берет всю ответственность на себя за возможные последствия.

Если в итоге принято решение реагирования на риск, то последовательность действий должна быть следующая, как показано на рисунке 4.

1. Должны быть назначены ответственный за выполнение коррекции/корректирующих действий в отношении риска. Ответственный должен быть один, так как при большом количестве никто ни за что не отвечает.
2. Коррекции/корректирующие действия должны выполняться, так как это было запланировано. При необходимости могут вноситься некоторые изменения, с учетом складывающейся обстановки.
3. На всех этапах выполнения коррекции/корректирующих действий должен осуществляться контроль за тем, чтобы быть уверенным, что все происходит так как было запланировано.
4. После реализации коррекции/корректирующих действий должен осуществляться мониторинг эффективности проведенных мероприятий. Это может происходить путем дальнейшего анализа контрольной карты риска процесса.
5. При достижении положительных результатов, положительный опыт, при возможности, должен быть применен в других процессах, для улучшения системы в целом.

В заключении хотелось бы отметить, что на сегодняшний день вопрос риска актуален, как никогда, игнорировать влияние неопределенности непозволительная роскошь. Компании, которые смогут интегрировать менеджмент риска в свои процессы всегда будут на шаг впереди конкурентов. Просчет появления негативных факторов и нивелирование их последствий позволит снизить незапланированные расходы и использовать возникающие возможности.

Выводы:

1. Менеджмент риска должен быть неотъемлемой частью производственных процессов. Его эффективность зависит от степени его интеграции в систему организации.
2. Происходит замена устаревших международных и российских стандартов в области менеджмента риска на новые, адаптированные к современным условиям.
3. Предложенная в статье методика позволит выявлять возникающий риск производственного процесса на ранней стадии, что позволит разработать и предпринять необходимые меры по нивелированию негативных последствий.

Список используемых источников:

1. Гохан Патрик А. Слияния, поглощения и реструктуризация компаний [Текст] / Патрик А. Гохан; Пер. с англ. – 7-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2019. – 742 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2015. – 53 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Система менеджмента качества. Требования [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.

4. Приказ Росстандарта от 10.12.2019 N 1379-ст «Об утверждении национального стандарта Российской Федерации» [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_341054/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_341054/) (03.04.2020)
5. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2020. – 20 с.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2012. – 74 с.
7. ISO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/ru/standard/72140.html>, свободный – (03.04.2020)

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ РОССИЙСКИМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

*А.В. Маслов, к.т.н., асс.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (+7 384-51) 7-77-64  
E-mail: maslovav@tpu.ru*

**Аннотация:** В статье исследована проблема управления знаниями как важного актива деятельности предприятия отрасли машиностроения. Проанализированы существующие модели управления знаниями и сфокусировано внимание на сложности адаптации зарубежных систем управления знаниями в современных условиях деятельности предприятий отрасли машиностроения.

Предложена собственная модель управления знаниями, которая построена на системно-процессном подходе и предусматривает взаимодействие трех составляющих: человеческого потенциала, организационных и бизнес-процессов. Обоснованы преимущества применения данной модели на практике такие, как увеличение эффективности использования всех имеющихся ресурсов предприятия отрасли машиностроения, внедрение инноваций, снижение затрат от неиспользуемых интеллектуальных активов, что способствует получению дополнительных конкурентных преимуществ.

**Annotation:** The article deals with the problem of knowledge management as an important asset of an enterprise in the field of mechanical engineering. The existing models of knowledge management are analyzed and attention is focused on the complexity of adaptation of foreign knowledge management systems in modern conditions of activity of enterprises of the machine-building industry.

A proprietary model of knowledge management is proposed, which is based on a system-process approach and provides for the interaction of three components: human potential, organizational and business processes. The advantages of using this model in practice are justified, such as increasing the efficiency of using all available resources of the enterprise in the engineering industry, introducing innovations, reducing costs from unused intellectual assets, which contributes to obtaining additional competitive advantages.

**Keywords:** knowledge management, enterprise, human potential, efficiency, mechanical engineering.

**Ключевые слова:** управление знаниями, предприятие, человеческий потенциал, эффективность, машиностроение.

В современных условиях функционирования наличие мощной ресурсной базы предприятия отрасли машиностроения не гарантирует достаточного уровня конкурентоспособности на рынке, если материально-ресурсный потенциал не будет рационально организован. Потребности глобального рынка побуждают предприятия машиностроения постоянно создавать новые продукты и совершенствовать существующие для содержания и расширения своих позиций, а также получение устойчивой прибыли. Вышесказанное требует от предприятий машиностроения перехода на новые методы управления, основой которых являются знания. Для эффективного применения знаний на всех этапах производства и реализации продукции предприятия машиностроения необходима разработка рационального инструментария управления знаниями.

Управление знаниями становится важным фактором формирования управленческого потенциала современного предприятия машиностроения. Подходы к управлению знаниями должны интегрировать и уравнивать человеческие и технологические компоненты знаний. Парадигма управления знаниями не является новой, а лишь переосмысливает известные технологии управления к современным реалиям работы предприятия. Эффективный менеджмент знаний должен быть одним из приоритетных направлений развития управленческого и технологического процесса на отечест-

венных предприятиях машиностроения, требуется поиск новых более совершенных методов управления. Опыт высокоразвитых стран показывает, что зарубежные предприятия машиностроения уделяют значительное внимание процессам генерации знаний, их обновление и рационального управление знаниями в процессе производственной деятельности.

Знания – это сила, которая поддерживает деятельность любой системы [1]. Это тот невидимый ресурс, который проявляется в синергическом эффекте от наиболее рационального использования земли, труда и капитала. Именно знание является первоочередным элементом процесса устойчивого развития предприятий машиностроения. В наше время достигают успеха только те субъекты хозяйствования, которые значительное внимание уделяют образованию, науке, постоянному обновлению знаний и их эффективному применению на практике. Знания – особый ресурс, не имеет физической формы, его главным признаком является дискретность или неделимость – они или есть, или их нет. Знания существуют лишь как целая величина, которая при возможном разделении фактически теряет свой логический смысл. Для эффективного управления знаниями на предприятиях машиностроения, необходимо классифицировать, в экономике существует следующий общий раздел знаний:

- явные (имеют определенную кодификацию, например, в документах);
- неявные (не являются документированными, формируются в основном на собственном опыте в процессе работы);
- встроенные знания (заблокированы в определенных объектах или процессах на стадии их создания) [8].

Явные знания, фактически, формируются в процессе длительного использования и научного подтверждения эффективности применения неявных знаний. Неявные знания рассматриваются как наиболее ценный источник информации для предприятия машиностроения, которое способно привести к определенному прогрессу в деятельности организации. Однако существует существенная проблема управления неявными знаниями – это отсутствие их кодификации и возможности распространения, например, в бумажном или электронном виде. Неявные знания – это собственный опыт, интуитивное принятие решений, которое кодифицируется только в субъекте, который его создал.

Эффективное управление явными и неявными знаниями, требует набора различных методов менеджмента. К методам управления явными знаниями относят обучение, обмен информацией, информационные технологии и системы и прочее. В неявных методах управления – система наставничества, корпоративная культура, создание сообществ профессионалов и т.д. [2].

Разделяем мнение Круглова А.А. по формированию знаний организации предприятий машиностроения, которое происходит в три этапа:

1. сбор фактов и цифр, связанных по определенным признаками;
2. на основе фактов аккумулируется информация, которая формируется после анализа, сопоставления фактов, расчета соответствующих показателей и формулировке определенных выводов о тех или иных явлениях;
3. формирование знаний как продукта понимания информации и генерирования новых идей, «ноу-хау» на основе имеющейся информации [4].

Сформированная и активно действующая система управления знаниями на предприятия машиностроения является одним из важных инструментов в борьбе с конкурентами. Наивысшая польза от управления знаниями достигается в следующих областях: планирование деятельности предприятия машиностроения, обслуживание клиентов, обучение и повышение квалификации персонала, сотрудничество в рамках реализации проектов предприятия и тому подобное. Построение на предприятии машиностроения эффективного механизма управления знаниями требует четкого понимания, что представляют собой знания. Ошибочно отождествлять данные или информацию и знания. Знания можно представлять как конечный продукт обработки фактов и информации. Данные – это совокупность объективных фактов о тех или иных явлениях и процессов, происходящие на предприятии машиностроения. Например, данные об объеме произведенной продукции или количество покупателей за определенный период. Данные не могут объяснить тех или иных тенденций и проследить динамику вышеуказанных показателей. Выводы можно делать только после применения инструментария анализа данных, а после систематизации данные превращаются в информацию. Информация представляет собой поток сообщений, которые превращаются в знания. Это своеобразное послание, выраженное в виде документа, видео или аудио файла. Информация – это результат анализа данных, который сообщает о состоянии или тенденции определенных явлений или процессов на предприятии машиностроения [7].

В то же время знания – это более широкая категория, чем информация, которая включает в себя определенные выводы, сделанные на основе анализа данных и сформированные на их базе реко-



мендаций по разрешению потенциально-возможных проблем или улучшения существующей ситуации на предприятии машиностроения. Знания играют роль тех структурных элементов, обеспечивающих организацию данными.

Тем не менее, модель, представляющая сведения о каждом работнике, включает в себя его идентификационные данные, информацию об образовании, карьерный рост в организации, связывая вышеупомянутые элементы, – это соответственно знания. Они фактически позволяют структурировать информацию о сотрудниках и в результате анализа соответствующих данных получать новые знания о составе работников и тенденции развития человеческого капитала на предприятии машиностроения [3].

Одной из ключевых проблем эффективного управления знаниями является необходимость обеспечения доступа только к тем знаниям, которые нужны сотрудникам в процессе их деятельности, хранения знаний, обновлении и исключении в случае старения. Важной частью управления знаниями выступают технологии распространения, адаптации, конвертации и использования неявных знаний, которые тесно взаимосвязаны с эмоциями, принципами, приверженностью и тому подобное.

В основе любого процесса положена определенная идея или модель, которая представляет собой совокупность научно-обоснованных подходов к тому или иному объекту управления.

Анализ достижений ученых позволяет сформулировать несколько различных подходов к формированию моделей управления знаниями в зависимости от точки зрения и направления исследований отдельного автора.

Известная четырехфазная модель управления знаниями SECI или «Спираль знаний», предложенная японскими исследователями Нонака И. и Такеучи Х. и рассматриваемая Куреневским А.С. и Дряевым М.Р. [5] в качестве применения к российским предприятиям, представляет собой систему передачи знаний между четырьмя фазами – социализация, экстернализация, комбинация, интернализация через три уровня социальной агрегации, а именно: индивид, группа, контекст. Фактически, данная модель представляет собой спиралевидное движение знаний от индивида к коллективу, то есть их распространение от одного источника к большому массиву пользователей. При этом знания проходят процесс преобразования из неявных (определенные навыки, опыт) в явные, то есть применяются своеобразные модели, общепринятые концепции и методы. Однако применение данной модели имеет определенные трудности из-за существования несоответствия организационных структур предприятия машиностроения, для которых была разработана модель. Концепция Голубевой Н.Ю. [2] построена на использовании знаний для разработки модели получения прибыли и модели инновационного бизнеса. Основная проблема фактического применения данной модели заключается в слишком сложном механизме моделирования прибыли и привлечении к моделированию соответствующих специалистов вне предприятия машиностроения.

Модель управления знаниями, предложенная Волковой Л.И. и Ермоленко В.В., [1] базируется на четырех основных положениях: создание и применение знаний в технологиях и процедурах производства машиностроения, систематические исследования знаний, оценки знаний для каждого типа бизнеса и активное управление знаниями на протяжении всего жизненного цикла товара и инноваций. Однако существует ряд ограничений, которые не позволяют эффективно использовать данную модель на практике. В частности, это вероятность возникновения проблем в процессе оценки знаний, методы и процедуры оценки, спорность их результатов на базе которых, фактически, и происходит управление знаниями. В модели Круглова А.А. [4] представлено взаимодействие четырех составляющих интеллектуального капитала, а именно: капитала, структурного капитала, бизнес активов и интеллектуальной собственности. Вышеупомянутая модель имеет чисто теоретический характер, а практическое ее использование осложняется тяжестью управления отдельными бизнес-процессами Солод О.В. [8] предлагает модель управления знаниями, которая включает четыре элемента: явные и неявные знания, активы знания, вера, определенность и неопределенность решений относительно целей и причинных связей. Данная модель способна существовать только за счет благоприятного морального климата в организации, поэтому практическое применение значительно ограничено, поскольку доверие и определенность характерны всем предприятиям машиностроения, а особенно в условиях жесткой конкуренции.

Модель управления знаниями, предложенная Колужной Т.В. и Замостьян К.Д., [3] представляет собой концепцию обучающейся организации. Она базируется на пяти умениях организации машиностроения, в частности, к ним относят навыки совершенствования личности, интеллектуальные модели, корпоративное видение, групповая стратегия и системное мышление. Однако сложность ее применения заключается в слабом корпоративном видении значительного количества предприятий машиностроения.

Таким образом, проанализировав существующие модели управления знаниями констатируем, что каждая из моделей управления знаниями требует определенных условий относительно возможностей ее использования. Прежде всего, это наличие устойчивой организационной культуры на предприятии машиностроения, благоприятный моральный климат, инициативность работников, что фактически является предпосылкой создания неявных знаний, внимание к ценности человеческого и интеллектуального капитала со стороны руководства, а также возможность аккумуляции знания с целью их дальнейшего анализа, использование и совершенствование. Анализ современного состояния предприятий машиностроения показывает, что адаптировать вышеупомянутые модели в российские реалии чрезвычайно трудно, поэтому с целью повышения эффективности функционирования предприятий существует необходимость разработки отечественной модели управления знаниями.

Предлагается оригинальная модель управления знаниями предприятия машиностроения, которая построена на системно-процессном подходе и предусматривает последовательность и взаимодействие процессов: создание и развитие человеческого потенциала, организационных процессов по формированию информационного обеспечения базы знаний и бизнес-процессов в конкурентной среде.

Ресурсная составляющая управления знаниями базируется на имеющемся человеческом капитале предприятия машиностроения, который фактически является источником знаний, их генератором и пользователем. Ресурсный блок состоит из: создания (получения) знаний, эффективного использования имеющихся знаний, системы подготовки и переподготовки работников для обновления и пополнения умений и навыков, обмена знаниями и повторного использования активов знаний для улучшения процесса принятия решений, содействия коммуникации, сотрудничества и взаимодействия, мотивации сотрудников для овладения новыми знаниями необходимыми для предприятия машиностроения, то есть является исходной интеллектуальной базой для формирования конкурентных преимуществ. Организационная составляющая управления знаниями предусматривает формирование информационной базы знаний, их сортировку, систематизацию, группировки, хранение и охрану знаний как интеллектуальной собственности, в том числе и создание информационных хранилищ и систем знаний, получение знаний из внешних источников, внедрение изменений к существующим организационным структурам и организационной культуре предприятия, содействие поиску новых инструментов сохранения накопленных знаний, поддержка изменений относительно существующих наружных сетей (связей), создание сред знаний, таких как неструктурированное взаимодействие и проектные команды, совершенствование системы информационной составляющей системы управления знаниями.

Маркетинговая составляющая включает использование имеющихся баз знаний на практике, применение их в конкурентной среде и способность влияния на экономические процессы предприятия машиностроения, анализ макроэкономической среды функционирования и сопоставление возможностей предприятия с реально существующим рыночным спросом на продукцию. Коммуникация знаний предприятия машиностроения предусматривает взаимодействие знаний организации с данными и требованиями потребителей и создания новых знаний, которые позволят сформировать ранее не существующие конкурентные преимущества для удовлетворения новых требований потребителей [2].

Предложенная модель управления знаниями направлена на создание новой стоимости, реализованной в продукции, людях и процессах с помощью рационального формирования и использования знаний на предприятии машиностроения.

Основным преимуществом реализации данной модели на практике является увеличение эффективности использования всех имеющихся ресурсов предприятия машиностроения, внедрение инноваций, совершенствование обслуживания клиентов, снижение потерь от неиспользованных интеллектуальных активов и тому подобное.

Применение предложенной модели способствует созданию условий для получения следующих преимуществ предприятия машиностроения над конкурентами: экономия ресурсов (материальных и финансовых) за счет повторного использования ранее эффективных решений; использование интеллектуальных активов партнеров осуществляя совместные разработки и внедряя совместные инновационные решения; быстрое реагирование на требования потребителей с помощью эффективных инновационных решений на основе знаний; ускоренное внедрение инноваций в продукцию предприятия машиностроения для поставки ее на рынок.

Таким образом, подводя итог, отметим, что эффективное функционирование предприятий машиностроения в условиях обострения конкурентной борьбы на внутреннем и внешнем рынках сопровождается необходимостью постоянного управления знаниями, что позволит усилить конкурентные преимущества и превратить предприятие в самоорганизующуюся систему. Управление знаниями предприятий ма-

шиностроения выступает в роли своеобразного регулятора, который помогает и работнику, и организации в целом осваивать новый опыт, интеллектуально обогащаться и эффективно взаимодействовать. Применение авторской модели управления знаниями будет способствовать развитию человеческого потенциала предприятиям машиностроения, рациональное использование имеющихся знаний и умений на практике, организации хранения и распространения знаний в пределах предприятия. Эффективная реализация каждой составляющей процесса управления знаниями позволит повысить конкурентоспособность предприятиям машиностроения. В дальнейших исследованиях внимание будет сконцентрировано на анализе применения предложенной модели управления знаниями и ее адаптации к конкретным условиям функционирования предприятий машиностроения с разными целями, нуждами, инфраструктурой, материальными, финансовыми и человеческими ресурсами.

Список используемых источников:

1. Волкова Л.И., Ермоленко В.В. Сетевое вовлечение интеллектуального капитала в совместную проектную деятельность // Сборник научных трудов молодых исследователей «Актуальные проблемы управления публичной корпорацией и капиталами организации в экономике знаний» / науч. ред. В.В. Ермоленко. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2015. С. 234-239.
2. Голубева Н.Ю. Менеджмент знаний организаций: история и перспективы развития // Инновационная наука. – 2017. – №1-2. – С. 181-185.
3. Колужная Т. В., Замостьян К. Д. Особенности управления знаниями в современных организациях // Ученые записки крымского инженерно-педагогического университета. – 2018. - №1. – С. 77-82.
4. Круглов А. А. Подходы к внедрению управления знаниями // Молодой ученый. – 2018. – №25. – С. 75-76.
5. Куреневский А.С., Дряев М.Р. Анализ концепции управления знаниями в аспекте применения в современных организациях // Актуальные вопросы экономических наук и современного менеджмента: сб. ст. по матер. XXIX междунар. науч.-практ. конф. № 12(22). – Новосибирск: СибАК, 2019. – С. 48-51.
6. Мозолев М.В. Автоматизация документооборота // научное сообщество студентов XXI столетия. экономические науки: сб. ст. по мат. LXXIX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 7(79). URL: [https://sibac.info/archive/economy/7\(79\).pdf](https://sibac.info/archive/economy/7(79).pdf) (дата обращения: 27.03.2020)
7. Системы управления знаниями – мировой опыт // Официальный сайт ISpring–ресурса для корпоративного обучения [Электронный ресурс] URL: <https://www.ispring.ru/elearning-insights/sistemy-upravleniya-znaniyami-mirovoyo-opyt> (Дата обращения: 27.03.2020).
8. Солод О.В. Основные аспекты менеджмента знаний в организации // научное сообщество студентов XXI столетия. экономические науки: сб. ст. по мат. LXXXIV междунар. студ. науч.-практ. конф. № 12(84). URL: [https://sibac.info/archive/economy/12\(84\).pdf](https://sibac.info/archive/economy/12(84).pdf) (дата обращения: 26.03.2020)

## ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНТЕГРАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ С ОБЛАКОМ

*С.В. Разумников, к.т.н, доцент, Д.А. Пранкевич, магистрант*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)77764*

*E-mail: demolove7@inbox.ru*

**Аннотация:** Если планируется перенести все приложения из локальной среды в облако, в течение определенного времени некоторые приложения будут оставаться в центре обработки данных, в то время как остальные будут перенесены. В этой статье рассматриваются подходы к обеспечению интеграции приложений с облаком.

**Annotation:** If you plan to transfer all applications from the on-premises environment to the cloud, for some time some applications will remain in the data center, while the rest will be transferred. This article discusses approaches to integrating applications with the cloud.

**Ключевые слова:** облачные технологии, управление, хранение данных, локальная среда, интеграция приложений.

**Keywords:** cloud technologies, management, data storage, on-premises environment, application integration.

Введение. Если планируется перенести все приложения из локальной среды в облако, в течение определенного времени некоторые приложения будут оставаться в центре обработки данных, в то время

как остальные будут перенесены [1-5]. Альтернативный (и более вероятный) сценарий – оставить некоторые приложения в локальном центре обработки данных на обозримое будущее. Это – гибридное облако.

В обоих случаях предприятия захотят интегрировать свой портфель приложений таким образом, чтобы все программы продолжали работать по-прежнему (как если бы все они оставались в той же сети), а функциональные возможности пользователей не претерпели существенных изменений. Рассмотрим несколько подходов, обеспечивающих такую интеграцию.

Сеть. Во-первых, необходимо, чтобы облачные приложения были доступны в корпоративной сети (в соответствующей подсети). Для этого можно использовать виртуальную частную сеть (VPN) или выделенный физический канал, соединяющий центр обработки данных предприятия с облачным центром обработки данных.

Варианты VPN. ИТ-отделы могут подключать VPN либо с помощью программного обеспечения (подключение типа «точка-сеть»), либо используя устройство VPN (подключение типа «сеть-сеть»). Вариант «точка-сеть» используется для подключения к облачным ресурсам только одного локального компьютера, обычно из дома, конференц-зала и т. д.

В конфигурациях «сеть-сеть» специализированное устройство VPN создает зашифрованный (с помощью IPSec с Internet Key Exchange (IKE)) туннель между центром обработки данных и облаком. IP-адреса назначаются в устройстве таким образом, что облачные ресурсы представляются в локальной сети в соответствии с рисунком 1.

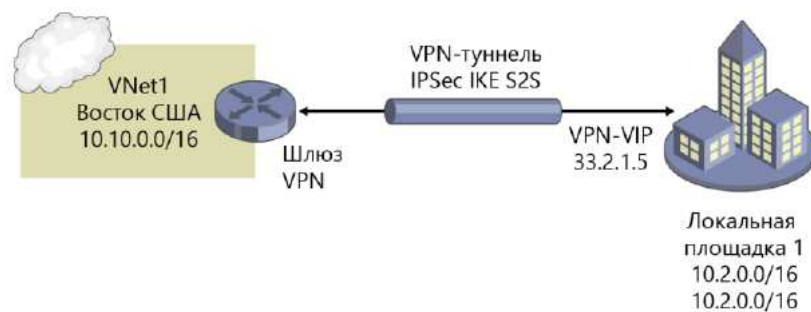


Рис. 1. Аппаратная VPN

Можно настроить VPN этого вида для нескольких локальных центров обработки данных (рис. 2).

Azure ExpressRoute. С помощью выделенного канала, например Azure ExpressRoute, предприятия могут подключаться к облаку непосредственно из своего центра обработки данных. Однако вам необходимо приобрести выделенные линии у местного поставщика телекоммуникационных услуг, а также установить в своем центре обработки данных соответствующий пограничный маршрутизатор и другое оборудование. На рисунке 3 представлен обзор конфигурации ExpressRoute.

Такие выделенные каналы имеют следующие преимущества:

- Обычно вы приобретаете у поставщика телекоммуникационных услуг гарантированную пропускную способность.
- ExpressRoute можно использовать для подключения к любой облачной службе Microsoft.
- Появляется дополнительный уровень безопасности, так как сообщения не проходят через общедоступный Интернет.

Однако выделенные каналы, такие как ExpressRoute, потребуют дополнительных расходов в зависимости от необходимой пропускной способности, тарифов, установленных выбранным поставщиком телекоммуникационных услуг и т. д.

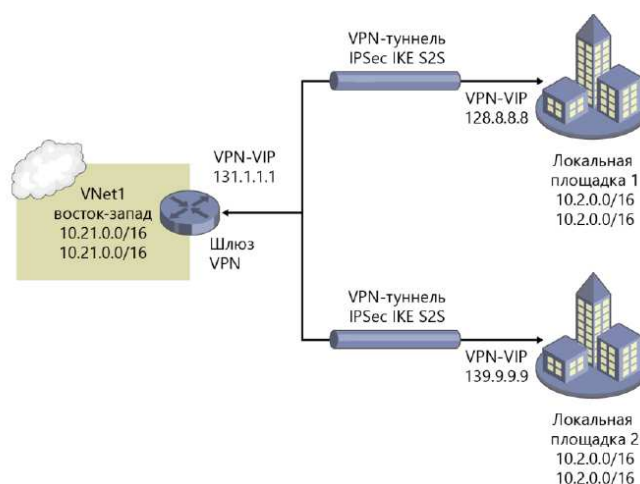


Рис. 2. VPN-подключение нескольких центров обработки данных

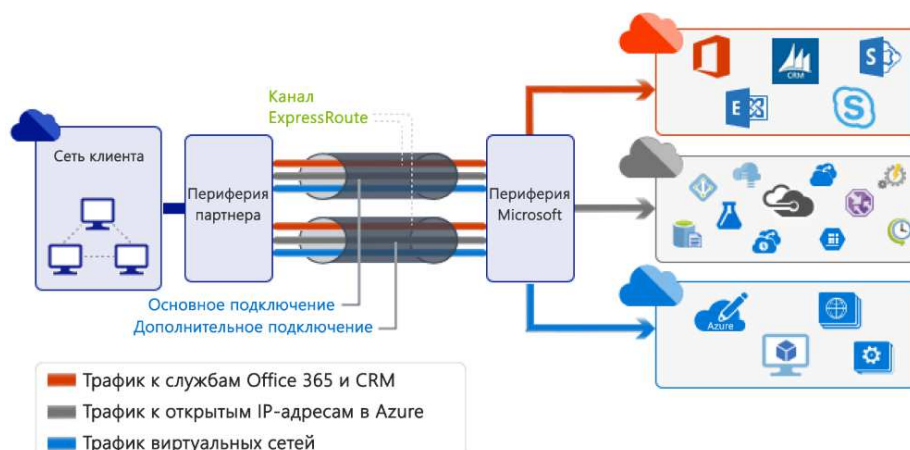


Рис. 3. ExpressRoute

Обмен сообщениями: служебная шина. Для обеспечения интеграции приложений облако предлагает несколько подходов. Для обмена сообщениями между приложениями используется служебная шина Azure, которая может соединять приложения только в облаке или локальные приложения с облачными. Она предоставляет целый ряд различных архитектурных вариантов. Служебная шина – это надежная служба доставки информации, похожая по концепции на реальное почтовое отделение.

Поддерживаются следующие концепции обмена сообщениями:

- Очереди – обмен сообщениями осуществляется в соответствии с алгоритмом «первым пришел, первым обслужен».
- Темы и подписки – приложения могут назначать определенным сообщениям определенный тип, после чего другие приложения могут подписываться на них.

Служебная шина Azure – это брокер сообщений общего назначения, который обеспечивает высокий уровень безопасности и надежную доставку сообщений. Ее действия являются транзакционными. Это означает, что если данное действия (доставку) не удастся завершить, его состояние возвращается в известное согласованное состояние.

Интеграция бессерверных приложений: Logic Apps. На самом верхнем уровне интеграции приложений находятся брокеры, которые непосредственно реализуют протоколы B2B, а также могут использоваться для создания настраиваемых корпоративных рабочих процессов.

Проще всего использовать так называемые брокеры модели «интеграционная платформа как услуга» (iPaaS), например службу Microsoft Azure Logic Apps.

Служба Logic Apps дает возможность корпоративным разработчикам без кодирования подключать приложения, используя отраслевые протоколы. Их называют «бессерверными». В приложениях логики

используются коннекторы EDI X.12, HL7 FHIR, XML, SMS, SAP и еще сотни других. Поскольку для Logic Apps не нужно писать код, она обеспечивает быструю и надежную интеграцию приложений.

Расширение служб каталогов в облако. Ниже представлены три ключевые цели управления удостоверениями на предприятии.

- Пользователи должны использовать единый вход (SSO) в приложения как в центре обработки данных, так и в облаке.
- Пользователи должны иметь возможность подтверждать подлинность в приложениях из-за пределов корпоративной сети (например, при работе из дома).
- Для определенных приложений может быть разрешена (возможно с ограниченными привилегиями) проверка подлинности с использованием внешних интернет-источников (например, учетных данных для входа в учетную запись Microsoft, Facebook или Google).

Для достижения этих целей предприятиям следует рассмотреть возможность расширения функции служб каталогов в облако, например с помощью службы Azure Active Directory (Azure AD), как показано на рисунке 4.

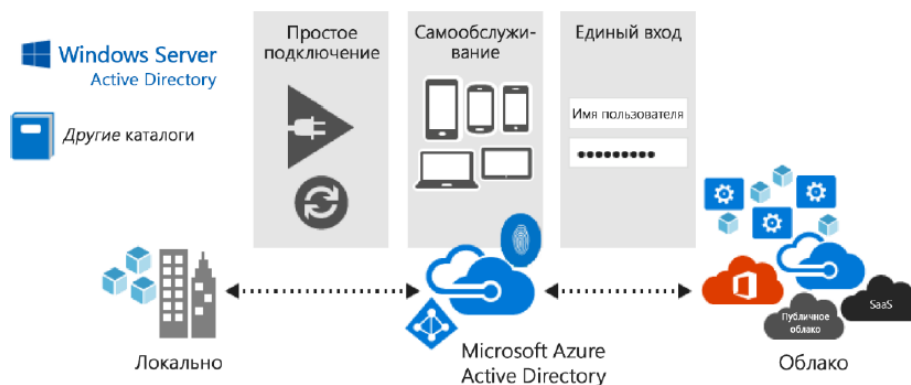


Рис. 4. Azure Active Directory

Azure AD синхронизируется с локальными каталогами, например Windows Server Active Directory и другими. При этом пользователи выполняют вход один раз и получают доступ как к локальным приложениям в центре обработки данных, так и к облачным приложениям. Кроме того, пользователи могут выполнить вход из-за пределов центра обработки данных, и Azure AD будет управлять процессом проверки подлинности в координации с локальным каталогом. Azure AD также может управлять источниками проверки подлинности в Интернете, например учетными записями Microsoft и Facebook.

Один из важнейших аспектов Azure AD – это его коннекторы с ведущими приложениями, предоставляемыми по модели «ПО как услуга». Пользователям нужно выполнить вход только один раз, чтобы получить доступ не только к корпоративным приложениям, но и к Microsoft Office 365, Salesforce.com, DropBox, Concur и многим другим. Дополнительная функция Azure AD предоставляет инструменты для настройки масштабирования проверки подлинности клиентов, например для интернет-магазина, в котором необходимо проверять подлинность клиентов.

Заключение. Перенос приложений в облако – важная и серьезная задача, требующая изменения способа работы предприятия и ИТ-инфраструктуры. Если планируется перенести все приложения из локальной среды в облако, в течение определенного времени некоторые приложения будут оставаться в центре обработки данных, в то время как остальные будут перенесены. В этой статье были рассмотрены подходы к обеспечению интеграции приложений с облаком, показаны их функции и возможности применения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-07-00031 «Модели, алгоритмы и программное обеспечение системы поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии».*

Список используемых источников:

1. Razumnikov S.V., Kremneva M.S. Decision support system of transition IT-applications in the cloud environment // International Siberian conference on control and communications SIBCON 2015 – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ieee.tpu.ru/musor/sbornik/files/sections.html>.
2. Razumnikov S.V., Kurmanbay A.K. Models of evaluating efficiency and risks on integration of cloud-base IT-services of the machine-building enterprise: a system approach // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016 - Vol. 124 - №. 1, Article number 012089. - p. 1-5.
3. Разумников С.В. Интегральная модель оценки результативности внедрения облачных ИТ-сервисов // Научные труды Вольного экономического общества России. - 2016 - Т. 201. № 4. - С. 492-504.
4. Razumnikov S., Prankevich D. Integrated model to assess cloud deployment effectiveness when developing an it-strategy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 127 : Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering.
5. Разумников С.В. Некомпенсаторное агрегирование и рейтингование провайдеров облачных услуг // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. Т. 21. № 4. С. 63-69.

### РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ К ПЕРЕХОДУ НА ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*С.В. Разумников к.т.н, доцент,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, тел. 8(38451)77764  
E-mail: demolove7@inbox.ru*

**Аннотация:** В этой статье приводится информационное обеспечение для системы поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии. Рассматриваются функции системы, входная, выходная информация, представлены какие будут объекты информационной системы. Также показаны функциональная и инфологическая модели для СППР.

**Annotation:** This article provides information support for the strategic decision support system for the transition to cloud technology. The functions of the system, input, output information are considered, what objects of the information system will be presented. Functional and infological models for DSS are also shown.

**Ключевые слова:** облачные технологии, информационное обеспечение, модель, объекты, стратегия, переход.

**Keywords:** cloud technologies, information support, model, objects, strategy, transition.

Введение. В последнее десятилетие большую популярность приобрели облачные технологии. Все больше предприятий хотят перенести свою работу в облако полностью или хотя бы частично. Для этого требуется провести тщательный анализ, учесть множество важных факторов. В помощь этим этапам по переходу к облачным технологиям разработаны математические модели, которые призваны помочь в принятии верного обоснованного решения [1-5]. А на основе этих моделей разрабатывается программное обеспечение, которое может помочь экспертам и ЛПП в аналитической работе.

Целью данной работы является проектирование системы поддержки принятия стратегических решений при переходе к облачным технологиям. Для этого было разработано информационное обеспечение задачи: функциональные модели (прописаны функции, входная и выходная информация для системы), инфологическая модель, где указаны объекты будущей информационной системы и связи между ними.

Входная и выходная информация, функции и объекты информационной системы

Для СППР к переходу на облачные технологии были определены функции системы, входная и выходная информация (рис. 1). Эта информация будет соответствовать определенным объектам системы: справочникам и отчетам, которые имеют соответствующие названия.



Рис. 1. Функции СППР, входная, выходная информация

Всего в СППР предусмотрено 6 справочников, 11 документов, 12 отчетов. В таблице 1 представлены объекты СППР.

Таблица 1

Объекты системы поддержки принятия решений при переходе на облачные технологии

Объекты СППР		
Справочники	Документы	Отчеты
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Эксперты.</li> <li>2. Облачные сервисы.</li> <li>3. Провайдеры.</li> <li>4. Критерии и показатели оценки.</li> <li>5. Статьи расходов.</li> <li>6. Сведения о планировании результатов работы.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. SWOT-анализ.</li> <li>2. Выбор провайдера.</li> <li>3. Формирование экспертной комиссии.</li> <li>4. Оценка преимуществ внедрения облачных ИТ.</li> <li>5. Расчет стоимости и оценка пригодности.</li> <li>6. Экономическое обоснование миграции.</li> <li>7. Формирование системы безопасности.</li> <li>8. Формирование стратегии.</li> <li>9. План реализации внедрения.</li> <li>10. Обслуживание облачных сервисов.</li> <li>11. Планирование развития облачной стратегии.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Команда облачной стратегии.</li> <li>2. Нечеткий SWOT-анализ.</li> <li>3. Интегральный показатель <math>K_{ees}</math>.</li> <li>4. Анализ пригодности для миграции в облако.</li> <li>5. Анализ облачных сервисов.</li> <li>6. Анализ провайдеров облачных услуг.</li> <li>7. Экономическое обоснование миграции.</li> <li>8. Анализ системы безопасности.</li> <li>9. Анализ стоимости облачных сервисов.</li> <li>10. Анализ обслуживания облачных сервисов.</li> <li>11. Оптимизированные критерии работы сервиса.</li> <li>12. План развития облачной стратегии.</li> </ol>

Функциональная модель для СППР перехода к облачным технологиям представлена на рис. 2. Данные модели были построены с использованием системного подхода (метод декомпозиций) средствами BPWin.



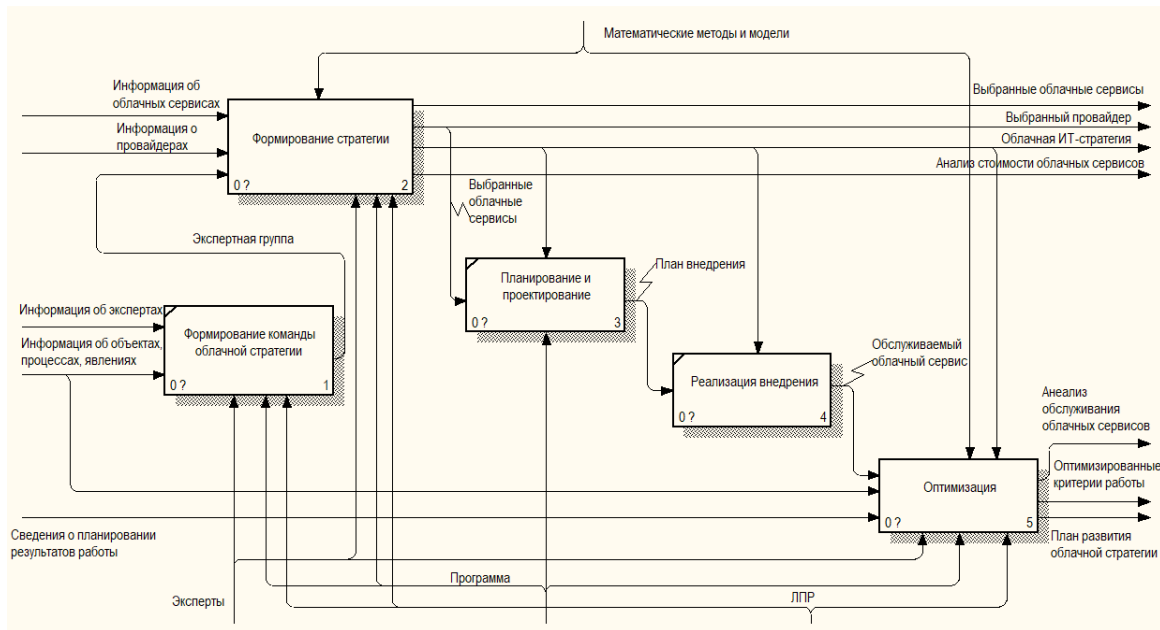


Рис. 2. Функциональная модель СППР «Переход на облачные технологии»

Отметим, что под выходом «Облачная ИТ-стратегия» понимается также такие результаты, как «Экономическое обоснование миграции» и «Анализ системы безопасности».

Декомпозиция функциональной модели представлена на рис. 3.

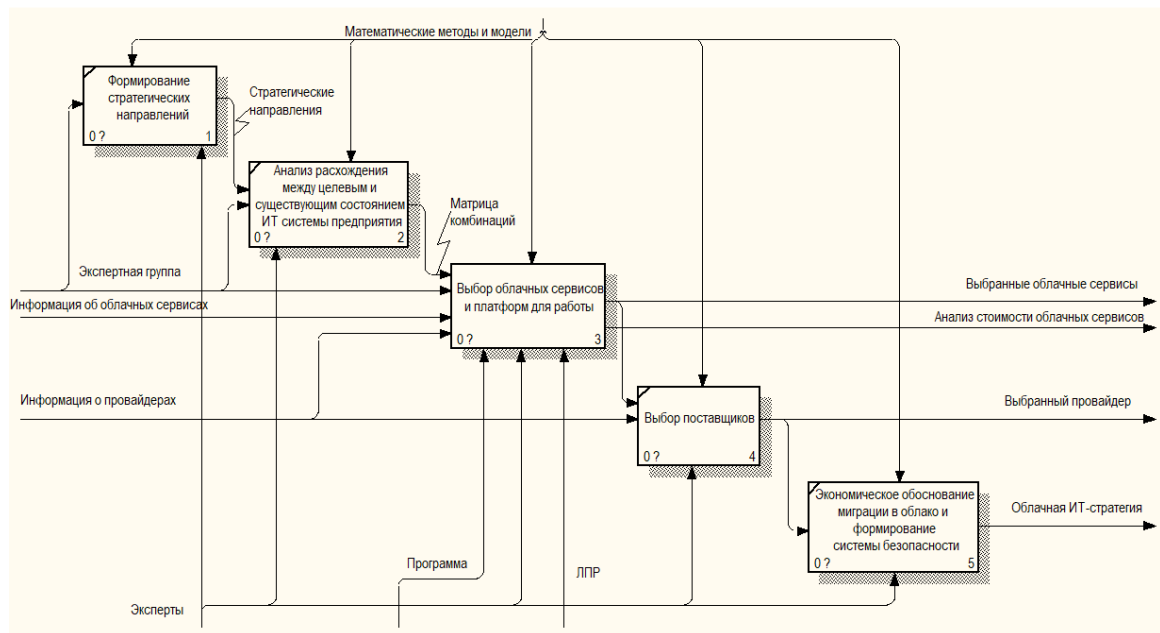


Рис. 3. Декомпозиция функции «Формирование стратегии»

Инфологическая модель СППР к переходу на облачные технологии (рис. 4)

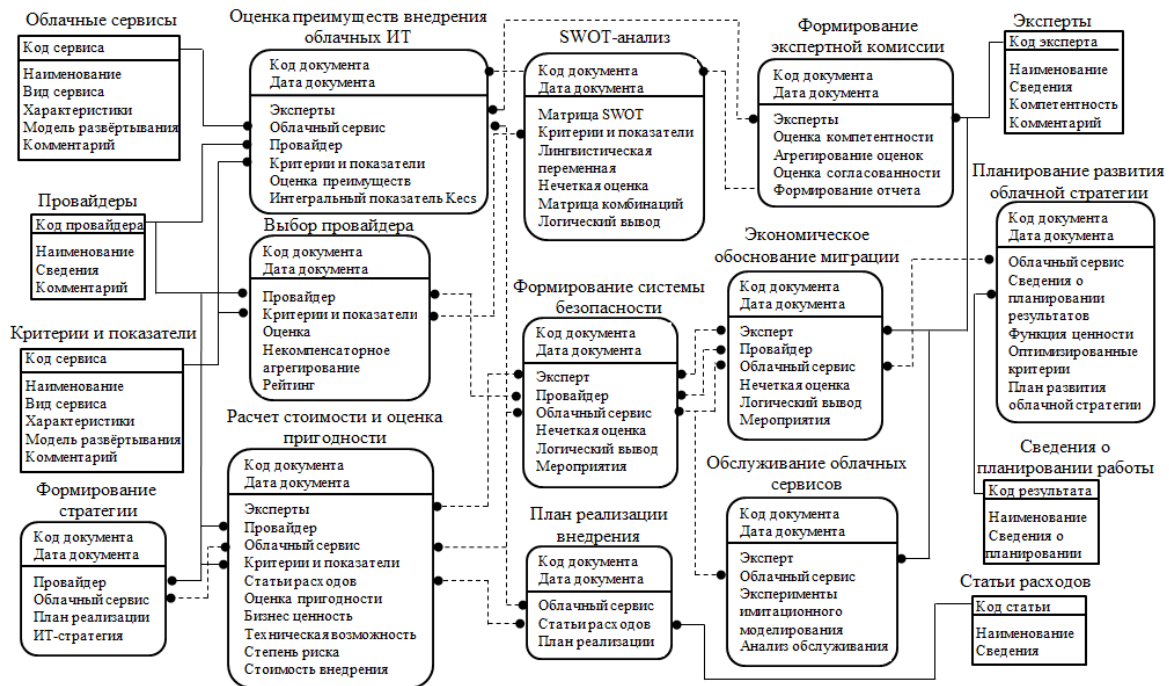


Рис. 4. Общая инфологическая модель СППР к переходу на облачные технологии

Закключение. Перенос приложений в облако – важная и серьезная задача, требующая изменения способа работы предприятия и ИТ-инфраструктуры. В помощь для принятия решений служат математическое и программное обеспечение для этой области. В этой статье были рассмотрены функции системы, входная, выходная информация, представлены какие будут объекты информационной системы. Также показаны функциональная и инфологическая модели для СППР.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-07-00031 «Модели, алгоритмы и программное обеспечение системы поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии».*

Список используемых источников:

1. Razumnikov S.V., Kremneva M.S. Decision support system of transition IT-applications in the cloud environment // International Siberian conference on control and communications SIBCON 2015 – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://iee.tpu.ru/musor/sbornik/files/sections.html>.
2. Razumnikov S.V., Kurmanbay A.K. Models of evaluating efficiency and risks on integration of cloud-base IT-services of the machine-building enterprise: a system approach // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016 - Vol. 124 - №. 1, Article number 012089. - p. 1-5.
3. Разумников С.В. Интегральная модель оценки результативности внедрения облачных ИТ-сервисов // Научные труды Вольного экономического общества России. - 2016 - Т. 201. № 4. - С. 492-504.
4. Razumnikov S., Prankevich D. Integrated model to assess cloud deployment effectiveness when developing an it-strategy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 127 : Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering.
5. Разумников С.В. Некомпенсаторное агрегирование и рейтингование провайдеров облачных услуг // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. Т. 21. № 4. С. 63-69.

## ПРИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ИНЖЕНЕРОВ РОССИЙСКИХ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*С.А. Прокопенко, проф., д.т.н.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,*

*E-mail: sibgp@mail.ru*

**Аннотация:** В СССР существовала централизованно управляемая и организованная по территориально-отраслевому принципу разветвленная система инновационного развития промышленности, обеспечивавшая поступательное обновление угольных предприятий, технологий, оборудования. Всесоюзное общество изобретателей и рационализаторов охватывало своей деятельностью 118 тыс. промышленных предприятий и 16 млн. изобретателей и рационализаторов. В 1987 г. по количеству зарегистрированных изобретений (83,7 тыс. шт.) СССР занимал первое место в мире, обходя США, Японию, Германию, Великобританию. После распада Советского Союза инновационная деятельность в промышленности, и в угольной в частности, обрушилась на недопустимо низкий уровень. Даже в передовых угольных компаниях количество инновационных предложений ежегодно сокращается, а их инновационная результативность снижается.

В статье анализируются причины падения активности рационализаторской и изобретательской деятельности. Выявлены факторы снижения восприимчивости инноваций предприятиями, способностей и интереса горных инженеров к новаторской деятельности. Показаны причинно-следственные связи низкого уровня интеллектуально-инновационного потенциала горных инженеров и его влияние на конкурентоспособность предприятий.

**Ключевые слова:** инновация, развитие, угольное предприятие, компания, горный инженер, интеллектуально-инновационный потенциал, изобретение, снижение, система, фактор, внедрение.

**Abstract:** In the USSR a centrally managed, territorial- and industry-specific branched system of innovative industrial development was built which ensured continuous renovation of coal mining enterprises and equipment and was intended to improve technologies. The All-Union Association of Inventors and Innovators incorporated 118 thousand industrial enterprises and 16 million inventors and innovators. In 1987, the USSR ranked first in the number of registered inventions (83.7 thousand) leaving behind the USA, Japan, Germany, and Great Britain. After the collapse of the Soviet Union, innovation activity in industry – and in coal mining in particular – hit an unacceptably low level. Even in advanced coal mining companies the number of innovation proposals is reduced annually, and their innovation performance decreases.

The article analyzes the causes of the decline in the invention and innovation activity. The factors behind decreasing commitment of industrial enterprises to innovations and low competencies and interest of mining engineers in innovation activity are identified. Interrelation between low intellectual and innovative potential of mining engineers and competitive performance of enterprises is presented.

**Key words:** innovation, development, coal mining enterprise, company, mining engineer, intellectual and innovative potential, invention, reduction, system, factor, implementation.

Введение

Система инновационного обновления угольной промышленности в советское время была подсистемой развития всей промышленности в масштабе страны и организовывалась через Всесоюзное общество изобретателей и рационализаторов (ВОИР). Общество управлялось центральным аппаратом ВОИР, поддерживалось органами государственного, партийного и профсоюзного управления. ВОИР работало на основе территориально-отраслевого принципа и имело разветвленную структуру с отделениями в регионах, производственных объединениях и своими представителями на крупных и средних предприятиях.

На 1988 год в Обществе состояло более 118 тысяч предприятий, более 14 миллионов изобретателей и рационализаторов, 5 народных депутатов СССР от ВОИР курировали созданную в Верховном совете СССР депутатскую группу содействия научно-техническому прогрессу. Плодотворная деятельность ВОИР и относительно успешное правовое обеспечение развития изобретательства и рационализаторства позволили Советскому Союзу достичь в этом вопросе существенных достижений. Если в 1939 году в СССР было зарегистрировано 26,9 тыс. изобретений, то в 1987 году их количество составило 83,7 тысячи штук. Эти показатели были значительно выше, чем в некоторых наиболее прогрессивных странах мира таких, как США (82,9 тыс.), Япония (62,4 тыс.), Германия и Великобритания (28,7 тыс.). Нашей стране удавалось удерживать такие показатели вплоть до развала СССР в 1991 году, когда число зарегистрированных изобретений сократилось в четыре раза [1,2].

Переход российской экономики с конца 20 века на рыночные отношения привел к утрате сложившейся в советское время системы внедрения новаций в деятельность промышленных предприятий. С 2016 года российские органы государственного управления пытаются систему реанимировать. Прежнее всесоюзное общество воссоздано как Всероссийское общество изобретателей и рационализаторов (ВОИР). 25 октября 2016 года состоялся внеочередной съезд ВОИР, на котором были переизбраны руководящие органы Общества, а также обновлен кадровый состав Центрального совета. 1 июля 2017 года прошёл VI съезд Общества, посвящённый 85-летию ВОИР. Приветственную телеграмму его участникам прислал Президент РФ В.В.Путин, который высоко оценил вклад отечественных новаторов в инновационное развитие экономики страны, пожелал дальнейших успехов. На съезде была утверждена новая редакция Устава Общества, принята Программа развития ВОИР на период 2017-2022 гг., переизбраны руководящие органы [3].

Однако, последствия разрушения системы инновационного развития до сих пор не устранены. Деятельность ВОИР пока не развернута на территории страны и к настоящему времени система инновационного обновления экономики России не вышла на прежний уровень. Более того страна продолжает откатываться от достигнутых позиций. Мониторинг инновационной активности стран ведет Всемирная организация интеллектуальной собственности (World Intellectual Property Organization) – специализированное учреждение Организации Объединённых Наций по вопросам интеллектуальной собственности. По ее оценкам в 2012 г. Россия подала 41414 патентных заявок и занимала 7 место в мире. В 2018 г. с 36883 заявками Россия опустилась на 8 место [4].

Общегосударственные экономические проблемы отражаются и на угольной промышленности. В угледобывающих регионах изобретательское движение практически не прослеживается, на предприятиях угольной отрасли изменений к лучшему инновационному климату не наблюдается. Изучение причин и направлений снижения активности рационализаторов и изобретателей в угольной промышленности России является целью настоящего исследования.

#### Результаты и обсуждение

Изучение процессов инновационного обновления предприятий российской угольной промышленности, уровня активности персонала, результатов внедрения новаций показывает деградирующий характер этой деятельности. В ведущей угольной компании России АО «СУЭК» несмотря на позитивные отчеты инновационный процесс затухает. В научных трудах одного из руководителей этой компании приводится динамика ее инновационной деятельности (рис. 1) [5].

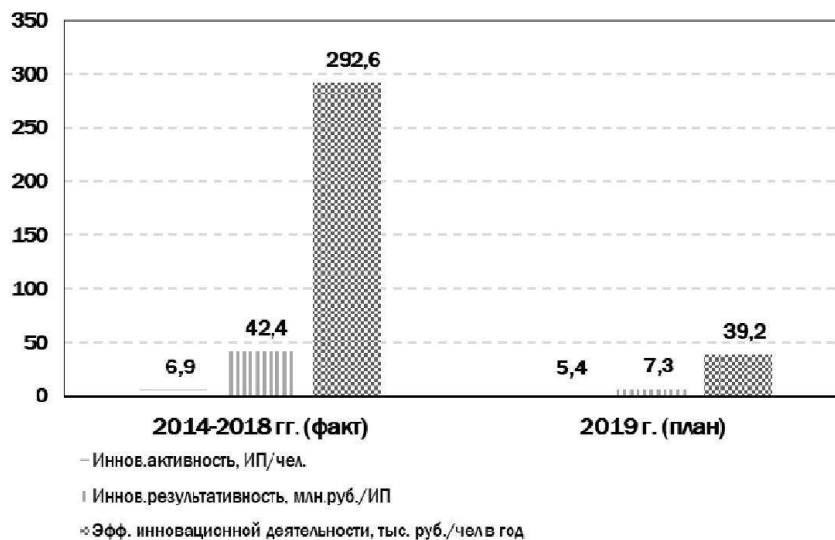


Рис. 1. Сравнение достигнутых в 2014-2018 гг. и в 2019 г. показателей эффективности инновационной деятельности ООО «СУЭК-Хакасия» [5].

Анализ приведенных сведений показывает, что если в предыдущий период ежегодный фактический эффект от инновационной деятельности составлял в среднем 58,5 тыс. руб./чел. в год, то планируемый показатель на 2019 г. составляет всего лишь 39,2 тыс. руб./чел. в год или в 1,5 раза мень-

ше. Инновационная результативность компании также снижается с 8,5 млн. руб. на одно инновационное предложение в 2014-2018 гг. до 7,3 млн. руб. в 2019 году.

Количество реализованных инноваций в этой ведущей на российском рынке компании последние пять лет находится на низком уровне. Если в период 2014-2016 гг. количество внедренных новаций в компании составляло 2-8 штук на 1 тыс. чел. в год, то в 2017-2018 г. на 1 тысячу работающих сотрудников компании приходилось всего 1-3 освоенных новации в год. Лишь в региональном производственном объединении ООО «СУЭК-Хакасия» этот показатель ежегодно прирастает на 2 новации ежегодно (рис. 2) [6]. В тоже время имеется информация, что в японской компании «Тойота» каждый работник подает в среднем 100 предложений в год по совершенствованию работы предприятия [7-9].

Инновационное обновление российских угольных предприятий происходит, главным образом, «сверху», когда хозяева компании закупают импортное оборудование и передают на освоение эксплуатирующему персоналу. Нередко этот персонал оказывается неготовым к организации условий безаварийной и эффективной эксплуатации горных машин. Требуются дополнительные обучение и стажировка. И тем не менее уровень использования машинного времени нового оборудования остается низким по сравнению с зарубежными шахтами и разрезами. Приобретенное оборудование и процесс его освоения выдаются за инновационное развитие предприятия [10].

Основными причинами инновационного неблагополучия компании руководство называет отсутствие системной работы в этом направлении: «Отсутствие в компании системной работы с кадровым резервом по повышению инновационной активности и результативности человеческого капитала ограничивает удовлетворение потребностей активных работников в творчестве, самовыражении и саморазвитии» [6]. Руководство признается, что «...действующее в компании «Положение о мотивации персонала предприятий на изменение и улучшение производственных процессов» является одновременно и драйвером, и «тормозом» повышения инновационной результативности человеческого капитала» [6]. Наблюдаемое проявление демотивирующих факторов значительно снижает потенциал персонала и, как следствие, эффективность инновационной деятельности.



Рис. 2. Сравнение инновационной активности человеческого капитала региональных производственных объединений угольной компании АО «СУЭК» за 2014-2018 гг. [5].

Проблеме повышения инновационной активности персонала угледобывающих предприятий посвящены труды многих ученых и практиков [11-15]. В них выявляются и анализируются факторы влияния, оцениваются результаты инновационной деятельности, предлагается методический аппарат по устранению негативных явлений, запуску творческих процессов, оценке их эффективности. Угольные компании активизируют деятельность по развитию человеческого капитала своих предприятий, организуют обучение персонала на специальных курсах, в институтах повышения квалификации, на обучающих семинарах, инициируют запуск отдельных инновационных предложений [16-21]. Но даже собственные предложения, подаваемые сотрудниками предприятий, продвигаются с трудом и в малом количестве. Еще хуже отношение и восприятие внешних новаций. В силу высокой специализации их разработчиков (институты, малые инновационные предприятия, инновационные центры), большей глубины проработки

и уровня новизны такие новации несут большие эффекты при внедрении [22,23]. Однако восприимчивость таких предложений персоналом компаний находится на низком уровне [24,25].

Низкие темпы инновационного развития российских угольных предприятий в последнее время, помимо общесистемных внешних причин и внутриорганизационных факторов предприятий связаны и с ослаблением интеллектуально-инновационного потенциала персонала и, в первую очередь, его инженерного состава. Интеллектуально-инновационный потенциал (ИИП) горного инженера проявляется в способности и интересе к самостоятельной генерации идей и их воплощению в действительность, восприимчивости новаций коллег по работе и готовности содействовать им, восприимчивости новаций, предлагаемых предприятию учеными и новаторами из специализированных организаций, и готовности участвовать в процессе их реализации в практику своего предприятия. Представление об интеллектуально-инновационном потенциале горного инженера можно получить, анализируя его составляющие (рис. 3).



Рис. 3. Составляющие интеллектуально-инновационного потенциала горного инженера

Эффективность внешних новаций существенно выше внутренних. Специализированные научно-исследовательские институты, научно-технические центры, малые инновационные предприятия в силу своей специализации и большего времени проработки проблем выдают решения, отличающиеся большей научной новизной, обоснованностью и эффективностью (рис. 4).

Внутренние новации, генерируемые эксплуатационным персоналом предприятия, обеспечивают, главным образом, решение текущих производственных, технических и организационных задач путем рационализации процессов, приемов и орудий труда. Они зачастую не соответствуют понятию инновации, так как не несут в себе нового научного знания, а лишь улучшают имеющееся оборудование, оснастку, регулируют применяемые процессы. Импортзамещение под силу только внешним новациям.

В последнее время снижение интереса и активности горных инженеров происходит в отношении и внешних и внутренних новаций. Это связано с наблюдаемым дисбалансом экономических интересов субъектов инновационной деятельности и снижением творческого потенциала инженерного персонала угольных предприятий. Сущностные причины и системное влияние этого явления на состояние угледобывающего предприятия представлено на рис. 5.

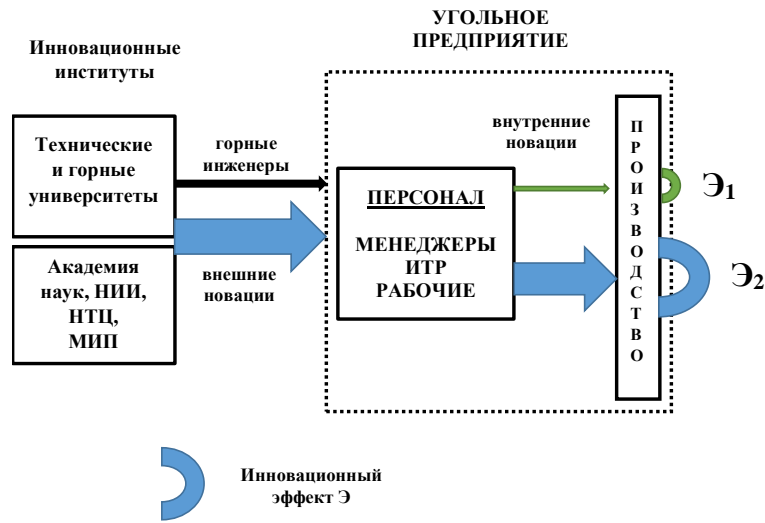


Рис. 4. Эффективность внутренних  $\text{Э}_1$  и внешних  $\text{Э}_2$  инноваций

Поступающие в последние десятилетия на предприятия инженеры - выпускники нынешних горных вузов - отличаются по интеллектуально-инновационному потенциалу от советских горных инженеров. Это связано с низким качеством набора абитуриентов в горные вузы. Система ЕГЭ не позволяет отбирать для подготовки горных инженеров юношей с задатками к техническому творчеству. Уровень творческой подготовки нынешних молодых инженеров существенно снизился вследствие ряда внутренних причин вузов. Преподавательский потенциал горных университетов в части технического творчества существенно ослаб, а опыта реализации новаций в деятельность предприятий у преподавателей за прошедшие годы не появилось. Научить технологическому предпринимательству могут лишь единицы преподавателей [25].

В университетах перестали преподавать теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанную Г. Альтшулером, и даже основы изобретательской деятельности. Исчезли школы изобретателей и факультативы обучения основам творческой деятельности. При этом учебные планы наполнены современными, но не развивающими в студентах-горняках оригинальность мышления и творческие способности дисциплинами.

Снизилась инновационная активность в среде преподавателей университетов. Стимулирование генерации идей и их патентной регистрации прекратилось. Если в 80-е годы 20-го века в Кузбасском политехническом университете (КузПИ), выступающим главной кузницей инженерных горняцких кадров, действовал Институт патентных исследований и количество регистрируемых заявок на изобретения превышало 50-60 шт. в год, то затем Институт был ликвидирован, на его месте создали патентный отдел. Со временем и его сократили до одного патентоведа. Количество регистрируемых изобретений в последние годы сократилось до нескольких штук в год [25].

В Кемеровской области инновационную деятельность организовывал областной Совет ВОИР. Его подразделения имелись во всех угольных объединениях в форме территориальных советов и на каждой шахте, разрезе, обогатительной фабрике, шахто-монтажном управлении и т.п. в лице инженеров по рационализации. Угольные предприятия являлись членами ВОИР, пользовались средствами фонда поддержки ВОИР, составляли планы на разработку и внедрение новшеств. ВОИР организовывало курсы обучения основам изобретательства, на которых разбирались методы решения изобретательских задач, понятия и методика составления и подачи заявки на изобретение, основы ТРИЗ, объекты и формы подготовки заявок на рацпредложения. На предприятиях работали школы молодых рационализаторов.

Партийные и советские органы контролировали выполнение годовых планов рационализации и спрашивали с руководителей за их невыполнение. По линии ВОИР организовывались посещения



Рис. 5. Причинно-следственные связи низкого уровня ИИП горных инженеров

передовых предприятий, ознакомление с опытом передовиков, выпускались брошюры с описанием внедренных и рекомендуемых для широкого применения изобретений и рацпредложений.

Ежегодно в Кемеровской области проводились соревнования на лучшее предприятие по изобретательству и рационализации. Проводились конкурсы на звание «Лучший рационализатор Кузбасса». Такое звание в 1963 г. получил бригадир шахты «Зыряновская» М.Н.Решетников. На его счету было 120 рационализаторских предложений по совершенствованию угледобывающей техники [26].

Авторы внедренных изобретений и рацпредложений получали материальное вознаграждение, пропорциональное полученному экономическому эффекту, и награды. Так изобретатели с шахты «Нагорная» в составе семи человек за большие успехи в разработке и внедрении техники и технологии проведения подземных горных выработок в 1975 г. стали лауреатами государственной премии СССР, а директор шахты В.М.Ерпылев был удостоен звания Героя социалистического труда СССР [26].

Ежегодно в Кузбассе проводился конкурс на лучшего изобретателя области. Победители областного конкурса поощрялись морально и материально. В 1985 г. заслуженный изобретатель СССР, доцент КузПИ И.Д.Богомоллов стал лауреатом конкурса «Лучший изобретатель Кузбасса» и получил



солидную премию. Изобретательская деятельность И.Д.Богомолова и его коллег была примером для многих молодых новаторов Кузбасса.

Системная работа обеспечивала вовлечение широких масс инженеров и рабочих угольной промышленности в процессы творчества и освоения новаций. В результате за годы XI пятилетки в техническом творчестве на шахтах и разрезах приняло участие почти 10 % персонала.

Деятельность инноваторов приносила региону большую экономию средств. За период 1959-1965 гг. от использования 105 тысяч изобретений и рацпредложений в угольной промышленности было получено более 80 млн. руб. экономии. За это время от использования рационализаторских предложений с тяжелых ручных работ было высвобождено 3500 человек, сэкономлено 180 млн. кВт-ч. электроэнергии, 155 тыс. т условного топлива, почти 50 тыс. т металла. О высокой эффективности изобретательской и рационализаторской деятельности свидетельствует то, что на каждый вложенный рубль в ее развитие отдача составляла 20 рублей [26].

#### Заключение

Прекращение деятельности областных и центральных органов координации изобретательства лишило студентов-горняков, преподавателей, ученых и горных инженеров стимулов мотивации творческой активности. Отсутствие в угольных компаниях действенных систем организации и стимулирования персонала на поиск решений по обновлению рабочих мест, процессов, технологий подавляет интерес инженеров к раскрытию внутренних способностей. Следствием стало угасание инновационного потенциала горных инженеров нынешних угольных предприятий. Количество генерируемых инновационных предложений по повышению эффективности и безопасности производства и уровень их новизны снижаются. Внедрения прорывных новаций с существенными эффектами практически не происходит. Следующим следствием проявляется замедление процессов обновления угледобывающего производства и снижение конкурентоспособности выпускаемого предприятиями угля.

Приходится признать, что принцип «разработать и внедрить механизмы стимулирования компаний к разработке и внедрению инноваций, к модернизации», заложенный в «Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 г» пока реализовать не удастся [27]. Представленные направления и причины снижения интеллектуально-инновационного потенциала предприятий угольной промышленности определяют первоочередные задачи на пути изменения сложившегося положения.

*Исследование выполнено в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.*

#### Список используемых источников:

1. Викторов А. Г. Оценка истории деятельности Всесоюзного общества изобретателей и рационализаторов (ВОИР) с позиции современной науки / А. Г. Викторов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 8 (50) Часть 1. – С. 138 – 140. – URL: <https://research-journal.org/hist/ocenka-istorii-deyatelnosti-vsesoyuznogo-obshhestva-izobretatelej-i-racionalizatorov-voir-s-pozicii-sovremennogo-nauki/> (дата обращения: 27.11.2019). doi: 10.18454/IRJ.2016.50.225.
2. Скоренко Т. Изобретено в СССР: История изобретательской мысли с 1917 по 1991 год / Тим Скоренко. – М.: Альпина нон-фикшн, 2019. – 515 с.
3. Краткая справка о ВОИР/ [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <http://www.rosvoir.ru/ru/structure-page>. (дата обращения: 16.12.2019).
4. Рейтинг стран по количеству патентов: URL: <https://nonews.co/directory/lists/countries/number-patents> (дата обращения: 27.11.19).
5. Волков С.А. Повышение инновационной активности и результативности человеческого капитала угольной компании: дисс...экон. наук: 08.00.05 / Волков Сергей Александрович; [Место защиты: ЮЗГУ], Курск, 2019 г. – 130 с.
6. Волков, С.А. Инновационная активность и результативность человеческого капитала угольной компании /С.А. Волков //Регион: системы, экономика, управление. – 2019. – №1 (44). – С. 146-150.
7. Брашфилд, Рейчел. Как мотивировать своих сотрудников? 30 способов [Электронный ресурс]/ Р. Брашфилд; пер. с англ. Т. Горбань// HR-Portal//. – URL: <http://hr-portal.ru/blog/kak-motivirovat-svoih-sotrudnikov-30-sposobov>. – Загл. с экрана.

8. Михальченко В.В. Современный менеджмент: концепция, инструменты, методы: Учеб. Пособие/ В.В.Михальченко; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – 128 с. URL:<https://search.rsl.ru/ru/record/01008846936> (дата обращения: 27.11.19).
9. Фомин А.В. Особенности культуры труда на японских предприятиях// А.В.Фомин, О.А.Лапаева, А.В.Смолин, М.В.Махно/ Уголь, 2018. № 2, - С.61-66.
10. Отчет об устойчивом развитии СУЭК за 2016-2017 годы. [Электронный ресурс]: URL: [http://www.suek.ru/sustainability/reporting/#year\\_17](http://www.suek.ru/sustainability/reporting/#year_17) (дата обращения: 17.12.2019).
11. Артемьев, В.Б., Килин, А.Б., Галкин, В.А. Проблемы формирования инновационной системы управления эффективностью и безопасностью производства в условиях финансового кризиса // Уголь. - 2009. - №6. - С. 24-27.
12. Баскаков, В.П., Галкина, Н.В., Коркина, Т.А., Устинова, С.А. Инновационная модель технологического развития угледобывающего предприятия //Уголь.- 2007. – №9. – С. 21-25; - №10. – С. 13-15.
13. Белкин, В.Н., Белкина Н.А., Антонова О.А. Инновационная активность менеджеров предприятий как условие развития трудового потенциала региона //Экономика региона. - 2018. - Т.14, вып. 4.- С. 1327-1340. doi 10.17059/2018-4-21.
14. Волков, С.А. Мотивационная среда угледобывающего предприятия: содержание, состояние, направления развития /С.А. Волков, А.Н. Машнюк, О.В. Конакова //Уголь. – 2019. – №8. – С. 62-69.
15. Артемьев, В.Б. Формирование действенного кадрового резерва – стратегический ход СУЭК на современном этапе развития компании /В.Б. Артемьев, С.А. Волков, В.А. Галкин, А.М. Макаров // Подземная угледобыча XXI век-1: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал): в 2-х т. – 2018. – № 11 (специальный выпуск 48). – С. 23-29.
16. Артемьев В.Б., Захаров В.Н., Галкин В.А., Федоров А.В., Макаров А.М. Стратегия, тактика
17. и практика инновационного развития открытых горных работ// Уголь. 2017. №12. – С.6-19. dOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-12-6-19>.
18. Галкина Н.В. и др. Потенциал инновационного технологического развития предприятия: понятие, структура, модель/ Н.В. Галкина, А.Б. Килин, А.С. Костарев // Отдельная статья горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – М.: Горная книга. – 2015. – №ОБ2. –С.181-188.
19. Петренко, Е.В. Развитие инновационной деятельности в угольной отрасли России / Е.В. Петренко//Уголь. – 2006. – № 1. – С. 30–33.
20. Пономарев, В.П. и др. Формирование инновационной стратегии развития угольной промышленности Дальнего востока на базе межрегиональных структурообразующих проектов / В.П. Пономарев, Г.А. Кузнецова // Уголь. – 2011. – № 3. – С. 30–32; Уголь. – 2011. – № 4. – С. 51–54.
21. Коркина Т.А. Управление инвестициями в человеческий капитал угледобывающих предприятий: цели и средства// Уголь. 2009. №8. – С.52-55.
22. Галкин В.А. и др. Персонал горнодобывающего предприятия – решающий фактор повышения безопасности и эффективности производства/ В.А.Галкин, А.В.Ошаров, О.В.Воробьева// Управление развитием угледобывающего производственного объединения: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2015. – № 11 (специальный выпуск 62). – С. 225-237.
23. Прокопенко С.А., Лудзиш В.С. Применение инновационных комбайновых резцов в шахтах // Горная промышленность. 2012. №1. – С.56-60.
24. Прокопенко С.А. Универсальный резец многоразового применения на шахтных комбайнах // Уголь. 2012. №1. – С.18-20.
25. Люханов В. В., Алферов С. Б. Импортозамещающая продукция производства ЗАО «Машиностроительный холдинг»// «Горная промышленность». – 2012. - №1 (101). – С. 38-43.
26. Прокопенко, С.А. Экономическая оценка и перспективы российских инноваций [Электронный ресурс] / С. А. Прокопенко // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). 2013. Т. 323, № 6 : Экономика. Философия, социология и культурология. История . — С. 69-73.
27. Южаков В.Ф. Требуется инноваторы// Уголь Кузбасса. 2013. - №6. – С. 42-46.
28. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 г./ Утв. распоряжением Правительства РФ №2227-р от 08.12.2011г.

## ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ В ОБЛАКЕ И ЛОКАЛЬНОЙ СРЕДЕ

*С.В. Разумников, к.т.н, доцент, Д.А. Пранкевич, магистрант*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)77764*

*E-mail: demolove7@inbox.ru*

**Аннотация:** Большинство предприятий пытаются полностью перенести свои приложения и экосистемы в облако, однако, для многих задач более эффективны и экономичны локальные вычисления. В этой статье рассматриваются особенности хранения данных в облаке и локальной среде.

**Annotation:** Most enterprises try to completely transfer their applications and ecosystems to the cloud, however, for many tasks, local computing is more efficient and economical. This article discusses the features of data storage in the cloud and on-premises.

**Ключевые слова:** облачные технологии, управление, хранение данных, локальная среда

**Keywords:** cloud technologies, management, data storage, on-premises environment.

Введение. Большинство предприятий пытаются полностью перенести свои приложения и экосистемы в облако, однако, для многих задач более эффективны и экономичны локальные вычисления. Многие рутинные ИТ-задачи (например, резервное копирование и восстановление) дешевле и безопаснее выполнять в облако и из облака. С помощью шин обмена сообщениями и брокеров интеграции предприятия могут быстро подключаться к сайтам B2B (бизнес для бизнеса), а расширяя корпоративные каталоги в облако, – распространять безопасное управление удостоверениями на облачные ресурсы [1-5]. И, возможно, со временем понадобится распространить концепции облачных вычислений на центр обработки данных. Рассмотрим особенности хранения данных в облаке и локальной среде.

Резервное копирование и восстановление. Одна из важнейших функций ИТ-отдела – обеспечение сохранности корпоративных данных в случае сбоя сервера, отключения электропитания, случайного удаления и т. д. В прошлом резервное копирование обычно выполнялось следующим образом: глубокой ночью содержимое дисков копировалось на автономный носитель (например, магнитную ленту), после чего этот носитель передавался на хранение за пределы рабочей территории. Облако предлагает новый подход к резервному копированию как локальных, так и облачных приложений. Понятно, что предлагая недорогое хранилище огромной емкости (со встроенной безопасностью) и облачные центры обработки данных по всему миру, облако не уступает возможностям традиционных решений для резервного копирования или же превосходит их.

Обдумывая стратегию резервного копирования, необходимо ориентироваться на два показателя, которые помогут при разработке планов:

- целевое время восстановления (RTO) – как быстро нужно восстановить данные;
- целевая точка восстановления (RPO) – насколько актуальными должны быть восстанавливаемые данные. Иными словами, какой должна быть периодичность резервного копирования (ежедневно, ежечасно).

Существует множество облачных решений для резервного копирования и восстановления, которые ориентированы на определенную рабочую нагрузку или сценарий. Например, служба Microsoft Azure Backup, как следует из ее названия, выполняет резервное копирование данных для хранения в облаке. Шесть отдельных копий зашифрованных (с использованием AES-256) данных хранятся в двух центрах обработки данных в разных регионах (если выбран параметр геодублирования, центры обработки данных находятся друг от друга на расстоянии не менее 160 км). Как и все остальное в облаке, служба Azure Backup оплачивается по мере использования.

Кроме того, необходимо указать метод резервного копирования. Как показано на рисунке 1, современные технологии резервного копирования, включая службу Azure Backup, позволяют выбрать следующие методы резервного копирования: полное (копируются все исходные данные), разностное (копируются только те блоки данных, которые изменились с момента первоначального полного резервного копирования) и добавочное (копируется только те блоки данных, которые изменились с момента предыдущего резервного копирования). Наиболее эффективным, безусловно, считается первоначальное полное резервное копирование и периодическое выполнение в дальнейшем добавочных резервных копирований.

Таким образом, предстоит выбрать частоту и тип резервного копирования, которые максимально отвечают потребностям и соответствуют заданным целевым показателям (RPO и RTO).

Служба Azure Backup гарантирует, что данные приложения всегда согласуются, поэтому независимо от заданной RPO данные будут находиться в актуальном состоянии.

Если на вашем предприятии уже установлено средство управления системами корпорации Microsoft (Microsoft System Center), можно использовать его компонент Data Protection Manager для резервного копирования в облако. Data Protection Manager – это полнофункциональное решение для резервного копирования на магнитную ленту или другой носитель, а также в облако (в те же хранилища данных, которые использует служба Azure Backup). Кроме того, для резервного копирования данных в облако можно настроить Microsoft SQL Server, используя Transact-SQL.

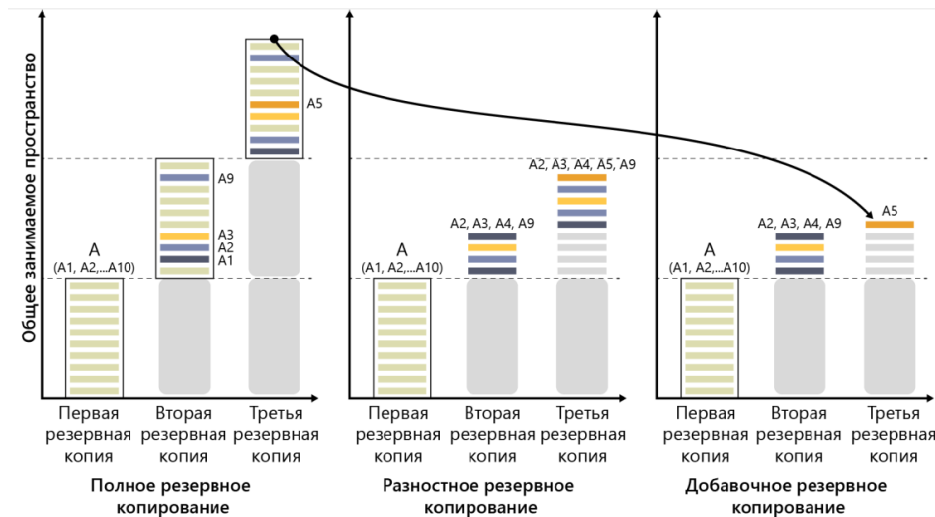


Рис. 1. Режимы резервного копирования

Расширение локального хранилища в облако. ИТ-руководители часто сталкиваются с нормативным требованием хранить огромный объем ретроспективных данных. Эти данные используются очень редко (обычно в ответ на надлежаще заявленное требование), но по закону они должны быть доступны.

В таких случаях можно использовать локальное устройство хранения, связанное с облаком. Когда место для хранения начнет подходить к концу, это устройство может выгрузить редко используемые данные в облако. Необходимые данные будут по-прежнему доступны локально, но зная, где находится весь массив данных, устройство сможет быстро восстановить информацию для ответа на запрос органа власти или в случае иной необходимости. Именно такое устройство предлагает Microsoft – StorSimple.

Непрерывность бизнеса и аварийное восстановление. ИТ-руководители прилагают большие усилия, чтобы избежать аварийных ситуаций, но они случаются, и к ним нужно готовиться.

Лучшее решение для непрерывности бизнеса и аварийного восстановления (BC/DR) обеспечивает плавный переход при сбое с аварийного узла на реплику, где работает то же программное обеспечение и используются актуальные данные. Теперь, по аналогии с простым резервным копированием, показатели RPO и RTO применяются также к BC/DR, и ИТ-руководители должны определить целевые значения для этих показателей в рамках общей стратегии BC/DR. Вы также можете периодически (ежемесячно или ежеквартально) тестировать свое решение для BC/DR, которое должно обрабатывать отказ, не прерывая текущую деятельность. Наконец, после восстановления аварийного узла необходимо проконтролировать очередность, в которой приложения снова появляются в сети, поскольку зачастую они взаимозависимы.

Заключение. Большинство предприятий пытаются полностью перенести свои приложения и экосистемы в облако, однако, для многих задач более эффективны и экономичны локальные вычисления. В этой статье были рассмотрены особенности хранения данных в облаке и локальной среде. Многие рутинные ИТ-задачи дешевле и безопаснее выполнять в облаке и из облака. Существует множество облачных решений для резервного копирования и восстановления, которые ориентированы на определенную рабочую нагрузку или сценарий.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-07-00031 «Модели, алгоритмы и программное обеспечение системы поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии».

Список используемых источников:

1. Razumnikov S.V., Kremneva M.S. Decision support system of transition IT-applications in the cloud environment // International Siberian conference on control and communications SIBCON 2015 – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ieee.tpu.ru/musor/sbornik/files/sections.html>.
2. Razumnikov S.V., Kurmanbay A.K. Models of evaluating efficiency and risks on integration of cloud-base IT-services of the machine-building enterprise: a system approach // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016 - Vol. 124 - №. 1, Article number 012089. - p. 1-5.
3. Разумников С.В. Интегральная модель оценки результативности внедрения облачных ИТ-сервисов // Научные труды Вольного экономического общества России. - 2016 - Т. 201. № 4. - С. 492-504.
4. Razumnikov S., Prankevich D. Integrated model to assess cloud deployment effectiveness when developing an it-strategy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 127 : Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering.
5. Разумников С.В. Некомпенсаторное агрегирование и рейтингование провайдеров облачных услуг // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. Т. 21. № 4. С. 63-69.

### РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАЛОГО ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Т.Ю. Чернышева, к.т.н., доц., А.Д. Веретенников, студ.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
tatch@list.ru*

**Аннотация:** В статье приведено сравнение информационных систем, используемых малыми предприятиями РФ для учета хозяйственной деятельности. Предложена модель процессов учета и анализа деятельности малого деревоперерабатывающего предприятия.

**Abstract:** The article provides a comparison of information systems used by small enterprises of the Russian Federation to account for economic activity. A model of the processes of accounting and analysis of the activity of a small wood processing enterprise is proposed.

**Ключевые слова:** разработка информационной системы, сравнение функций ИС, модель процессов, деревоперерабатывающее предприятие.

**Keywords:** information system development, comparison of IS functions, process model, wood processing enterprise.

В современной России политика государства направлена на развитие и поддержку малого бизнеса. По данным Росстата, доля малых предприятий в деревообрабатывающей промышленности растёт с 2013 года, а так как с января 2020 года все предприятия обязали перейти на электронную систему, им необходима система для учёта хозяйственной деятельности. Специализированные продукты для деревоперерабатывающей отрасли существуют только для крупных организаций (в основном, это системы класса ERP и MRPII), а продукты для малых предприятий слишком общие, поэтому многие отказываются от их применения; специализированные продукты для малых предприятий отсутствуют, так как их срок окупаемости слишком велик [1,2].

Так как большая часть домов и прочих сооружений в сельской местности всё ещё деревянные, малые предприятия, обеспечивающие местный рынок пиломатериалов необходимым товаром, будут существовать ещё достаточно долго. Но имеющиеся на данный момент системы не приспособлены для малых предприятий по производству пиломатериалов. Следовательно, необходимо разработать такую специализированную систему, чтобы она отвечала всем минимально необходимым требованиям малых предприятий. Потребителями программного продукта являются малые предприятия по производству пиломатериалов. При дальнейшем развитии ИС:– любые малые предприятия с точным производством по факту добычи сырья, а не под заказ.

Целью данного проекта является разработка системы для автоматизации учёта и анализа деятельности малого предприятия по производству пиломатериалов.

Создание системы необходимо для выполнения следующих функций:

- учёт заготовок древесины (круглого леса);
- учёт производства пиломатериалов;
- учёт продаж пиломатериалов;

- анализ хозяйственной деятельности предприятия.  
На рисунках 1 и 2 приведены модели предлагаемой информационной системы.

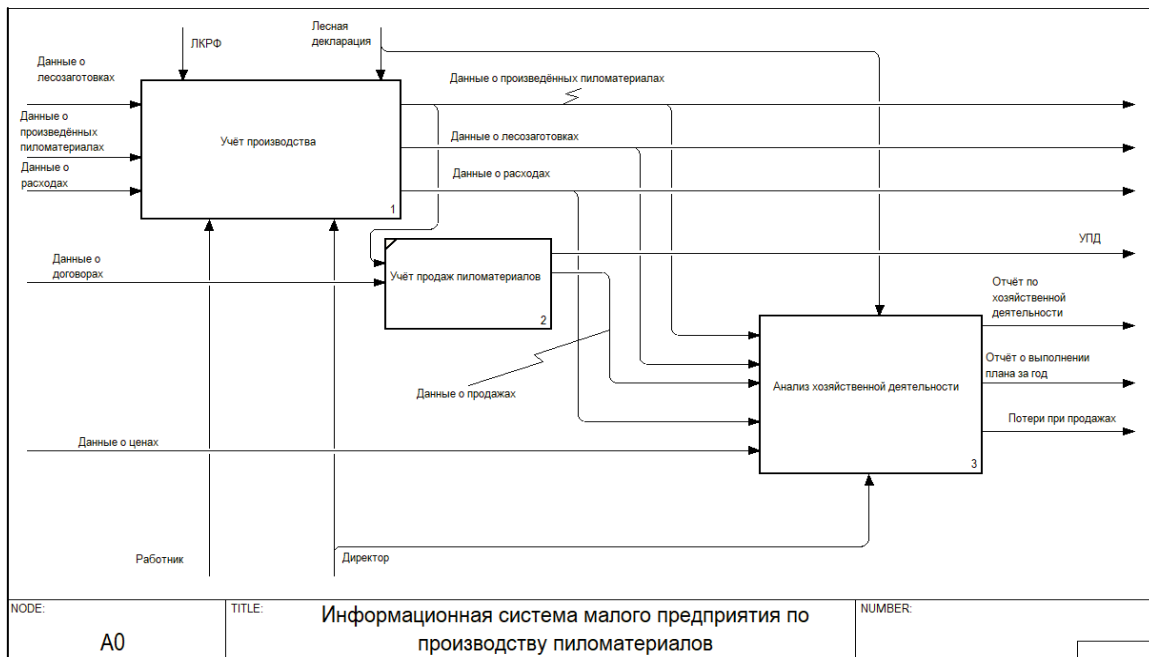


Рис. 1. Модель процессов предприятия

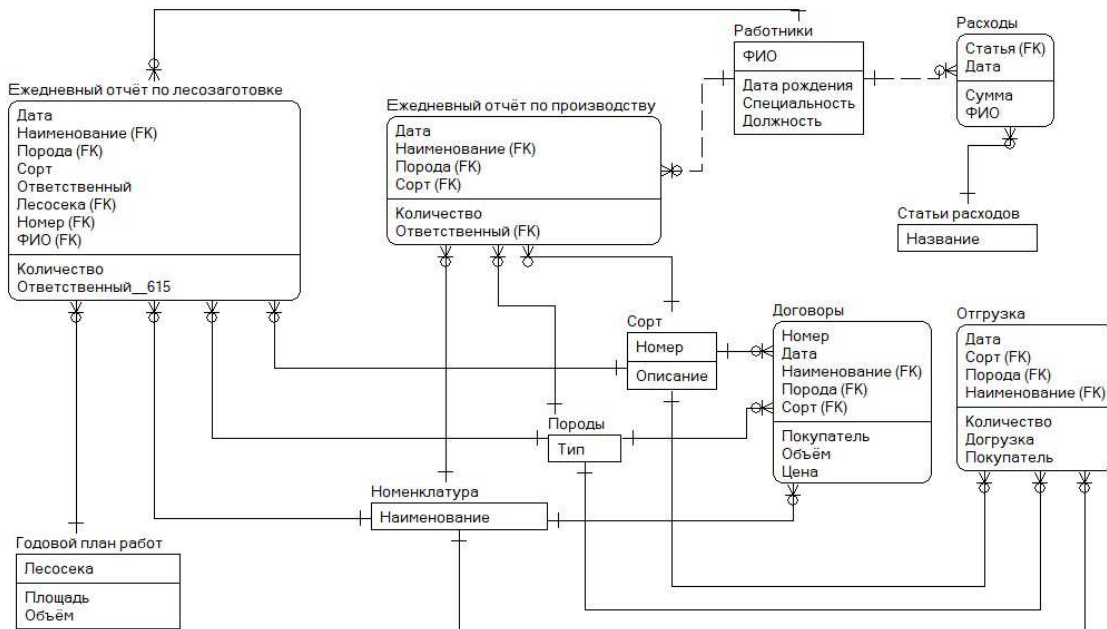


Рис. 2. Модель данных сущность-связь

Для этой цели существует широкий выбор информационных систем, но большинство из них предназначены для сферы торговли. В России для предприятий по заготовке и переработке древесины разработаны две специализированные системы: «Галактика ERP» и «1С: Управление деревообрабатывающим предприятием. Модуль для 1С: ERP и 1С: КА2». Но обе системы не подходят для малых предприятий ввиду слишком большой стоимости использования относительно получаемой вы-

годы. Кроме этого, обе системы являются слишком громоздкими для малых предприятий, так как в них регистрируется каждое действие, что вполне оправдано для крупных комбинатов – но использование такой системы на малом предприятии не даёт ощутимого выигрыша [3, 4, 5].

В таблице приведено сравнение некоторых программных продуктов [6, 7, 8].

Таблица 1

Сравнение информационных систем			
Критерий	1С: Управление нашей фирмой	Собственная разработка ИС	Неосистемы: Лесозавод Стандарт
Цена лицензии на 1 ПК, руб.	4 600 или 17 400 с настройкой		15 000 + + 6 300 за платформу 1С
Дистрибьютор/ разработчик	1С	Free lance	Неосистемы Леспром
Автономность	да	да	да
Требования к оборудованию	Процессор от 1800 МГц, 1 Гб оперативной памяти, 5 Гб свободного места на диске	По требованию заказчика	Процессор от 1800 МГц, 1 Гб оперативной памяти, 5,5 Гб свободного места на диске
Операционная система	Windows, Linux	По требованию заказчика	Windows
Время настройки системы и ввода в действие, дней	2-5	21	2-5
Время обучения, дней	7-10	2-3	21
Учёт лесозаготовок	Нет	По желанию заказчика	Нет (только закупка)
Приёмка пиловочника	Как приёмка товара	По стандартам	По стандартам
Управление складами	Полное, множество складов	Частичное, один склад	Полное, множество складов
Процесс производства	Требует доработки	По условиям производства заказчика	Полный цикл со всеми возможными этапами
Учёт продаж	Присутствует	Присутствует	Присутствует
Учёт отгрузки товара	По факту продажи	По факту отгрузки	По факту отгрузки
Отчётность	Все возможные отчёты	Только необходимые отчёты	Все отчёты, возможные для отрасли

Таким образом, для малых предприятий по заготовлению и производству пиломатериалов требуется собственное частное решение, отвечающее собственным запросам.

Список используемых источников:

1. Шполянская И.Ю. Информационные системы для малого бизнеса: проблема качества // Вестник Ростовского государственного экономического университета «РИНХ». – 2006. – №2. – С. 132-142.
2. 1С: Управление деревообрабатывающим предприятием. Модуль для 1С: ERP и 1С: КА2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный. URL <https://solutions.1c.ru/catalog/woodwork-erp/features>.
3. «Галактика ERP» [Электронный ресурс]. – Режим доступа свободный. URL <https://galaktika.ru/erp/erp-upr>
4. 1С: Управление нашей фирмой [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL <https://v8.1c.ru/small.biz>
5. Программный продукт Неосистемы: Лесозавод Стандарт 8.2 [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL <https://lesprom.neosystems.ru/download/files/LZ%20Standart.pdf>
6. Неосистемы Северо-запад [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL <https://neosystems.ru/>
7. Интернет-маркетинг и продажи в сфере IT-разработок [Электронный ресурс] / Т. Ю. Чернышова, Д. Е. Соколовский // Современные технологии поддержки принятия решений в экономике : сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 24-25 ноября 2016 г., г. Юрга / Национальный исследовательский Томский политех-

нический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ) ; под ред. А. А. Захаровой. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 167-169]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/34962>

8. Computer Simulation of Replaceable Many Sider Plates (RMSP) with Enhanced Chip-Breaking Characteristics [Electronic resource] / М. А. Korchuganova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 142 : Innovative Technologies in Engineering. — [012064, 7 p.]. — Title screen. — <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/142/1/012064> <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/34747>

### ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

*Д.О. Долматов<sup>а</sup>, асп., Д.А. Седнев, к.т.н. зав. лаб. МНОЛ НК ИШНКБ*

*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*<sup>а</sup>E-mail: dolmatovdo@tpu.ru*

**Аннотация:** Стальные отливки широко применяются в производстве ответственных изделий в различных областях промышленности. В этой связи большой интерес представляет развитие методов и средств неразрушающего контроля литых изделий. В данной работе рассматривается применение алгоритмов пространственно-временной обработки в роботизированных системах ультразвукового контроля. Подобный подход позволяет получить высокую производительность контроля и повысить разрешающую способность и отношение сигнал/шум результатов.

**Abstract:** Steel castings are widely used in the manufacture of critical products in various industries. In this regard, the development of techniques and equipment of non-destructive testing of castings is of great interest. In this paper the application of post-processing algorithms in robotic ultrasonic testing systems is considered. This approach allows to obtain high performance of the testing and increase the resolution and signal-to-noise ratio of the results.

**Ключевые слова:** роботизированные системы ультразвукового контроля, алгоритмы пространственно-временной обработки, стальные отливки.

**Keywords:** robotic ultrasonic testing systems, post-processing algorithms, steel castings

Стальные отливки широко применяются в производстве изделий ответственного назначения в нефтяной, газовой и атомной промышленности. Неразрушающий контроль стальных отливок на этапе производства является одним из подходов обеспечения надежности их функционирования. Среди всех существующих методов дефектоскопии широкое распространение получила ультразвуковая дефектоскопия [1]. Данный метод контроля позволяет выявить внутренние дефекты в объектах, обладает высокой чувствительностью, может быть реализован при одностороннем доступе к объекту контроля.

Повышение производительности контроля является актуальным вопросом развития ультразвуковой дефектоскопии. В этой связи большой интерес представляют системы ультразвукового контроля на основе роботизированных манипуляторов с шестью степенями свободы [2,3]. В контексте использования подобных систем большой интерес представляет использование алгоритмов пространственно-временной обработки, основанных на методе синтезированной апертуры. Подобные алгоритмы способны обеспечить получение результатов контроля в форме изображений структуры объектов контроля, обладающие высокой разрешающей способностью отношением сигнал/шум [4,5].

В контексте использования систем ультразвукового контроля на базе роботизированных манипуляторов в алгоритме пространственно-временной обработки должны быть учтены следующие особенности:

1. Наличие на пути распространения ультразвуковых волн сред с различными акустическими свойствами, обусловленное применением в автоматизированных системах контроля иммерсионного акустического контакта.
2. Восстановление изображений должно осуществляться с учетом формы поверхности объекта контроля.
3. Использование роботизированных манипуляторов подразумевает то, что в процессе контроля ультразвуковой преобразователь совершает не только поступательное, но и вращательное движение.

В программном пакете Matlab R2016a был реализован алгоритм пространственно-временной обработки, учитывающий все особенности, связанные с использованием роботизированных манипуляторов рассмотренные выше. Алгоритм обеспечивает восстановление трехмерных изображений и базируется на расчетах во временной области.



Экспериментальная проверка разработанного алгоритма осуществлялась на лабораторной установке (рисунок 1). Проверка работы алгоритма осуществлялась с использованием ультразвукового преобразователя с рабочей частотой 2.25 МГц и диаметром пьезопластины 6 мм.



Рис. 1. Лабораторная установка 1 – роботизированный манипулятор, 2 – иммерсионная ванна, 3 – стойка управления)

В качестве тестового образца использовался стальной блок, содержащий плоскостные отверстия диаметром 4 мм. Расположение искусственных дефектов представлено на рисунке 2. Для корректного позиционирования преобразователя в процессе сканирования объекта контроля экспериментальная процедура включает в себя процесс калибровки. Она заключается в определении координат конкретных точек объекта контроля. Затем полученные координаты сопоставляются с STL-моделью объекта, и представляется возможным построить траекторию сканирования. В рамках экспериментальной верификации сканирование объекта контроля осуществлялось с шагом 1 мм.

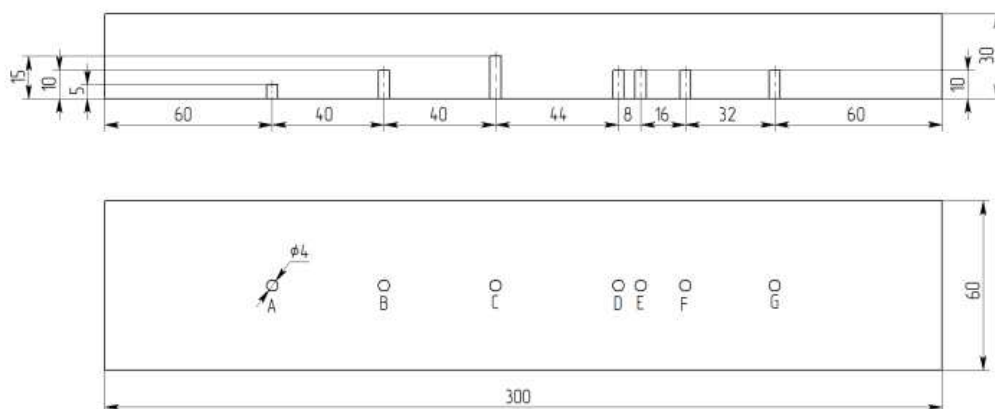


Рис. 2. Расположение дефектов в объекте контроля

Входными данными для алгоритма является набор эхо-сигналов и координаты инструмента (tool coordinates) в каждой точке траектории сканирования. Результатом пространственно-временной обработки является трехмерное изображение структуры объекта контроля (рисунок 3). В рамках проведенной экспериментальной верификации наиболее информативным является С-скан полученного результата (рисунок 4).



Рис. 3. Результат пространственно-временной обработки

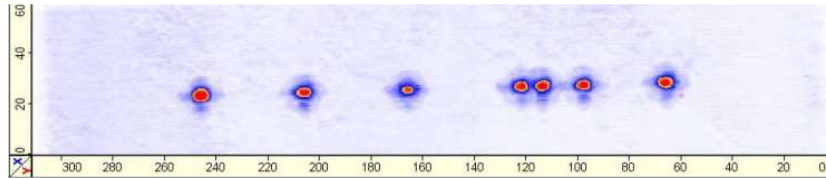


Рис. 4. С-скан результата

Полученный результат может быть оценен путем сравнения с результатом, когда пространственно-временная обработка не применялась (рисунок 5). На Рисунке 6 показаны профили двух результатов на ось Y.

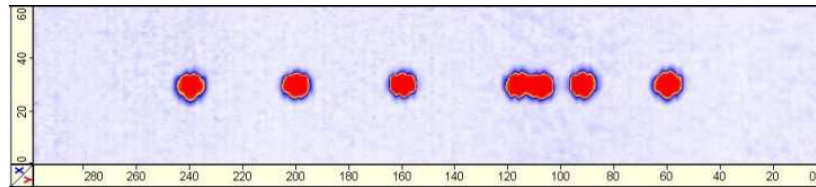


Рис. 4. С-скан результата без применения пространственно-временной обработки

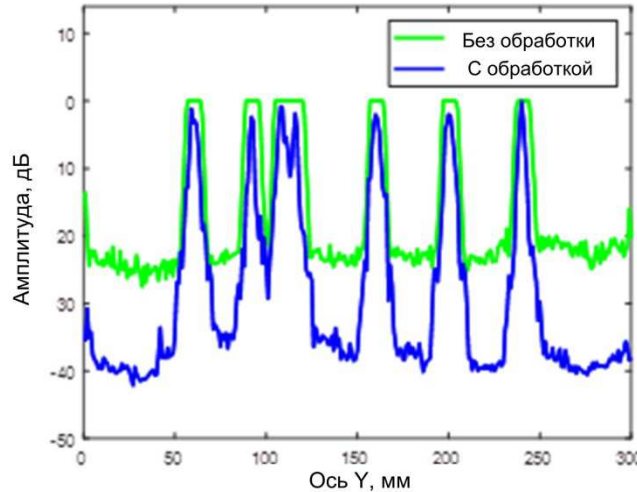


Рис. 5. Профили результатов при использовании пространственно-временной обработки и без ее применения

Таким образом, применение алгоритма пространственно-временной обработки позволило повысить фронтальную разрешающую способность результатов. Так, без использования пространственно-временной обработки не удалось разрешить дефекты D и E, в то время как применение алгоритма позволило решить данную задачу. Кроме-того, применение алгоритма обеспечило повышение отношения сигнал/шум по сравнению с результатом без пространственно-временной обработки. Полученные результаты демонстрируют перспективность внедрения рассмотренного подхода в роботизированные системы ультразвукового неразрушающего контроля.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Госзадания «Наука», проект № FSWW-2020-0014, а также Программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета.*

Список используемых источников:

1. Ультразвуковой и рентгеновский контроль отливок / Гусев, Е. А., Карпельсон, А. Е., Потапов, В. П., Соснин, Ф. Р. // М.: Машиностроение. – 1990.
2. Cuevas E., Hernandez S., Cabellos E. Robot-based solutions for NDT inspections: integration of laser ultrasonics and air coupled ultrasounds for aeronautical components // 25th ASNT Research Symposium. – 2016. – p. 39-46.
3. Mineo C. Fast ultrasonic phased array inspection of complex geometries delivered through robotic manipulators and high speed data acquisition instrumentation / Mineo C. et al. // 2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS). – IEEE, 2016. – С. 1-4.
4. Doctor S. R. SAFT—the evolution of a signal processing technology for ultrasonic testing / Doctor S.R., Hall T.E., Reid L. D. // NDT international. – 1986. – Т. 19. – №. 3. – С. 163-167.
5. Stepinski T. SAFT performance in ultrasonic inspection of coarse grained metals / Stepinski T. // Proc. of the 6th Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear Pressurised Components, Budapest. – 2007. – С. 8-10.

## ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

*К.В. Епифанцев, к.т.н, доцент,*

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67  
E-mail: epifancew@gmail.com*

**Аннотация:** Параметры предприятия в настоящее время контролируются с помощью электронных датчиков, установленных на опасные производственные объекты – сосуды под давлением. Одним из важных параметров, позволяющих «сводить» на один экран показания нескольких измерительных каналов, является наличие SCADA системы. В лаборатории университета ГУАП активно используется моделирование технологических процессов в программном комплексе Lab View, позволяющем оперативно разрабатывать модели различных опасных производственных объектов. В основе данной статьи был разработан датчик анализа протечек резервуара с нефтью.

**Abstract:** Monitoring is currently carried out using electronic sensors installed in mobile laboratories. One of the important parameters that allows you to "reduce" the readings of several measuring channels to a single screen is the presence of a SCADA system. The laboratory of the University of GUAP actively uses modeling of technological processes in the software complex Lab View, which allows you to quickly develop models of various hazardous production objects. This article is based on the development of an oil tank leak analysis sensor.

**Ключевые слова:** SCADA, информатизация измерений, обратная связь, диагностика оборудования

**Key words:** SCADA, Informatization of measurements, feedback, equipment diagnostics

В настоящее время большое внимание в науке и технике уделяется дистанционному управлению опасными производственными процессами. Одним из инструментов мониторинга является система SCADA, которая позволяет оценивать показания измерительных преобразователей и оперативно сообщать об их критических изменениях оператору. Конечно, эта система имеет определенные недостатки наряду с ее эффективностью и высокой функциональностью - прежде всего, отсутствие базовых методов проверки системы в целом, оценки погрешности и оценки результатов по заданным значениям. Если мыслить с точки зрения цифровизации, то SCADA-это интеллектуальный дубль, искусственный интеллект, который позволяет нам реализовать основные принципы 4-й промышленной революции. Преимущества и недостатки таких систем будут рассмотрены в настоящем исследовании.

В статье рассматривается вопрос создания системы мониторинга на примере дистанционно работающей насосной станции [1,3]. Также большое внимание уделено непосредственно понятию метрологического отказа, описанию данной методики в измерительном оборудовании для уменьшения неточности и неблагоприятных последствий по срабатыванию датчиков в экстренном режиме работы. Смоделированная система в Lab View позволяет спрогнозировать ошибку и уменьшить отказ на этапе тестирований

Особенность данной системы в том (Рисунок 1), что она способна интегрироваться в различные PLM системы, такие как 1C или SAP. С последней многие компании тесно связали свою деятельность, так как SAP дает возможность оперативно взаимодействовать прежде всего компаниям, имеющим несколько филиалов расположенных в значительном удалении от центрального офиса.



Рис. 1. Пример системы SCADA уровня 1

В связи с тенденцией к интеграции систем управления технологическими процессами и систем управления предприятием все чаще возникает необходимость использования SCADA в качестве источника данных для систем более высокого уровня (рис.1). Некоторые SCADA могут выступать как в качестве сервера для консолидации всех технологических данных, так и в качестве сервера для формирования отчетов на основе этих данных.

В настоящее время информатизация измерений очень актуальна, так как приборов сложной конструкции, требующих сложных расчетов, становится все больше. Информатизация измерений позволяет резко снизить потенциальный риск возникновения аварии на предприятии. В статье был создан прототип сосуда пода давлением, а точнее – нефтеперекачивающей системы из резервуара на предприятие.

В нашем случае в процессе оперативной доставки данных по системам оценки заполнения трубопровода возможен метрологический отказ. Данный вид отказа безусловно – риск, который необходимо идентифицировать его на ранней стадии. Описанный вид отказа – безусловно, не несет прямой угрозы и может иметь последствие для границ оценки аварийной ситуации. Граничные значения интервалов измерений – риск, и поле допуска в нем находится. Данное значение всегда представляется потенциально опасным с точки зрения неожиданной поверки и калибровки оборудования или реакции датчиков на отклонение от режима работы. Метрологический отказ – сравнительно новое, перспективное направление работы с высокоточным оборудованием, которое в европейской методике получило аббревиатуру R&R – индекса сходимости и воспроизводимости результатов измерений (Атрибутивный анализ), который помимо погрешности приборов ведет оценку погрешности операторов, их отказов ввиду усталости, несогласованности, погрешностей эффекта Параллакса. Безусловно – подобный вид анализа имеет программный продукт [http://www.minitab.com/en-us/default.aspx?WT.mc\\_id=WA15L0006](http://www.minitab.com/en-us/default.aspx?WT.mc_id=WA15L0006). В данном указанном продукте возможно развить дерево отказов в процессе измерений. Поверка и калибровка оборудования в европейской интерпретации трактуется как верификация и конечно же с нашими понятиями в некоторых смыслах конфликтуют

Сосуды высокого давления - это вид оборудования, подлежащий проверке Ростехнадзором. контроль за сосудами высокого давления осуществляется с помощью системы датчиков, расположенных на некотором расстоянии от пульта управления. Основными причинами аварий сосудов высокого давления являются:

- Значительное превышение давления из-за неисправности предохранительного клапана, технологического сбоя, воспламенения паров масла в воздушных коллекторах, отсутствия или неисправности редукторов.
- Отказ или отсутствие предохранительных устройств с быстроразъемными крышками.
- Дефекты при изготовлении сосудов, при ремонте (сварные швы).
- Переполнение сосудов сжиженными газами.
- Нарушение правил безопасности.

Таким образом, необходимо следить за состоянием сосудов. В случае появления трещин, вздутия стенок, прохождения газа или жидкости или потливости в сварных швах, отказа или неполноты крепежных элементов, крышек и люков, отказа или отсутствия предохранительных клапанов, термометров, сигнальных устройств и т.д. эксплуатация судов не допускается во избежание разрушения корпуса, вырывания крышек и люков судна и подобных аварий [2].

Исходя из ГОСТ 22520-85, выходной сигнал датчика должен быть преобразован в единицу измерения давления с помощью вторичного прибора, но при проверке этого прибора выходной сигнал должен быть рассчитан по формулам. Также может быть несколько сенсорных данных, что увеличивает время проверки. Для упрощения верификации и сокращения времени, затрачиваемого на расчеты, в программе "LabVIEW" была разработана автоматизированная система [4,6].

В программной среде LabVIEW удалось реализовать механизм вычисления ошибки датчика давления (манометра) в виртуальной форме (рис.3).

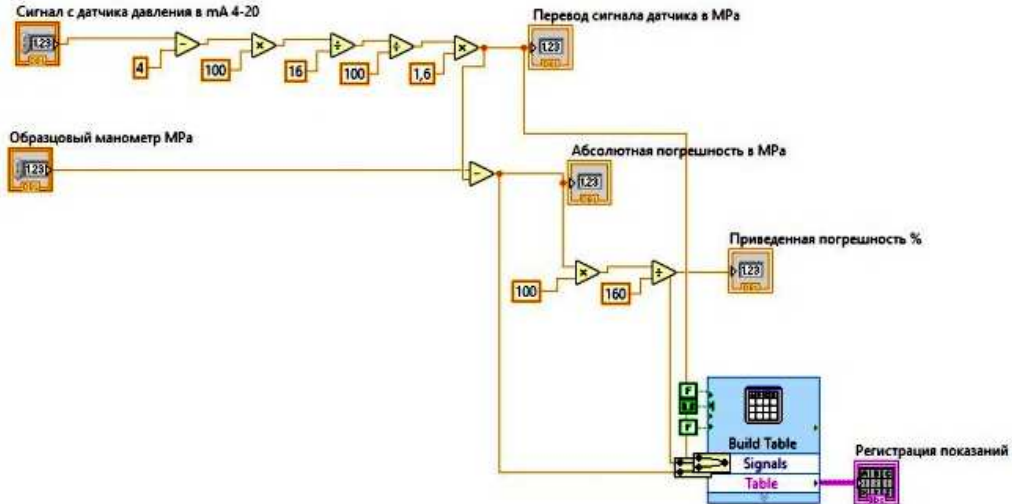


Рис. 2. структурная схема расчета погрешности манометров в виртуальном виде

После моделирования блок-схемы начинаем загрузку программы для регистрации ошибки. На рисунке 3 это скриншот.

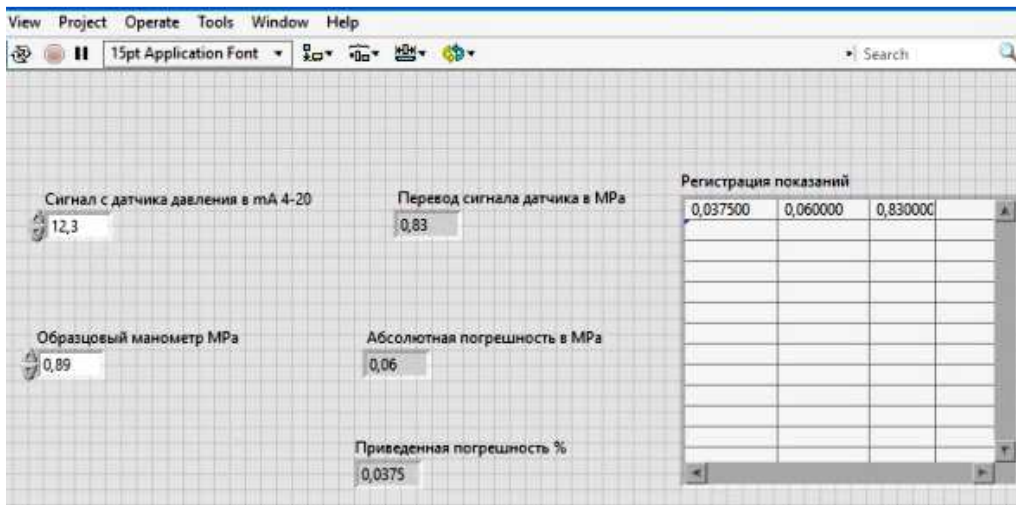


Рис. 3. структурная схема расчета погрешности манометров в удобном для оператора виде

На приведенной на рисунке 3 схеме, разработанной в LabView, удалось реализовать механизм виртуальной самокалибровки, самоконтроля, что является важным элементом защиты от ошибок или в восточной интерпретации – Poka-Yoka.

После создания табличного интерфейса для регистрации данных об ошибках при проверке манометра мы приступим к моделированию системы визуального контроля уровня топлива в баке и его температуры [5]. Этот визуальный контроль очень важен, так как он может быстро показать оператору критический уровень и дать сигнал об ошибке (рис. 4).

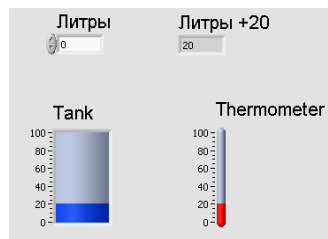


Рис. 4. скриншот SCADA для измерения уровня нефти в трубопроводе на экране оператора.  
Нормальное значение

Для визуализации аварийной ситуации мы также добавим мигающий элемент "опасность", который поможет оператору принять решение об аварийной остановке насоса и вызове ремонтной бригады (рис.5).

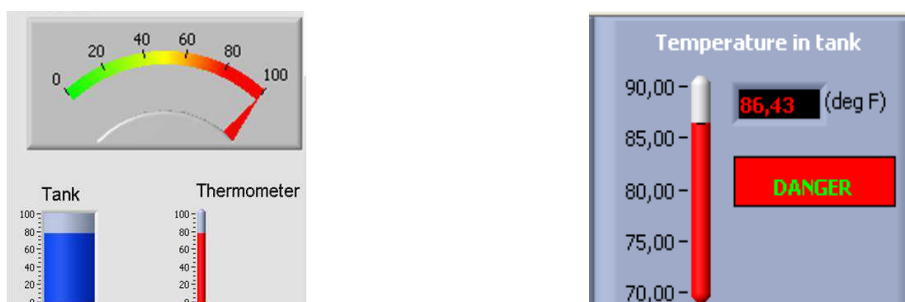


Рис. 5. скриншот SCADA для измерения уровня нефти в трубопроводе на экране оператора.  
Опасное значение

На этой диаграмме показано преобразование аналогового сигнала тока в физическую величину и сравнение полученной физической величины с показаниями образцового измерительного прибора для вычисления приведенной погрешности. Полученные данные автоматически заносятся в таблицу для оценки пригодности Си к использованию верификатором и дальнейшей передачи данных в протокол верификации. Преобразование аналогового сигнала в физическую величину осуществляют в соответствии с ГОСТ 22520-85, используя формулу:

$$\left( \frac{\Delta_p}{P_{\max}} + \frac{\Delta_I}{I_{\max} - I_0} \right) \cdot 100 \leq \alpha_p \cdot \gamma$$

Такая автоматическая система способна предупредить о возможной аварии на предприятии [7,8,9].

Использование SCADA-систем в энергетике позволит сократить время, трудозатраты и затраты на внедрение системы управления. Также повысит ее надежность и упростит обслуживание благодаря удобным методам разработки. К преимуществам также можно отнести наличие необходимого для запуска распределенной системы простого и понятного русскоязычного интерфейса. При обучении персонала возможно использовать данную разработку как набор учебных проектов и учебных курсов [10]. Однако в настоящее время потенциал системы мониторинга наращивается, она способна самостоятельно принимать решения в небезопасных условиях труда, а также самостоятельно регистрировать нарушения. Необходимо установить режим самонастройки и самокалибровки, так как не откалиброванная система может инициировать аварию, опасную для персонала.

Список используемых источников:

1. Туан Л.В. 2016 использование среды LABVIEW для изучения SAR, Proc. из VI Всероссийской конф. "Научная инициатива. иностранных студ. и стенографией. на русском языке универ.", стр. 265-267.
2. Елифанцев К.В. Модернизация приборов для технического диагностирования машин АДВ в гражданских двигателях. & Технология. Апрель, том 1, Выпуск 2, стр. 01.
3. Федосов В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW, DMK Press, 2013. С 205.

4. С. Ю. Лупов, С. И. Муякшин, В. В. Шарков, LabVIEW в примерах и задачах, Нижний Новгород, 2007. – 200 с.
5. Master SCADA [Электронный ресурс] / проектирование и разработка. "Рустем Энверович Муждабаев" - режим доступа: <http://kipasu.net/know/program/47-masterscada.html> (дата обращения 19.09.2014).
6. Технологии интеллектуальных систем автоматизации [Электронный ресурс] / проектирование и разработка. "INSAT" - Режим доступа: <http://www.insat.ru/products/?category=214> (дата обращения 19.09.2014).
7. Управление технологическими системами [Электронный ресурс] / проектирование и разработка. "Кирюшин О. В." - режим доступа: <http://web.archive.org/web/20020408120945/http://kiryushin.boom.ru/uts/start.htm> (дата обращения 19.09.2014).
8. Krzysztof J. Cios, Система интеллектуального анализа данных: подход, обнаружение знаний, Спрингер, 2007, ISBN в 978-0-387-33333-5 – страница 123 «4.2 OLAP сервер архитектур»
9. П. Найджел. Происхождение современных продуктов OLAP (англ.). Доклад ОЛАП (20 июля 2002 года). - "Первый хорошо продаваемый продукт OLAP, который к 1997 году стал ведущим на рынке OLAP-сервером.»
10. Коуд, Эдгар Ф. предоставление OLAP пользователям-аналитикам: ИТ-мандат // Computerworld. - Да. 27, № 30. - ISSN 0010-4841.

## **СЕКЦИЯ 4: ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

### **ПРИРОДНЫЙ МИНЕРАЛ ШУНГИТ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ**

*А.Л. Новикова<sup>а</sup>, аспирантка группы А7-52,*

*Научный руководитель: Назаренко О.Б., профессор, д.т.н.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*<sup>а</sup>E-mail: furia.08@mail.ru*

**Аннотация:** В данной статье исследуется природный минерал шунгит Зажогинского месторождения (Карелия). Данный минерал имеет характерную для шунгита морфологию, однороден. На поверхности присутствуют характерные для шунгита ступенчатые сколы. В минерале присутствуют включения разного элементного состава: углерод, кислород, кремний, ванадий, алюминий, сера, цинк, калий. Наличие данных элементов также характерно для природного шунгита.

**Abstract:** This article explores the natural mineral shungite of the Zazhoginsky deposit (Karelia). This mineral has a morphology characteristic of shungite, homogeneous. On the surface, there are stepped chips characteristic of shungite. The mineral contains inclusions of different elemental composition: carbon, oxygen, silicon, vanadium, aluminum, sulfur, zinc, potassium. The presence of these elements is also characteristic of natural shungite.

**Ключевые слова:** шунгит, углерод в аморфной форме, сточные воды, минералы, очистка сточных вод, каталитическая очистка сточных вод.

**Keywords:** shungite, carbon in amorphous form, wastewater, minerals, wastewater treatment, catalytic wastewater treatment.

Одной из важных проблем в области экологии является загрязнение поверхностных и подземных вод, в том числе и сточными водами. Сточные воды могут включать в себя: нефтепродукты, тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды, микропластик, биогенные элементы, поверхностно-активные вещества, органические вещества и микробные массы [1]. В зависимости от вида или видов загрязнений используют различные методы для очистки сточных вод. При выборе метода стараются разработать и предложить недорогой, эффективный, экологически безопасный и простой в использовании метод [2].

В данной работе используется природный минерал шунгит Зажогинского месторождения (Карелия), который относится к шунгитам I группы (концентрация аморфного углерода более 98%). Шунгиты обладают высокими каталитическими и восстановительными свойствами, часто используются для очистки сточных вод как адсорбенты [3]. На данном этапе исследовались морфология поверхности и элементный состав.

Исследования проводили, используя сканирующий электронный микроскоп с низким вакуумом и вольфрамовым источником электронов Quanta 200 SEM. Его четыре квадрантных дисплея одновременно предоставляют информацию о поверхности и фазовом распределении посредством изображений вторичных электронов (SE) и обратно рассеянных электронов (BSE) в реальном времени. Так же электронный микроскоп Quanta SEM был оснащен системой EDS для проведения элементного анализа. Низковакуумные детекторы не чувствительны к свету, генерируемому во время нагревания образца, поэтому эксперименты с динамическим нагревом на месте визуализировались, а измеряемые параметры записывались в режиме реального времени при нагревании до 1500 °С.

Шунгит измельчали, взвешивали и переносили на углеродный скотч, затем помещали в аналитическую станцию, изучали участки поверхности шунгита, используя сканирующий электронный микроскоп. Затем для наблюдения на поверхности минеральных включений подключали систему EDS, выбирали несколько участков и исследовали элементный состав включений. Всего было отснято 5 точек. Полученные данные представлены на рисунках 1–6.



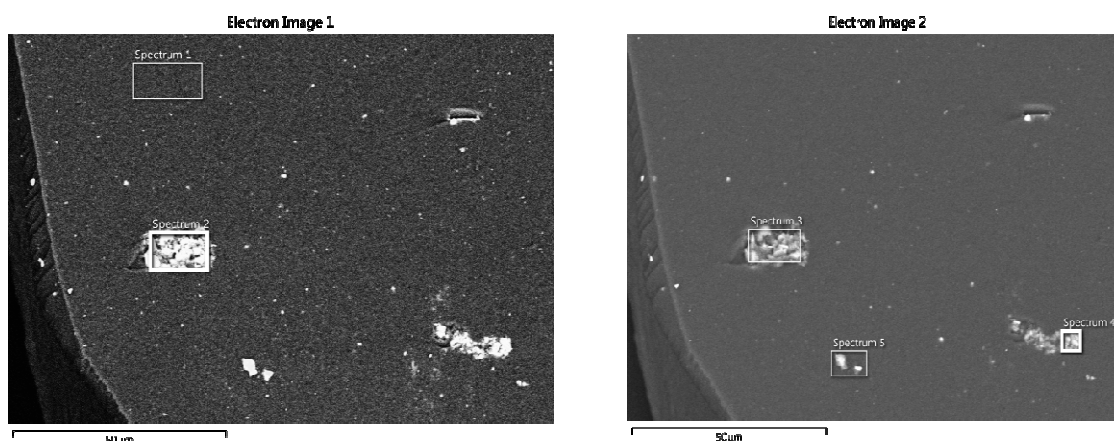


Рис. 1. SEM Шунгита с отмеченными зонами минеральных включений

При изучении поверхности природного минерала методом сканирующей микроскопии (SEM) было выявлено, что минерал имеет характерную для шунгита морфологию, однороден. На поверхности присутствуют характерные для шунгита ступенчатые сколы. В минерале присутствуют включения разного вида и разного элементного состава.

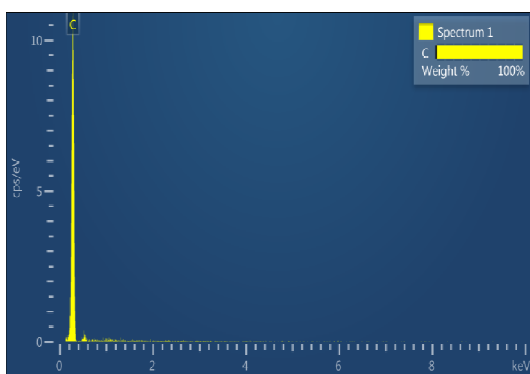


Рис.2. Спектр площади участка 1

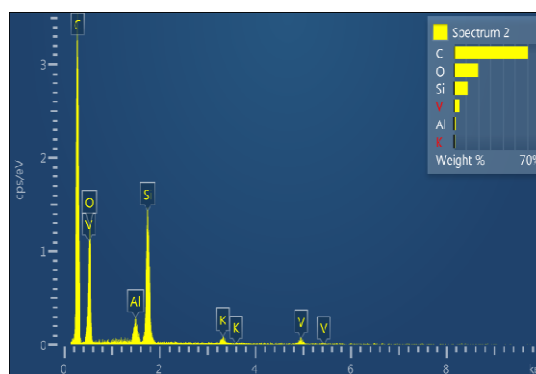


Рис.3. Спектр площади участка 2

Исследования спектра площади участка 1 показали, что абсолютно темные участки шунгита состоят из углерода. Спектр площади участка 2 имеет в составе углерод, кислород, кремний, алюминий калий и ванадий – элементы, свойственные для шунгитовых пород.

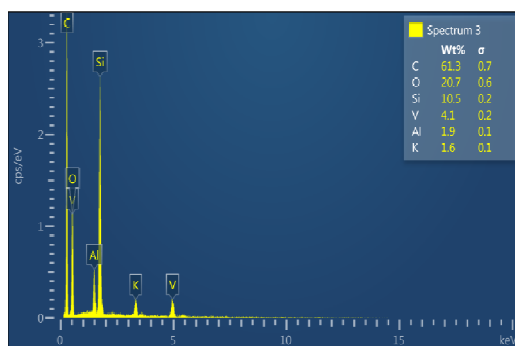


Рис. 4. Спектр площади участка 3

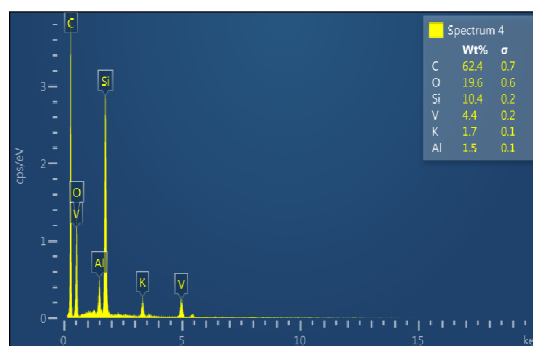


Рис. 5. Спектр площади участка 4

Исследования спектров площади участков 3 и 4 показали, что они также в составе имеют углерод, кислород, кремний, алюминий, калий и ванадий, как и во 2 спектре площади, отличаются они лишь процентным соотношением элементов.

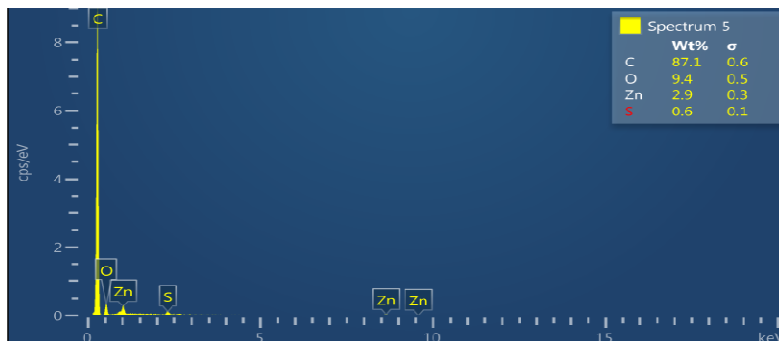


Рис. 6. Спектр площади участка 5

Исследования спектра площади участка 5 показали, что в составе имеются углерод, кислород, сера и цинк.

Получив данные, представленные выше, мы сделали выводы, что минерал имеет характерную для шунгита морфологию, однороден. На поверхности присутствуют характерные для шунгита ступенчатые сколы. В минерале присутствуют включения разного элементного состава (последовательность представлена в порядке уменьшения доли элемента в составе): углерод, кремний, кислород, ванадий, алюминий, калий, цинк, сера. Наличие данных элементов также характерно для природного шунгита. Шунгит обладает высокими каталитическими и восстановительными свойствами, часто используется для очистки сточных вод как адсорбент, но видя элементный состав, возникает потребность изучить, как шунгит ведет себя в химических реакциях с загрязнителями и какие продукты образуются.

*Работа проведена при поддержке НИ ТПУ стипендия P.L.U.S и университета имени Бен Гуриона в Негев.*

Список используемых источников:

1. Сорбционные материалы для извлечения радионуклидов из водных сред / Г.В. Мясоедова, В.А. Никашина // Российский химический журнал. – 2006. – Т.50, №5. – С.55–63.
2. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы: Пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
3. Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования. Под ред. В.А. Соколова, Ю.К. Калинина. – Петрозаводск: Карелия, 1975.– 246 с.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ

*О.Л. Ахремчик, д.т.н., проф.*

*Тверской государственной технической университет  
170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина 22, тел. +7(4822)789338  
E-mail: axremchic@mail.ru*

**Аннотация:** рассматривается набор показателей, которые необходимо учитывать при проектировании систем оповещения и управления эвакуацией в качестве частных критериев. Наряду со звуковым давлением, диапазоном воспроизводимых частот, отношением сигнал/шум предлагается учитывать дополнительные параметры, определяющие время и вероятность выбора правильной стратегии действий. В число дополнительных параметров входят: размер и расширение файла голового сообщения, число и взаимосвязь семантических блоков в сообщении.

**Abstract:** a set of indicators to be taken into account when designing warning and evacuation control systems as private criteria is considered. In addition to sound pressure, the range of frequencies reproduced,

the signal-to-noise ratio, it is proposed to take into account additional parameters that determine the time and probability of choosing the correct strategy of action. Additional parameters include the size and extension of the voice message file, the number and relationship of semantic blocks in the message.

**Ключевые слова:** время, проектирование, система, оповещение, эвакуация.

**Keyword:** time, design, system, alert, evacuation.

Системы оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ) являются обязательным компонентом оборудования, используемым для обеспечения безопасности персонала производственных объектов машиностроительного предприятия. Назначение СОУЭ – передача людям, находящимся в опасных зонах, информации о возникновении чрезвычайной ситуации (например, пожара) и поддержка реализации плана эвакуации людей. В ходе разработки, настройки и эксплуатации система оповещения и управления эвакуацией может считаться эффективной, когда будет обеспечена безопасная эвакуация людей при наступлении критических событий и возникновении аварийных ситуаций с угрозой для жизни и здоровья персонала.

По российской классификации выделяются несколько типов СОУЭ. Системы первых двух типов включают подсистемы световой и звуковой сигнализации. При выборе звуковых оповещателей для СОУЭ 1-го и 2-го типов акустические сигналы оповещения должны отличаться по тональности от звуковых сигналов систем управления технологическими объектами. Звуковые сигналы от оповещателей типа сирены при отсутствии постоянных тренировок не несут информации о путях эвакуации и типе аварии. Для устранения дилеммы выбора сигналов СОУЭ 3-го, 4-го, 5-го типов обеспечивают формирование речевого (голосового) сообщения [1].

Сообщения в СОУЭ делятся на два типа: собственно сообщения об эвакуации и информационные. При формировании голосового сообщения об эвакуации в качестве основного показателя рассматривается минимальное время инерционности системы, однозначно связанное с требуемой величиной надежности. Задержка эвакуации может быть обусловлена организационной инерционностью СОУЭ, которая зависит от действия ее операторов.

В состав СОУЭ входят: контроллер, предварительные усилители, усилители мощности, источник звука (извещатель), диспетчер сообщений, устройство подавления обратной связи, вызывные станции, программный интерфейс, таймер, зарядное устройство, контурный усилитель, система речевого и аварийного оповещения. Внедрение средств сотовой связи дополняет СОУЭ подсистемой телефонного оповещения.

Основными задачами, решаемыми при проектировании СОУЭ являются:

- определение типа СОУЭ и выбор структуры системы;
- определение состава реализуемых функций;
- выбор программно-технических средств для реализации функций;
- выбор мест размещения оповещателей (зон) и расчет необходимого звукового давления;
- определение количества оповещателей и разработка схем подключения к контроллеру с расчетом и выбором типа кабеля для подключения;
- расчет емкости аккумуляторных батарей резервных источников питания;
- проектирование человеко-машинного интерфейса.

Места установки оповещателей должны выбираться из расчета достижения максимальной слышимости и разборчивости передаваемой информации, которая определяется неравномерностью частотной характеристики оповещателя [2]. Синтез текста сообщения должен основываться на предположениях о минимальной инерционности канала обработки сообщения и максимальной вероятности правильного распознавания при учете в качестве основных показателей воспроизводимого частотного диапазона и звукового давления.

По мнению автора на текущий момент рациональным является выбор структуры системы без микрофонов с базой данных оповещений, включаемых автоматически в зависимости от типа зоны, вида аварии и приоритета. Кроме величины надежности в РФ требования к СОУЭ определяют: выходную мощность усилителей, положение оповещателей в помещениях, отношение сигнал/шум, частотную характеристику [3]. Некоторые исследователи отмечают необходимость рассмотрения дополнительных параметров при проектировании, например ток потребления оповещателя при рассмотрении звукового давления [4].

Однако следует принять во внимание дополнительные требования, которые учитываются при проектировании СОУЭ с точки зрения европейского законодательства [5]. К ним относится тип носителя сообщения. Предварительно записанные сообщения должны храниться в энергонезависимой

памяти, способной непрерывно и надежно работать не менее 10 лет без обслуживания (на момент составления европейского стандарта использование лент, магнитных или оптических дисков данных для хранения экстренных сообщений неприемлемо). Таким образом, на текущий момент сообщения должны храниться во флэш-памяти.

При проектировании следует учитывать: емкость памяти, число резервных копий, размер файла и расширение файла. Формат сообщения, обеспечивающий удовлетворение требований к разборчивости должен поддерживать разрядность слова не менее 16 бит, частоту дискретизации не менее 44,1 кГц.

Заранее подготовленные тексты сообщений об эвакуации должны содержать информацию о необходимости и путях эвакуации, направлении движения и других действиях, направленных на обеспечение безопасности. Примеры голосовых сообщений:

1. «Внимание! Чрезвычайная ситуация! Всем немедленно покинуть производственную зону через эвакуационные выходы!»
2. «Внимание! Возгорание в здании! Убедительная просьба, не создавая паники принять меры к спасению документации и материальных ценностей. Сохраняя спокойствие и не загромождая проходы, двигайтесь по коридорам к эвакуационным выходам. При необходимости используйте первичные средства пожаротушения, расположенные в коридорах и помещениях здания. Покинув помещения, не создавая помех работе пожарных и спасателей, отойдите от здания на место сбора согласно плану эвакуации».

Анализ примеров показывает их разные объем и связанную с ним длительность воспроизведения, которые несомненно являются рассчитываемыми при проектировании дополнительными параметрами. С увеличением объема информации в сообщении эффективность принимаемого решения растет. Но с увеличением объема информации время, требуемое для принятия решения о действиях по эвакуации изменяется. Детализируя сообщения следует рассматривать количество и взаимосвязь семантических блоков с выделением базовых отношений между смысловыми единицами.

Время, которое проходит от момента возникновения критической ситуации до момента начала формирования сигнала об эвакуации персонала:

$$T = T_{ав} + T_{п} + T_{в} + T_{р},$$

где  $T_{ав}$  – время формирования сигнала об аварии в измерительных цепях,  $T_{п}$  – время подготовки сообщения для воспроизведения в СОУЭ,  $T_{в}$  – время воспроизведения сообщения,  $T_{м}$  – время идентификации сообщения об аварии и принятия решения о действиях, направленных на эвакуацию.

Необходимость минимизации  $T$  требует углубленного анализа его составляющих при проектировании. Так, время  $T_{в}$  зависит от свойств программного обеспечения, используемого для проигрывания и во многом определяется форматом файла сообщения. Время  $T_{м}$  определяется процессом «стимул-реакция» и зависит от степени тренированности персонала. Тренировки должны проводиться систематически для закрепления в памяти людей сценариев действий при проигрывании сообщений об эвакуации.

Анализ используемых текстов показывает, что по тексту сообщения используются восклицательные знаки. Нужны ли эмоции в голосе или он должен быть ровным и механическим? Этот вопрос требует дополнительных исследований, но ясно, что степень эмоциональности в сообщении должна быть минимальной, соответственно число знаков препинания по тексту также минимизируется.

Таким образом, ряд дополнительных требований: длительность сообщения, число и связь семантических блоков сообщения, показатель эмоциональности, являются частными критериями, которые должны рассматриваться при проектировании СОУЭ. При замене частных критериев обобщенным скалярным показателем актуальной становится задача выбора весовых коэффициентов частных критериев на основе применения методологии экспертных систем.

Список используемых источников:

1. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. Свод правил: утвержден и введен в действие Приказом МЧС России № 173 от 25 марта 2009 г.
2. Асминин В.Ф., Антонов А.И., Епифанов Е.Н. Анализ методик размещения оповещателей систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. № 1 (5). Т. 1. С. 232–234.

3. Расчет количества и мощности включения речевых оповещателей Электронный ресурс. Режим доступа: <http://omegasound.ru/support/программы-расчетov/> (дата обращения 30.01.2020).
4. Чепрасов С.А. Обоснование применения систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) людей при пожарах в зданиях и сооружениях // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. Выпуск 2(15). С. 25–31.
5. EN54-16. Bosch Security Systems B.V., 2015. 46 p.

### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА СВАРКИ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА НАЛИЧИЕ МИКРОПЛАСТИКА В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

К.В. Епифанцев<sup>1,а</sup>, к.т.н, доцент, В.С. Волобуев<sup>2,б</sup> к.ф.-м.н, старший преподаватель,

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет  
220006, Р. Беларусь ул. Свердлова 13А

E-mail. [aepifancew@gmail.com](mailto:aepifancew@gmail.com), [bvlasname@mail.ru](mailto:bvlasname@mail.ru),

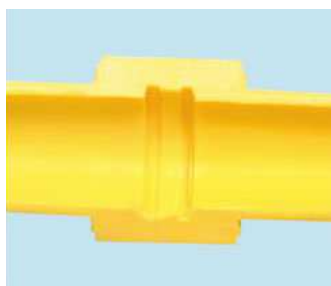
**Аннотация:** В настоящее время при монтаже трубопроводов предприятий и жилых районов активно применяются полипропиленовые трубы. С одной стороны сварка полимерных трубопроводов ускоряет процесс строительства, но с другой стороны – разные виды пластика намного ухудшают химический состав питьевой воды за счет некорректных технологических процессов сварки. В процессе выполнения исследований выявлено, что содержание частиц микропластика в воде после прохождения системы водоснабжения значительно увеличилось, что является показателем ухудшения качества воды. Результаты анализа на содержание частиц микропластика в воде свидетельствуют о том, что по данному показателю качество воды значительно ухудшилось. Это свидетельствует о том, что нельзя игнорировать в свете растущей проблемы, содержания микропластика.

**Abstract:** Currently, polypropylene pipes are actively used in the installation of pipelines in enterprises and residential areas. On the one hand, welding of polymer pipelines speeds up the construction process, but on the other hand, different types of plastic significantly worsen the chemical composition of drinking water due to incorrect welding processes. During the research, it was found that the content of microplastic particles in the water after passing the water supply system increased significantly, which is an indicator of water quality deterioration. The results of analysis for the content of microplastic particles in the water indicate that the water quality has significantly deteriorated in this indicator. This is evidence that cannot be ignored in light of the growing problem of microplastics.

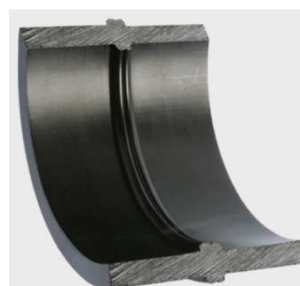
**Ключевые слова:** полипропилен, микропластик, качество воды, технологический процесс сварки полимерных трубопроводов.

**Keywords:** polypropylene, microplastics, water quality, technological process of welding of polymer pipelines.

На первом этапе исследования необходимо выявить те самые «тонкие места» технологического процесса сварки полимерных трубопроводов. В настоящее время технология достаточно отработана, как для наземной сварки трубопроводов, так и для подводной сварки на дне водоемов. Конечный продукт, который может подтвердить качество оборудования – это качественный «грат» (Рис. 1). «Грат» - профессионально название сварного шва.



а



б

Рис. 1. Две сваренные трубы в разрезе, «ступенька» между ними – «грат»  
а) электромутовой метод, б) стыковой метод

В процессе сварки полимерных трубопроводов было сфокусировано 2 основных метода – стыковой и электромужфтовый. Эти различные методы отличаются технологическим процессом, которые в определенной мере становятся причинами наличия мелкодисперсных частиц пластика, которые в свою очередь, постепенно воздействуют на качество воды. Основные стандарты, которые используются при сварке трубопроводов : ГОСТ Р ИСО 3126-2007, ГОСТ 33123-2014 [9,10].

Проведем краткий сравнительный анализ использования трубопроводных технологий в России и в Европе. В России Наиболее крупными на сегодняшний день производителями пластмассовых труб являются ОАО «Казаньоргсинтез» (г . Казань, Татарстан), ОАО «Сибгаззапарат» (г.Тюмень ), ОАО «Завод полиэтиленовых труб» (г. Буденовск, Ставропольский край ), НПО «Пластик» (г. Москва), ООО «Компания Рострубпласт», Группа компаний Политек (г. Москва), ЗАО «Агригазполимер» (г. Обниск, Калужская область), ООО «Группа компаний Полипластик» (г. Москва), ООО «Икапласт» (г. Санкт-Петербург) [6,8] и др., всего на территории России насчитывается более 80 заводов по производству полимерных трубопроводов. В мире находят применение в основном три вида полимерных труб – полипропиленовые (ПП), поливинилхлоридные (ПВХ) и полиэтиленовые (ПЭ). Последние пользуются в России наибольшим спросом (в прошлом году их доля составила 62%) [7]. В Европе в год используется примерно 40 тыс. км пластмассовых труб. Их доля в системах внутренних трубопроводных сетей при новом строительстве в индустриально развитых странах составляет 20 - 40%, а в самых экономически преуспевающих даже больше (в Швейцарии – 69,3, Финляндии – 50,8, Германии – 46,2%) [4]. В Нидерландах удельный вес пластмассовых трубопроводов в системах водоснабжения превышает 40%. На сегодняшний день в Англии 99% вновь строящихся водопроводных трубопроводов составляют пролиэтиленовые, этом 83% из них имеют диаметры до 300 мм. Предполагается, что ежегодный рост использования труб будет составлять: полипропиленовых - 7%, полиэтиленовых в водоснабжении - 6%, в газоснабжении - 8%. Около 1,6 млрд. м труб для водоснабжения и отопления , что составляет 86% потребления полимерных материалов на эти нужды в Европе, изготовлены из полиолефинов [5].

В процессе проведения сварочных работ частично не соблюдаются строительные нормы и в трубы могут попасть остатки бетона, смол и иных композиций, что неизменно будет влиять на качество питьевой воды. Принципиальный момент в этом вопросе играет подготовленность персонала и автоматизация оборудования. Рассмотрим наиболее современное оборудование на данный момент – машины компании McElroy (Рис. 2) применимы во многих известнейших мировых проектах по прокладке труб.

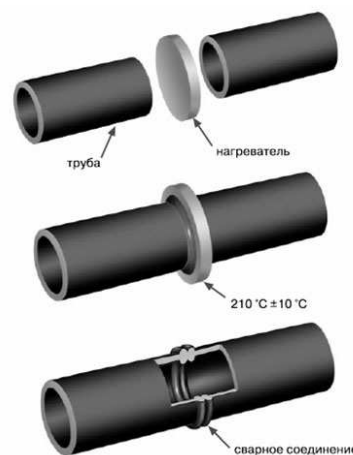


Рис. 2. Стыковая сварка на самоходной машине McElroy

Процесс сваривания труб предполагает ряд обязательных операций, таких как подготовка труб, торцевание, разогрев, сведение, достижение сварочного давления, проверка шва. Весь процесс детально представлен на графике на рис 3.

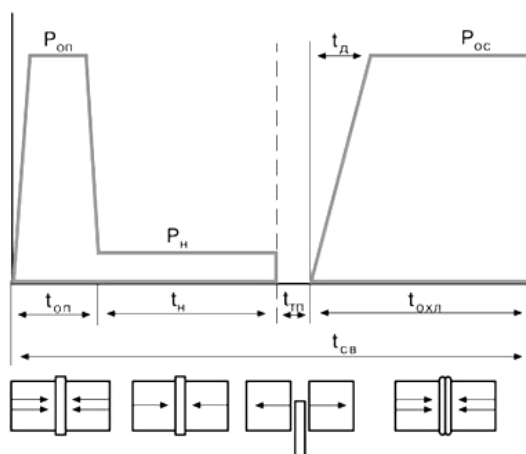


Рис. 3. График технологического процесса при сварке полимерных трубопроводов

Из графика видно, что ввиду очень скоротечного процесса (нагретые торцы труб не имеют возможности постоянно нагреваться или долгое время находится в процессе ожидания) практически отсутствует время на проверка качества внутреннего состояния трубопровода – т.е. его частоты, производства контроля непровара или вплавления в сварной шов посторонних вредных примесей, которые постоянно будут контактировать с протекающей водой по трубам. Кроме того торцевание и сплавление предполагает наличие непритупленных острых кромок за которые впоследствии могут зацепляться мелкие ворсинки, приводя к засорам.

Природная чистота воды- это что-то из ряда фантастики, ведь в естественных условиях в воде всегда содержатся различные вещества и элементы, это происходит из-за того, что в процессе круговорота вода соприкасается с воздухом и почвой и растворяет содержащиеся в них химические соединения и бактерии [1]. Современный мир является источником загрязнения воды из-за наличия в нём заводов, бытовой техники (стиральных машин) и др. Как следствие это влияет на качество воды и растёт актуальность работ по её улучшению [2].

Не так давно монтаж систем водоснабжения был довольно проблематичен и требовал квалифицированного монтажа в лице сантехника, сварщика. Системы монтировались из стальных труб срок службы которых не долгов. В лучшем случае монтаж производили из оцинкованных стальных труб. Сегодня наиболее популярным является монтаж систем водоснабжения или отопления на основе полипропиленовых труб. Полипропилен – материал, который получают из нефтепродуктов, либо газов крекинга нефти, которые соединяются с катализаторами. Выпускается полипропилен в виде порошка или гранул. Главными положительными преимуществами систем водоснабжения на основе полипропиленовых труб можно назвать:

- способность выдержать давление, равное 20 Барам и выше. Хотя в многоэтажных зданиях оно редко превышает 10 Бар;
- коррозионные процессы почти не влияют на данный материал. Даже если вода долго контактирует с поверхностью, влага не проникает внутрь конструкций на основе этого материала;
- высокий уровень термоизоляции;
- способность выдержать давление, равное 20 Бар и выше;
- доступная цена, легкий монтаж и долговечность;

Но полипропиленовые трубопрокаты обладают и определёнными недостатками. Перечислим основные недостатки:

- необходимость использовать сварочный аппарат;
- сложно провести ремонт и техническое обслуживание;
- неспособность перенести температуру свыше 1000 градусов.

В тоже время, как показали исследования, приведенные в данной статье, системы водоснабжения на основе полипропиленовых труб может стать источником нового вида загрязнения воды – загрязнения микропластиком. Сам по себе он является инертным материалом. Однако до сих пор нет достоверных исследований относительно того, насколько он вреден для человека [3]. Есть информа-

ция, что микропластик (рис. 1) может накапливаться и закупоривать сосуды, приводя, например, к инсультам и инфарктам. Кроме того, микропластики могут переносить опасные вещества на себе.

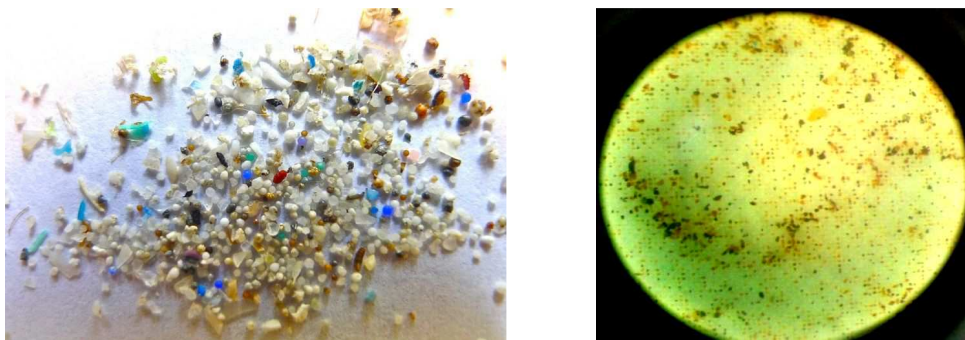


Рис. 4. Частицы пластика при микроскопическом исследовании

Ряд показателей качества воды был исследован сотрудниками Государственного учреждения «Центр гигиены и эпидемиологии Фрунзенского района г. Минска». Далее в таблице 2.7 приведены данные показатели и их значения.

Таблица 1

Показатели качества исследуемые сторонней организацией

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение для воды до прохождения системы водоснабжения	Значения для воды после прохождения системы водоснабжения	Нормируемое значение
Цветность	градус	4	4	Не более 20,0
Мутность	мг/дм <sup>3</sup>	0,29	0,22	Не более 1,5
Окисляемость перманганата	мгО/дм <sup>3</sup>	1,6	1,52	Не более 5,0
Аммиак (по азоту)	мг/дм <sup>3</sup>	0,078	0,078	Не более 2,0
Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	15,6	15,1	Не более 350,0

Показатели качества воды, исследуемые сторонней лабораторией находятся в пределах нормы как до прохождения системы водоснабжения на основе полипропиленовых труб, так и после нее.

Для определения содержания частиц микропластика в отобранных пробах водопроводной воды на входе в систему водоснабжения и из данной системы было отобрано и отфильтровано 400 дм<sup>3</sup> воды. После этого было произведено фильтрование 400 дм<sup>3</sup> водопроводной воды после входа в систему водоснабжения отдельных общественных и жилых объектов Ленинского района на основе полипропиленовых труб. Для фильтрования использовался специальный фильтр на 100 мкн. После проведения данной части анализа, образцы были обработаны на определение точного содержания частиц микропластика и синтетических волокон в Научно-исследовательской лаборатории кафедры ФХМСП «Белорусского Государственного Технологического Университета». Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержания частиц микропластика в воде в системе водоснабжения.

Размер фильтра, мкн	Количество частиц микропластика на входе в системы водоснабжения	Количество частиц микропластика в отдельных объектах водоснабжения Ленинского района
100	3	118

Как видно из таблицы 2 содержание частиц микропластика в воде после прохождения системы водоснабжения на основе полипропиленовых труб значительно увеличилось, что является показателем ухудшения качества воды. Таким образом, результаты анализа на содержание частиц микропластика в воде свидетельствуют о том, что по данному показателю качества воды значительно ухудши-



лось, что нельзя игнорировать в свете растущей проблемы, содержания микропластика в водах по всей земле. Также в технологический процесс таких современных и известных машин как Mc Elroy, Turan makina, Rothenberger, Welltech, Ecotools, Roweld, Suda Plastic Pipe Machinery Co, в автоматический процесс который направлен на ускорение процесса сварки также был внедрен процесс автоматической продувки трубопровода и обязательной эндоскопии на предмет обнаружения потенциально опасных элементов крошимого пластика.

Список используемых источников:

1. Plastic particles found in bottled water. [Электронный ресурс] URL <http://www.bbc.com/news/science-environment-43388870>, (дата обращения 03.03.2020 г в 13:30).
2. Microplastic pollution in oceans is far greater than thought say scientists. [Электронный ресурс] URL <https://www.theguardian.com/environment/2018/mar/12/microplastic-pollution-in-oceans-is-far-greater-than-thought-say-scientists>, (дата обращения 03.03.2020 г в 15:00).
3. Plastic fibres found tap water around world study reveals. [Электронный ресурс] URL <https://www.theguardian.com/environment/2017/sep/06/plastic-fibres-found-tap-water-around-world-study-reveals>, (дата обращения 01.03.2020 г в 10:00).
4. Алексеев А.В., Глухова О.В., А.Р.Исламов, С.М. Сергеев, А.Б.Минкевич. Состояние и перспективы развития пластмассовых трубопроводов в россии // Нефтегазовое дело, 2004, С. 3-4.
5. Агапчев В.И., Виноградов Д. А., Абдуллин В.М. Трубопроводные системы из композиционных материалов в нефтегазовом строительстве // Изв. Вузов. Нефть и газ. 2003, 91-95 с.
6. Перспективы компании Полипластик. [Электронный ресурс] URL <https://politek-ptk.ru/contacts/>, (дата обращения 30.03.2020 г в 22:30).
7. Потребление пластиковых трубопроводов в России [Электронный ресурс] URL <https:// трубопровод.рф>, (дата обращения 30.03.2020 г в 23:30)
8. История завода Икапласт [Электронный ресурс] URL <https://icaplast.ru/about/> , (дата обращения 30.03.2020 г в 23:16).
9. ГОСТ Р ИСО 3126-2007 Трубопроводы из пластмасс. Пластмассовые элементы трубопровода. Определение размеров.
10. ГОСТ 33123-2014 Трубы водопропускные из полимерных композитов. Технические условия.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛА ШУНГИТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

*А.Л. Новикова, аспирантка группы А7-52,*

*Научный руководитель: Назаренко О.Б. , профессор, д.т.н.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*E-mail: furia.08@mail.ru*

**Аннотация:** В данной статье исследуется природный минералшунгит Зажогинского месторождения (Карелия). Исследования показали что у шунгита поры присутствуют, но в малых количествах, радиус пор равен 2.03938 нм, объем пор равен 0.000299721 см<sup>3</sup>/г. Площадь поверхности пор составила 0.17287 м<sup>2</sup>/г. Поры присутствуют только в минеральных включениях, сам же минерал однороден. На поверхности присутствуют характерные для шунгита ступенчатые сколы, что является одним из подтверждений, что минерал, используемый в исследовании, действительно шунгит.

**Abstract:** This article studies the natural mineral shungite of the Zazhoginsky deposit (Karelia). Studies have shown that shungite has pores, but in small quantities, the pore radius is 2.03938 nm, the pore volume is 0.000299721 cm<sup>3</sup>/g. The pore surface area was 0.17287 m<sup>2</sup>/g. Pores are present only in mineral inclusions; the mineral itself is homogeneous. On the surface there are stepped chips characteristic of shungite, which is one of the confirmations that the mineral used in the study is really shungite.

**Ключевые слова:** шунгит, углерод в аморфной форме, сточные воды, поры, удельная поверхность, очистка сточных вод, катализ.

**Keywords:** shungite, carbon in amorphous form, wastewater, pores, specific surface area, wastewater treatment, catalysis.

В данное время существует проблема увеличения количества загрязнений поступающих в окружающую среду. Одной из важных и постоянно загрязняемых сред является водная среда. Загрязняющие вещества в сточных водах бывают разных видов и включают в себя: биогенные, радиоак-

тивные и органические микроэлементы, тяжелые металлы, микропластик, микробные массы [1]. В связи с загрязнением водной среды поиск эффективных, недорогих и простых методов удаления загрязняющих веществ – одна из важнейших задач в области защиты окружающей среды. Существует огромное количество методов для очистки сточных вод: механическая очистка, аэрация, физическая и химическая сорбция, экстракция, выпаривание, центрифугирование, нейтрализация, ионообменная и электрохимическая очистки, флотация, катализ, флокуляция, очистка микробными массами [2]. Одним из простых, эффективных и недорогих методов очистки воды является фильтрация воды через природные или модифицированные сорбенты [3].

Один из распространенных и недорогих природных материалов, обладающих каталитической и химической активностью – шунгит. Шунгитовые и шунгитсодержащие породы входят в большую группу докембрийских углеродсодержащих пород. Шунгитовые породы весьма разнообразны по форме проявлений, времени формирования, генезису и вещественному составу зольной части, изотопному составу, агрегатному и структурному состоянию шунгитового углерода. Различаются они так же и по физико-химическим свойствам, химическому и минералогическому составу.

Шунгит – уникальный углеродный материал, содержащийся в докембрийской горной породе осадочного происхождения, основные залежи которого расположены в Карелии. [4]. Шунгитовые породы содержат углерод в аморфной форме (в зависимости от вида от 5 до 99%), минералы (кварц, полевошпат, алюмосиликаты, карбонаты, пириты), небольшие количества битумоидной органики и воды. В зависимости от содержания углерода различают пять разновидностей шунгитовых пород:

- Шунгит I группы содержит в себе до 99% углерода;
- Шунгит II группы от 35 до 75%;
- Шунгит III группы от 25 до 35%;
- Шунгит IV группы от 10 до 25%;
- Шунгит V группы до 10%.

В зависимости от свойств шунгиты находят применение в металлургической и химической промышленности, в строительстве, сельском хозяйстве, фармакологии, медицине и экологии. В защите окружающей среды шунгиты часто используются как загрузки для фильтров очистки воды, так как некоторые из видов шунгитов обладают восстановительными, адсорбционными и каталитическими свойствами, так же у шунгитов есть бактерицидные свойства. Наиболее ярко выраженной адсорбционной способностью обладает шунгит-III, содержащий 20–35% углерода [5].

В данной работе используется природный минерал шунгит Зажогинского месторождения (Карелия), который относится к шунгитам I группы. На данном этапе исследовались площадь поверхности, радиус и объем пор, морфология поверхности и элементный состав.

Исследования проводили, используя анализатор сорбции газа серии NOVAtouch™, анализ площади поверхности и размера пор по методу BET.

Шунгит измельчали, взвешивали и переносили в стеклянную трубку, затем помещали в аналитическую станцию, для удаления влаги из пор высушивали при температуре 150 °С в течение 8 часов. Затем пробы доставали, снова взвешивали и помещали в следующую станцию. В специальную емкость заливали 2 литра жидкого азота, помещали под станцию с пробами и включали программу измерений. С помощью программы было исследовано 13 точек и определены суммарные значения. Полученные значения размера пор шунгита представлены в таблице 1.

Таблица 1

Размер пор шунгита		
Радиус r, нм	Объем пор V, см <sup>3</sup> /г	Площадь поверхности пор S, м <sup>2</sup> /г
2.03938	0.000299721	0.17287

При изучении поверхности было выявлено, что у Шунгита поры присутствуют, но в малых количествах и имеют небольшой объем и небольшую площадь поверхности.

Исследования проводили, используя Quanta 200 SEM – это сканирующий электронный микроскоп с низким вакуумом и вольфрамовым источником электронов. Так же Quanta SEM была оснащена системой EDS, которая позволяет проводить элементный анализ. Низковакуумные детекторы не чувствительны к свету, генерируемому во время нагревания образца, поэтому эксперименты с динамическим нагревом на месте визуализировались и записывались в режиме реального времени при температурах до 1500 °С.

Шунгит измельчали, взвешивали и переносили на углеродный скотч, затем помещали в аналитическую станцию. Полученные данные представлены на рисунках 1 и 2.

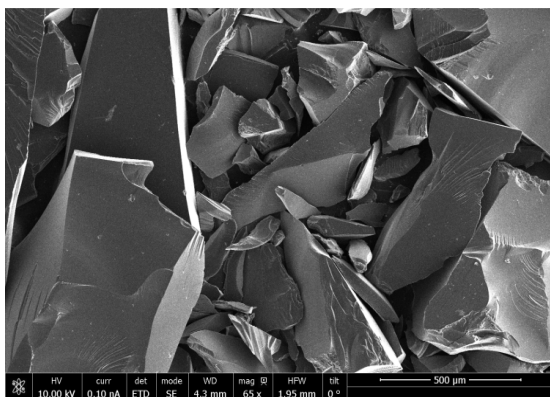


Рис. 1. SEM-фотография частиц Шунгита

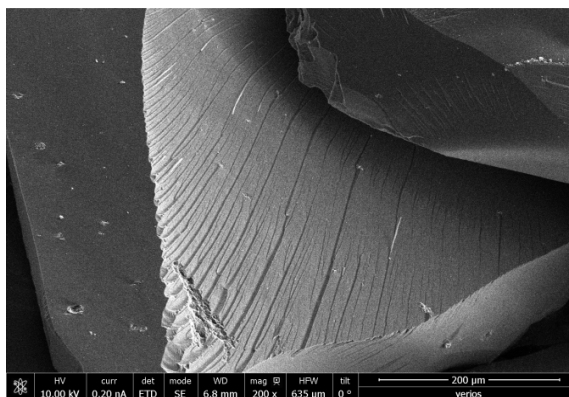


Рис.2. SEM-фотография поверхности Шунгита с минеральными включениями

При изучении поверхности природного минерала методом сканирующей микроскопии (SEM), было выявлено, что на поверхности шунгита поры присутствуют, но в малом количестве, что подтверждает данные полученные исследованием шунгита ВЕТ методом. Поры присутствуют только в минеральных включениях, сам же минерал однороден. На поверхности присутствуют характерные для шунгита ступенчатые сколы.

Исследования показали что у шунгита поры присутствуют, но в малых количествах, радиус пор равен 2.03938 нм, объем пор равен 0.000299721 см<sup>3</sup>/г. Площадь поверхности пор составила 0.17287 м<sup>2</sup>/г. Поры присутствуют только в минеральных включениях, сам же минерал однороден. На поверхности присутствуют характерные для шунгита ступенчатые сколы, что является одним из подтверждений, что минерал, используемый в исследовании, действительно шунгит. Из полученных данных можно сделать вывод, что шунгит Зажогинского месторождения не может быть использован для физической сорбции различных загрязнений, но следует провести исследования для определения его каталитических и восстановительных свойств.

Список используемых источников:

1. Сорбционные материалы для извлечения радионуклидов из водных сред / Г.В. Мясоедова, В.А. Никашина // Российский химический журнал. – 2006. – Т.50, №5. – С.55–63.
2. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы: Пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
3. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. –Киев: Наукова думка, 1981. – 207 с.
4. Березкин В.И. Углерод. Замкнутые наночастицы, макроструктуры, материалы. –С-Пб.: Издательство «АтрЭрго». 2013. С. 280-330.
5. Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования. Под ред. В.А. Соколова, Ю.К. Калинина. Петрозаводск: Карелия, 1975, 246 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗВУКОИЗЛУЧЕНИЯ И ШУМОГЛУШЕНИЯ В ХЛОПКООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

О.Н. Поболь<sup>1</sup>, д.т.н., проф., Г.И. Фирсов<sup>2,а</sup>, с.н.с.

<sup>1</sup>Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского

<sup>2</sup>Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4, тел. (495) 624-00-72

aE-mail: firsovgi@mail.ru

**Аннотация:** Приведены результаты экспериментального исследования звукоизлучения элементов хлопкоочистительных машин. Построена математическая модель распространения акустической энергии по конструкции машины и рассмотрена возможность борьбы с шумом на путях его распространения.

**Abstract:** The results of an experimental study of the sound emission of elements of ginning machines are presented. A mathematical model of the propagation of acoustic energy over the design of the machine is constructed and the possibility of combating noise along its propagation paths is considered.

**Ключевые слова:** хлопкоочистительная машина, статистический энергетический анализ, коэффициент потерь, колебания.

**Key words:** cotton gin, statistical energy analysis, loss coefficient, vibrations.

Имитационное моделирование процессов генерирования, распространения и излучения акустической энергии является одним из этапов проектирования малозумных машин [1, 2]. Важнейшим элементом при проведении имитационных машинных экспериментов является выбор исходной математической модели объекта, под которой понимается совокупность математических соотношений, связывающих конструктивные и динамические характеристики машины, акустические поля в ней, и позволяющие количественно с известной точностью прогнозировать протекание акустических процессов в машине [3]. Множество  $M$  всех моделей  $m$ ,  $m \in M$ , которые описывают поведение различных узлов и элементов машины, образует банк моделей (иногда называемый тезаурусом или архивом моделей). В работах [4-7] выполнен анализ виброакустических моделей несущих систем, ременных передач, пар трения нить-бегунок, веретенных механизмов текстильных машин. В настоящей статье рассматриваются акустические модели элементов хлопкоочистительных машин и намечается снижение шума путем вибродемпфирования отдельных элементов машин.

В качестве объектов исследования были выбраны пыльные джины и линтеры, являющиеся одним из наиболее шумных видов хлопкоочистительного оборудования. Пыльные джины (или волоконноотделители) представляют собой машины для отделения хлопкового волокна от семян. В основу работы пыльных джинов положен принцип захвата зубом пилы прядки волокон в ее средней части и отрыва от семени протаскиванием сквозь щель в колосниках. Главный рабочий орган - пыльный барабан, состоящий из нескольких десятков круглых пил. Пилы представляют собой металлические диски из тонколистовой стали с насеченными по всей окружности их зубьями. Пилы насажены на вал, причем каждая пара дисков разделена междупилными прокладками строго одинаковой толщины. Аналогично устроен и пыльный линтер (или пухоотделитель), предназначенный для снятия с семян хлопчатника, после отделения от них волокна, хлопкового пуха [8].

Для выявления основных источников - генераторов шума были проведены специальные экспериментальные исследования машин методами отключения источников, ближнего поля и оценки вибрационных полей [9]. Метод отключения применялся для определения вклада отдельных механизмов - генераторов в общее излучение (двигатель, привод, рабочие органы, система пневмотранспорта) путем их последовательного отключения и поэлементного включения. В этом случае вклад отключенного механизма в излучение рассчитывался по формуле  $L = 10 \lg(10^{0,1L_1} - 10^{0,1L_2})$  дБ, где  $L_1$ ,  $L_2$  - уровни звукового давления до и после отключения механизма, дБ. Анализ результатов измерений и расчетов спектров уровней звукового давления пыльного линтера показывает, что основным источником - генератором шума является пыльный барабан: шум возникает в результате трения пил о колосники, колебаний их пыльных дисков, завихрений и пульсаций воздуха в области зубчатых венцов пил. Под нагрузкой уровни звукового давления уменьшаются на 1-3 дБ в высокочастотной области и на 3-5 дБ на низших частотах. Определение виброактивных деталей - излучателей на машинах проводилось методом оценки вибрационных полей путем измерения средних скорректированных уровней виброускорений на различных элементах конструкции машин. Оценка излучаемой акустической мощности отдельными узлами выполнялась путем введения весового фактора площади поверхности излучения  $\Delta L_1 = 10 \lg Si$  для пластин и  $\Delta L_2 = 20 \lg Si$  для точечных излучателей. Измерения выполнялись на ограждающих поверхностях и пилах в пяти точках на каждой детали. Уровни виброускорений на поверхностях пил были измерены бесконтактным методом - выполнены измерения уровней звукового давления в ближнем поле у пил (на расстоянии 20-50 мм) и введены частотные корректирующие факторы, установленные на основе статистической обработки результатов измерений октавных спектров уровней звукового давления в ближнем поле и уровней виброускорений для пил как металлических пластин при возбуждении в последних широкополосной звуковой вибрации.

Учитывая, что мощность акустического излучения  $W \sim RV_e^2$  (где  $V_e^2 \sim A^2 \omega^2$ ), т.е. пропорциональна квадрату средней эффективной виброскорости  $V_c$  на поверхности излучателя, а эффективное ускорение  $a_c \sim A\omega^2$  получим  $\delta = \lg W / a = \lg RA^2 \omega^2 / A\omega^2 = \lg RA$ , т.е. разница в спектре уровней

шума и виброускорения есть некоторая константа, характерная для данного типа излучателя. Здесь  $R$  - постоянный коэффициент,  $A$  и  $\omega$  - амплитуда и частота колебаний соответственно.

Результаты расчета уровней шума в ближнем поле и уровни виброускорений для пильного цилиндра, показали, что основным излучателем шума в джинах и линтерах являются пилы пильных цилиндров, на втором месте по излучаемой мощности находятся колосники и боковины камер.

Для анализа процессов распространения вибрационной энергии по структуре машины и ее излучения в окружающее пространство была использована математическая модель виброакустических полей в машине, разработанная с использованием энергетического статистического анализа [10].

Анализ экспериментальных данных позволил построить упрощенную трехэлементную расчетную модель, состоящую из трех подсистем пильного цилиндра (1), колосников (2) и цеха (3) соответственно;  $P_i$  - мощности, введенные от механизмов в  $i$ -ю подсистему ( $i = 1, 2$ );  $P_{dj}$  - мощности рассеивания энергии внутри  $j$ -й подсистемы ( $j = 1, 2, 3$ );  $P_{ij}$  - мощность энергетического потока между  $i$ -й и  $j$ -й подсистемами.

Составив и решив систему уравнений потоков энергии для этой модели с учетом обычных допущений о соотношении внутренних потерь в подсистемах и связях, получим выражение для излучаемой мощности в цеховое помещение  $E = P_1 \eta_{13} / \omega V \eta_3 (2\eta_{13} + \eta_1)$ , где  $\eta_{13}$  - коэффициент потерь в связи, соединяющей 1-ю и 3-ю подсистемы;  $\eta_1, \eta_3$  - коэффициент внутренних потерь в 1-й и 3-й подсистемах соответственно;  $V$  - объем цеха;  $\omega$  - круговая частота колебаний.

Из полученного уравнения следует, что акустическая мощность машины определяется прежде всего коэффициентом потерь пил  $\eta_{13}$  и коэффициентом внутренних потерь материала пил. Увеличение коэффициента потерь  $\eta_1$  может быть получено за счет изменения конструкции пильного цилиндра путем введения демпфирующей прокладки (например, из пористой резины) в междупилное пространство.

Считая толщину вибропоглощающего слоя малой по сравнению с длиной волны, коэффициент потерь демпфированной пилы можно определить методом волновых сопротивлений [11], основанным на суммировании волновых сопротивлений демпфирующего слоя резины при различных видах деформаций. Волновое сопротивление однородной пластины при продольных и изгибных колебаниях определяется по известным формулам

$$Z_\sigma = j\omega m + \frac{DK_n^2}{j\omega} + \eta \frac{DK_n^2}{\omega}; \quad Z_\tau = j\omega m + \frac{BK_n^4}{j\omega} + \eta \frac{BK_n^4}{\omega} \quad (1)$$

где  $m$  - масса единицы площади пластины;  $\omega$  - круговая частота колебаний;  $D$  - продольная жесткость пластины;  $B$  - изгибная жесткость пластины;  $\eta$  - коэффициент потерь в пластине;  $K_n, K_u$  - волновые числа продольных и изгибных колебаний пластины соответственно. Присоединение к колеблющейся пластине демпфирующего резинового слоя позволяет создать дополнительное сопротивление, которое для изгибных колебаний составляет  $Z_{\sigma\tau} = Z_\sigma (K_n h_{12}/2)^2$ , где  $h_{12}$  - расстояние между нейтральными плоскостями пластины и присоединенного слоя, равное  $h_{12} = 0,5(h_1 + h_2)$ ,  $h_1, h_2$  - толщина пластины и слоя. Для многослойной конструкции суммарное волновое сопротивление составляет при изгибных колебаниях  $Z_\Sigma = \sum_{i=1}^N Z_{\tau i} + \sum_{i=2}^N Z_{\sigma i}$ , где  $Z_{\tau i}$  определяется по формуле (1);  $Z_{\sigma i} = Z_{\sigma 2i} (K_u h_{1i}/2)^2$ ;  $Z_{\sigma 2i} = (Z_{\sigma 3i} + a_2)/(1 + Z_{\sigma 3i} b_2)$ ; . . . .  $Z_{\sigma i-1, i} = (Z_{\sigma ii} + a_{i-1})/(1 + Z_{\sigma ii} b_{i-1})$ ;  $a_i = j\omega m_i$ ;  $b_i = \omega h_i / G_i (1 + j\eta_i)$ . Здесь  $Z_{\sigma ii} = Z_{\sigma i}$  определяются по формуле (1);  $h_{1i}$  - расстояние между нейтральными плоскостями пластины первого и  $i$ -го слоев;  $G_i$  - модуль сдвига материала  $i$ -го слоя. Суммарный коэффициент потерь демпфированной пластины составит  $\eta_\Sigma = \text{Re } Z_\Sigma / |Z_\Sigma|$ , где  $|Z_\Sigma|$  - модуль упругой или инерционной части  $Z_\Sigma$ .

После соответствующих преобразований для максимального значения коэффициента потерь демпфированной пластины как варианта армированного вибропоглощающего покрытия можно получить следующие соотношения [11]:

$$\eta_{\max} = \eta_2 \gamma / (\gamma + 2(1 + g_{2\text{опт}})), \quad g_{2\text{опт}} = [(1 + \gamma)(1 + \eta_2^2)]^{0,5},$$

где частота, соответствующая  $g_{2\text{опт}}$ , равна  $f_{\text{опт}} = \frac{G_2}{2\pi E_3 h_3 h_2} \sqrt{\frac{E_1 h_1^2 (1 + \gamma)(1 + \eta_2^2)}{12m_1}}$ ;  $m_1$  - масса пластины, приходящаяся на единицу поверхности;  $\gamma = 12\alpha_{31}^2 \alpha_3 \beta_3 / (1 + \alpha_2^3 \beta_2 + \alpha_3^3 \beta_3 + 12\alpha_{21}^2 \alpha_2 \beta_2)$ ;  $\alpha_2 = h_2/h_1$ ;  $\alpha_3 =$

$h_3/h_1$ ;  $\alpha_{21} = h_{21}/h_1$ ;  $\alpha_{31} = h_{31}/h_1$ ;  $h_{21} = 0,5(h_1 + h_2)$ ;  $h_{31} = 0,5(h_1 + h_3) + h_2$ ;  $\beta_2 = E_2/E_1$ ;  $\beta_3 = E_3/E_1$ ;  $E_i$  - модуль Юнга материала  $i$ -го слоя. Для симметричной конструкции многослойного демпфирования, рассматриваемого в данном случае, можно воспользоваться зависимостями, полученными в работе [12], при условии  $E_1 h_1 \gg E_2 h_2$ :  $\eta_{\max} = \eta_2 \gamma / [2\sqrt{1+\gamma} + 2 + \gamma]$ ,  $f_{\text{опт}} = G_2 \sqrt{1+\gamma} / \pi \sqrt{12} h_1 \sqrt{E_1 \rho_1}$ , где  $\rho_1$  - плотность материала пластины.

По приведенным выше уравнениям подбирается материал вибродемпфирующего слоя так, чтобы зона  $f_{\text{опт}} = 1-3$  кГц, поскольку зона высоких значений коэффициента потерь  $\eta \geq 0,7\eta_{\max}$  лежит обычно в диапазоне частот, охватывающем примерно декаду (3,5 октавы), что обеспечит в рассматриваемом случае эффективное снижение шума на частотах выше 1 кГц.

Геометрический параметр  $\gamma$  в этом случае определяется при следующих значениях конструктивных параметров:  $h_1 = h_3 = 1$  мм;  $h_2 = 18$  мм;  $\alpha_2 = 18$ ;  $\alpha_3 = 1$ ;  $\alpha_{21} = 9,5$ ;  $\alpha_{31} = 19$ ;  $E_1 = 2,1 \cdot 10^7$  Н/см<sup>2</sup>;  $E_{2\text{дин}} = 100$  Н/см<sup>2</sup>. В результате получим значение  $\gamma = 2,2 \cdot 10^3$ . При значении  $\gamma = 2,2 \cdot 10^3$  величина коэффициента потерь  $\eta_{\max} = 0,95\eta^2$  и соответствующее значение динамического модуля сдвига оказывается равным  $G_2 = f_{\text{опт}} \pi \sqrt{12} h_2 \sqrt{E_1 \rho_1} / \sqrt{1+\gamma} = 3 \cdot 10^5 f_{\text{опт}}$  дин/см<sup>2</sup>, где  $\rho_1 = 7,8$  г/см<sup>3</sup>. При  $f_{\text{опт}} = 10^3$  Гц величина  $G_2$  модуля сдвига резины составит  $G_2 = 3 \cdot 10^8$  дин/см<sup>2</sup> =  $3 \cdot 10^3$  Н/см<sup>2</sup> =  $3 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>.

Расчетным параметрам, обеспечивающим максимум потерь энергии в высокочастотной области, соответствует пористая резина марки 1002 со статическим модулем упругости  $E_2 = 30$  Н/см<sup>2</sup> и коэффициентом потерь  $\eta = 0,6$ .

При применении пористой резины на основе марки 1002 коэффициент потерь демпфированной конструкции составит  $\eta_2^* = 0,95\eta = 0,57$ . Считая средний коэффициент потерь пропорциональным площади задемфированной поверхности пил, которая составляет  $S_{\text{демф}}/S \approx 0,1$ , найдем окончательно расчетное значение коэффициента потерь  $\eta_{1\text{расч}}^* = 0,1\eta_2^* \approx 0,06$ .

Эффективность применения вибродемпфированной установки пил может быть оценена по формуле  $\Delta L = 10 \frac{\eta_{13}^* (2\eta_{13}^* + \eta_1^*)}{\eta_{13}^* (2\eta_{13}^* + \eta_1^*)}$ , где  $\eta_{13}^*, \eta_1^*$  - коэффициенты излучения и потерь после введения конструктивных изменений. Рассматривая пилу как излучатель первого рода, т.е. как точечный; для данного конструктивного варианта получим значение  $\eta_{13}^* \approx \eta_{31}^* = 10^{-3}$ , т.е.  $\eta_1^* = 0,06 \gg \eta_{13}^*$ , поэтому  $\Delta L = 10\eta_1^* / \eta_1^* = 7,5$  дБ. В случае дополнительной капсуляции рабочей камеры за счет уменьшения относительной величины щелей с 10 до 5% возможно получение дополнительного эффекта, в результате чего общая эффективность рассмотренных мероприятий составит  $\Delta L = 10$  дБ.

Таким образом, выполненный анализ показал, что при замене жестких однослойных между-пильных прокладок на двухслойные с внешним демпфирующим элементом из пористой резины с толщиной кольца 2,5-3 см эффект снижения шума составляет около 7 дБ, а при дополнительной капсуляции пильного цилиндра за счет уменьшения щелей в зоне расположения рабочей камеры эффективность может быть увеличена до 10 дБ (при 95% экранизации), что обеспечивает решение задачи шумоглушения хлопкоочистительных машин.

Список используемых источников:

1. Поболь О.Н., Сулов Г.В., Фирсов Г.И. Проблемы акустического проектирования и конструктивно-технологические методы снижения акустической активности машин текстильной и легкой промышленности // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. - С.157-162.
2. Поболь О.Н. Основы акустической экологии и шумозащита машин. - М.: ЗАО «Информ-Знание», 2002. - 272 с.
3. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Проблемы системного подхода к решению задач экологии технических объектов // Вестник научно-технического развития. – 2013. - № 12(76). - С.20-34.
4. Поболь О.Н., Сулов Г.В., Фирсов Г.И. Исследование источников акустического излучения в прядильных машинах // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. - С.95-99.
5. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Исследование и моделирование процессов возбуждения и излучения акустической энергии в ременной передаче крутильных и прядильных машин // Инновационные

- технологии в машиностроении. Сборник трудов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – С. 329-336.
6. Поболь О.Н., Суслов Г.В., Фирсов Г.И. Моделирование и исследование процессов звукоизлучения в динамической системе веретенного узла прядильных машин // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. - С.14-18.
  7. Добрынин С.А., Лазарко В.А., Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Моделирование вибрационных полей в несущей системе ткацкого станка // Моделирование задач машиноведения на ЭВМ. - М.: Наука, 1976. - С.114-121.
  8. Меркин И.Б., Соловьев Н.Д., Хохлов И.И. Линтерование хлопковых семян. М.: Гизлегпром, 1963. - 271 с.
  9. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Оценка шумовых характеристик машин в цеховых условиях (на примере текстильной и легкой промышленности) // Вестник научно-технического развития. - № 12(40). - 2010. - С.12-20.
  10. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Решение задач акустики текстильных машин на основе баланса акустической энергии // Вестник научно-технического развития. – 2018. - № 11 (135). - С.39-48.
  11. Никифоров А.С. Вибропоглощение на судах. - Л.: Судостроение, 1979. - 184 стр.
  12. Гуляев В.А., Наумкина Н.И., Палей М.И. и др. Конструкционные слоеные материалы с высокими потерями // Колебания, излучение и демпфирование упругих структур. - М.: Наука, 1973. - С. 45-48.

#### ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ-РАЗОГРЕВА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЗАГУСТЕВШИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В РЕГИОНАХ С ХОЛОДНЫМ КЛИМАТОМ

*М.И. Кареев, В.Г. Немтин, к.э.н., проф, Д.Ю. Усов, к.э.н.*

*ФГКВООУ ВО «Военная орденов Кутузова и Ленина академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации  
191123, г. Санкт-Петербург ул. Захарьевская 39, тел. 89378322659*

*E-mail: m.kareev@mail.ru*

**Аннотация:** При транспортировке темных продуктов в регионах с холодным климатом возникают серьезные проблемы, связанные с их приемом и отгрузкой. Для решения данных проблем производят подогрев данных нефтепродуктов. Существующие способы обладают существенными недостатками, которые приводят к превышению нормативных сроков разгрузки цистерн и неполному сливу из них нефтепродуктов. В данной статье рассматривается возможность применения СВЧ-технологии разогрева вязких загустевших нефтепродуктов в железнодорожных цистернах в регионах с холодным климатом.

**Abstract:** When transporting dark products in regions with a cold climate, serious problems arise related to their reception and shipment. To solve these problems, these oil products are heated. Existing methods have significant drawbacks that lead to exceeding the regulatory deadlines for unloading tanks and incomplete discharge of oil products from them. This article discusses the possibility of applying microwave technology for heating viscous thickened oil products in railway tanks in regions with a cold climate.

**Ключевые слова:** СВЧ-разогрев, вязкие нефтепродукты, железнодорожная цистерна, транспортировка, холодный климат.

**Keywords:** microwave heating, viscous petroleum products, railway tank, transportation, cold climate.

Необходимо констатировать, что на данном этапе развития нефтяной промышленности большой объем добываемой нефти, характеризуется высокой вязкостью при обычных температурах. Основной причиной данного факта является высокое содержание парафина в нефти. Высоковязкие нефтепродукты в процессе транспортирования вызывают значительные трудности. Основной способ их транспортирования – перевозка в специализированных железнодорожных цистернах. Прием и отгрузка застывающих нефтепродуктов подразумевают проведение обязательного подогрева. Выполнение данной технологической операции способствует повышению их текучести и снижению возникающего гидравлического сопротивления. Благодаря технологической операции разогрева темные нефтепродукты могут отпускатся круглый год вне зависимости от погодных и климатических условий.

Применяемые в настоящее время методы разогрева вязких нефтепродуктов обладают большим количеством конструктивных и технологических несовершенств, которые приводят к превышению нормативных сроков разгрузки цистерн и неполному сливу из них нефтепродуктов.

Для того, чтобы устранить выявленные недостатки существующих способов подогрева необходим поиск и развитие альтернативных технологий. Наиболее перспективным методом разогрева загустевших нефтепродуктов в регионах с холодным климатом представляется СВЧ-технология.

Данная технология подогрева загустевших продуктов заключается в их разогреве под воздействием электромагнитного поля. Разогрев нефтепродуктов производится благодаря направленному электромагнитному излучению сверхвысокой частоты, диапазон которого составляет 400-3000 МГц.

В состав устройства для СВЧ-разогрева темных нефтепродуктов входят: генератор СВЧ колебаний 1, который соединен при помощи передающей линии 2 с излучателем 3. На горловине 4 емкости 5 установлен электромагнитный экран 6, в окне 7 которого размещена передающая линия 2, представляющая собой металлический волновод. Излучатель 3 представляет собой направленную антенну, установленную под наклоном к поверхности продукта 8. Данное конструктивное исполнение способствует увеличению технологических возможностей в процессе осуществления бесконтактного разогрева густых нефтепродуктов.

Данная технология демонстрирует высокую эффективность благодаря целому ряду достоинств. Одно из них заключается в многократном уменьшении длины волны СВЧ-колебаний, диапазон которых составляет 400–3000 МГц, в сравнении с линейными размерами цистерны, благодаря чему электромагнитное излучение направляется непосредственно в массу продукта, а то, в свою очередь, приводит к его разогреву. Еще одно достоинство данной технологии заключается в отсутствии контакта между излучателем, помещенным в горловину цистерны, и самим нефтепродуктом.

Анализируя свойства нефтепродуктов, необходимо отметить, что их низкая теплопроводность ни коим образом не препятствует разогреву, а наоборот, оказывает только положительное воздействие. Это можно объяснить тем, что в процессе разогрева излучаемые колебания, проходящие через продукт множество раз, полностью направляются на подогреваемый продукт, так как они практически без потерь отражаются от металлического корпуса цистерны. Помимо этого, потери СВЧ-энергии, расходуемые на излучение в окружающую среду незначительны, так как корпус цистерны практически не нагревается.

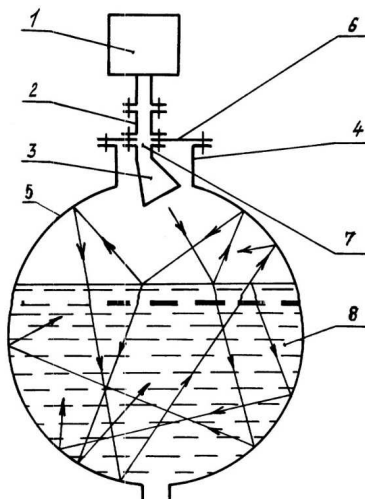


Рис. 1. Устройство для СВЧ-разогрева вязких нефтепродуктов

1 – генератор СВЧ колебаний; 2 – передающая линия; 3 – излучатель;  
4 – горловина; 5 – емкость; 6 – электромагнитный экран; 7 – окно; 8 – нефтепродукт

Высокочастотное электромагнитное поле вызывает разогрев вещества, который осуществляется благодаря энергии межмолекулярного трения. Эффективность, с которой преобразуется электромагнитная энергия в тепловую зависит от частоты колебаний, диэлектрической проницаемости, а также от диэлектрических потерь разогреваемого вещества. При оптимальном регулировании диэлектрических потерь в вязком продукте можно добиться такого результата, при котором до 90% электромагнитной энергии преобразовывалось в тепловую.



Применение технологии СВЧ-разогрева приведет к повышению технико-экономической эффективности процесса слива высоковязких нефтепродуктов из транспортных цистерн. Достоинствами данной технологии являются сокращение выбросов в атмосферу, а также практически полная ликвидация вредных промышленных стоков, благодаря чему пропадает необходимость в строительстве и содержании очистных сооружений.

Список используемых источников:

1. Абузова Ф.Ф., Бронштейн И.С., Новоселов В.Ф. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении. – М.: Недра, 1981. – 248 с.
2. Хасанов М.Р., Мастобаев Б.Н. Подогрев вязких нефтепродуктов при их транспортировке и хранении // I Всероссийская научно-практическая конференция «История науки и техники 2000». Тез. докл. – Уфа, 2000. – 70 с.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАБИНЫ ЛИТЕЙНОГО МОСТОВОГО КРАНА НА СТАДИИ ЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*В.В. Масленский, аспирант, Ю.И. Булыгин, д.т.н., проф.*

*Донской государственный технический университет*

*344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

*E-mail: victor.maslensky@yandex.ru*

**Аннотация:** Представлена методика расчета основных параметров климатической системы кабины литейного мостового крана, определяющих ее работоспособность, а именно расхода приточного воздуха и холодопроизводительности. Климатическая система, выбранная в соответствии с рассчитанными параметрами, будет являться высокоэффективной, что подтверждается результатами компьютерного моделирования в автоматизированном программном комплексе ANSYS.

**Abstract:** The paper presents a method for calculating the main parameters of the climate system of the casting bridge crane cabin that determine its performance, namely, the flow rate of supply air and cooling capacity. The climate system selected in accordance with the calculated parameters will be highly efficient, which is confirmed by the results of computer modeling in the automated ANSYS software package.

**Ключевые слова:** литейный мостовой кран, климатическая система, расход приточного воздуха, холодопроизводительность.

**Keywords:** foundry bridge crane, climate system, supply air consumption, cooling capacity.

Введение. Современные литейные цехи отличаются ростом уровней тепловых облучений, особенно учитывая тенденцию увеличения мощностей излучений. Состояние работников, занятых в подобных условиях, будет характеризоваться снижением физической работоспособности до 55 %, возникновением простудных и уже спустя год работы профессиональных заболеваний сердечно-сосудистой системы [1, 2]. Данный факт служит причиной для предъявления повышенных требований к проектируемым средствам тепловой защиты на рабочих местах, например, к климатическим системам.

Целью исследования явилось определение оптимальных параметров климатической системы кабины литейного мостового крана на стадии ее проектирования.

Задачи:

1. Рассчитать климатическую систему для кабины мостового крана в литейном цехе, используя данные, полученные при помощи метода построения эпюр теплового облучения и автоматизированного программного комплекса ANSYS.
2. Оценить эффективность работы климатической системы.

Научной новизной данного исследования послужило использование метода построения эпюр теплового облучения и автоматизированного программного комплекса ANSYS для определения интенсивности теплового облучения и температуры, необходимых для расчета теплового баланса и параметров климатической системы кабины литейного мостового крана.

Расчет климатической системы для кабины мостового крана в литейном цехе. Одним из основных параметров, влияющих на работоспособность климатической системы, является расход приточного воздуха, требуемого для снижения температуры внутри кабины до допустимых значений [3, 4]:

$$L = \frac{Q_{\Sigma}}{c_p \cdot \rho_{np} (t_{вн} - t_{пр})}, \quad (1)$$

где  $Q_{\Sigma}$  – суммарный приток тепла в кабину, Вт;  $c_p$  – удельная теплоемкость воздуха ( $c_p = 1,01$  кДж/(кг·°C));  $\rho_{np}$  – плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $t_{вн}$  – температура внутри кабины, °C;  $t_{пр}$  – температура приточного воздуха, °C, принимаемая равной на 3-5 °C ниже  $t_{вн}$  для предупреждения возникновения простудных заболеваний.

Суммарный приток тепла в кабину включает в себя наиболее значимые в тепловом балансе притоки тепла:

- сквозь  $n$  ограждающих поверхностей:

$$Q_1 = (t_{сн} - t_{вн}) \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i, \quad (2)$$

где  $t_{сн}$  – температура снаружи кабины, °C;  $K_i$  – коэффициент теплопередачи  $i$ -й ограждающей поверхности;  $F_i$  – площадь  $i$ -й ограждающей поверхности, м<sup>2</sup>.

от источников теплового излучения в литейном цехе:

$$Q_2 = \frac{A_k \cdot E \cdot K_n \cdot F_n}{\alpha_n} + E \cdot K_{ок} \cdot F_{ок}, \quad (3)$$

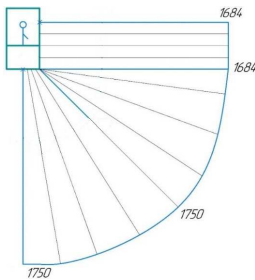


Рис. 1. Эпюра теплового облучения кабины литейного мостового крана

где  $A_k$  – коэффициент поглощения теплового излучения полом кабины ( $A_k = 0,5$ );  $E$  – интенсивность теплового облучения кабины, Вт;  $K_n$  – коэффициент теплопередачи пола, Вт/(м<sup>2</sup>·K);  $K_{ок}$  – коэффициент пропускания теплового излучения стеклами ( $K_{ок} = 0,56$ );  $F_n$  и  $F_{ок}$  – площади пола и окон на боковой стенке, м<sup>2</sup>;  $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи от воздуха к наружной поверхности.

Интенсивность теплового облучения  $E$ , Вт/м<sup>2</sup>, и температура снаружи кабины  $t_{сн}$ , °C, были определены путем моделирования с применением метода построения эпюр теплового облучения и автоматизированного программного комплекса ANSYS, результаты которого представлены на рисунках 1 и 2.

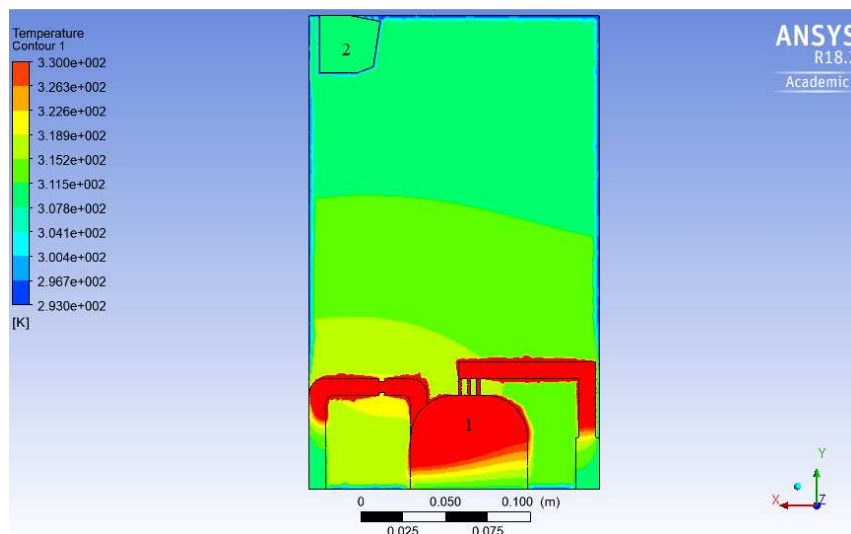


Рис. 2. Распределение полей температур в литейном цехе:  
1 – электросталеплавильная печь ДСП-150; 2 – кабина литейного мостового крана

Другим параметром, необходимым для выбора климатической системы, является холодопроизводительность:

$$Q_0 = \rho_{\text{пр}} \cdot L(I_{\text{сн}} - I_{\text{пр}}), \quad (4)$$

где  $I_{\text{сн}}$  и  $I_{\text{пр}}$  – энтальпия воздуха снаружи кабины и приточного воздуха, кДж/кг.

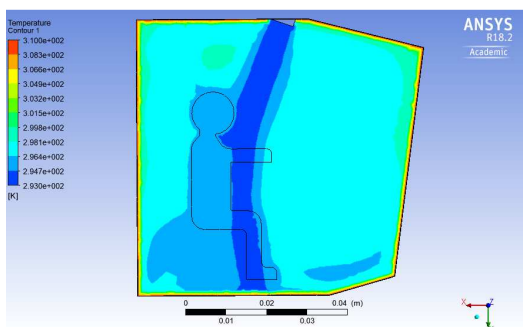
Воспользовавшись формулами (1), (2), (3) и (4) и данными рисунков 1 и 2, были получены значения параметров климатической системы кабины мостового крана в литейном цехе, вносящих основной вклад в ее работоспособность (таблица 1).

Таблица 1

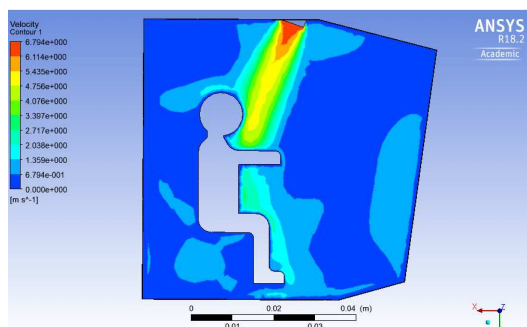
Результаты расчетов параметров климатической системы кабины литейного мостового крана

№п/п	Параметр	Значение параметра
1	Суммарный приток тепла в кабину, Вт	3181
2	Расход приточного воздуха в кабину, м3/ч	656
3	Холодопроизводительность, кВт	3,6

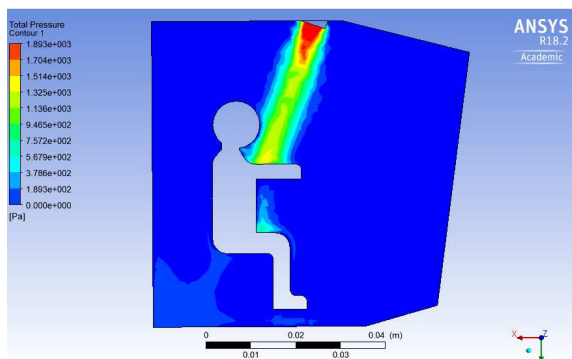
Оценка эффективности работы климатической системы. Основным критерием оценки эффективности работы климатической системы с учетом рассчитанных параметров являлось достижение температуры внутри кабины, равной + 24 °С, подвижности воздуха – не более 1,5 м/с, и давления – от 50 до 200 Па для предупреждения попадания в кабину запыленного и загазованного воздуха [5]. Результаты оценки представлены на рисунках 3, 4 и 5.



*Рис. 3. Профиль температуры воздуха в кабине мостового крана при работающей климатической системе*



*Рис. 4. Профиль подвижности воздуха в кабине мостового крана при работающей климатической системе*



*Рис. 5. Профиль давления в кабине мостового крана при работающей климатической системе*

Оценка эффективности работы климатической системы показала положительные результаты: температура на рабочем месте составила 296-298 К (23-25 °С); подвижность воздуха – 0,68-1,36 м/с; давление – 189 Па.

Список используемых источников:

1. Масленский В.В., Булыгин Ю.И., Щекина Е.В. Прогнозирование профессионального риска ущерба здоровью работающих в контакте с ведущими вредными факторами литейного производства // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – С. 305–309.
2. Масленский В.В., Булыгин Ю.И. Установление класса условий труда оператора литейного мостового крана за счет моделирования полей теплового облучения и температуры // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 176–179.
3. Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Масленский В.В. Расчет и выбор климатической системы для кабины зерноуборочного комбайна TORUM // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ-Принт, 2019. – С. 653–657.
4. Meskhi B.Ch., Bulygin Y.I., Shchekina E.V., Maslensky V.V. Elements of the normalization system of microclimate in the cabin of grain mandy combine TORUM // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – №. 403. – С. 012089.
5. Булыгин Ю.И., Щекина Е.В., Масленский В.В. Разработка элементов системы нормализации микроклимата в кабине зерноуборочного комбайна TORUM // Безопасность техногенных и природных систем. – 2019. – № 2. – С. 2–12.

#### РАЗРАБОТКА ОГНЕСТОЙКИХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ НАНОПОРОШКОМ ЖЕЛЕЗА И БОРНОЙ КИСЛОТОЙ

*О.Б. Назаренко, д.т.н., профессор, Д.С. Липчанский, аспирант*

*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск пр. Ленина 30*

*E-mail: Lipuchka18@mail.ru*

**Аннотация:** В докладе представлены результаты термогравиметрического анализа композитов на основе эпоксидной смолы, отвержденных с помощью полиэтиленполиамиона и содержащих в качестве наполнителей нанопорошок железа и порошок борной кислоты. Концентрация нанопорошка железа в эпоксидных композитах составляла от 2 до 15 %, борной кислоты – 10 %. Образцы нагревались до 900 °С в атмосфере воздуха. Исследование показало, что комбинация нанопорошка железа с порошком борной кислотой лучше всего замедляет процесс термоокислительной деструкции.

**Abstract:** The report presents the results thermogravimetric analysis composites epoxy resin based, cured with polyethylene polyamine and containing as fillers nanopowder of iron and boric acid. The concentration of iron nanopowder in epoxy composites ranged from 2 to 15%, boric acid - 10%. The samples were heated to 900 °C in the air atmosphere. The study showed that the combination of iron nanopowder with boric acid best slows down the process of thermal oxidative degradation.

**Ключевые слова:** Полимер, наполнитель, композит, эпоксидная смола, нанопорошок железа, термическая стабильность.

**Keyword:** Polymer, filler, composite, epoxy resin, iron nanopowders, thermal stability.

С каждым годом объемы производства, масштабы потребления и области применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) растут. Об этом свидетельствуют данные мирового рынка полимерных материалов. Так за 2011 год объем мирового рынка полимерных материалов составлял приблизительно 13 млн. тонн [1].

Китай (29 %), США (21 %) и Европейский Союз (15 %) являются основными производителями композитов. Статистика мирового потребления полимерных материалов и изделий на их основе показывает, что объем сосредоточен почти во всех отраслях промышленности [1]. На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы, на которых показаны области применения и объем мирового потребления ПКМ и изделий из них за 2010 и за 2019 года, соответственно.

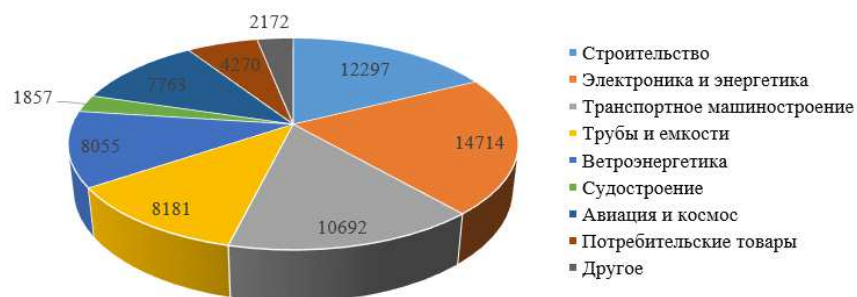


Рис. 1. Области применения и объем мирового потребления ПКМ и изделий из них за 2010 год

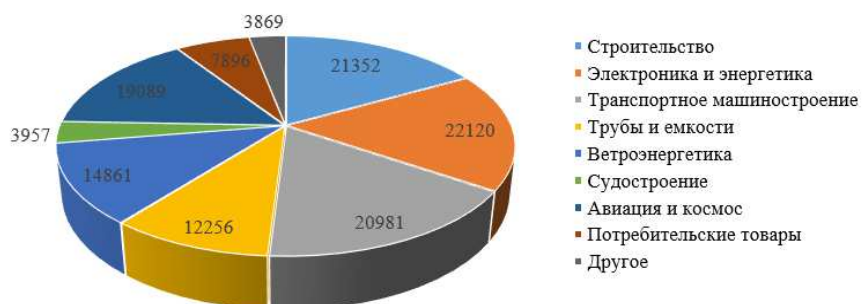


Рис. 2. Области применения и объем мирового потребления ПКМ и изделий из них за 2019 год

Традиционные материалы, такие как сталь, металл, железобетон и некоторые другие материалы, вытесняются из традиционных сфер их применения (строительство, транспортное машиностроение, авиастроение и т. д.) из-за высокого спроса на полимерные композиционные материалы. Причина заключается в том, что путем подбора состава и свойств компонентов можно, в зависимости от назначения, получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиционные материалы с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами, при этом сочетать в себе невысокую стоимость [2].

Для создания ПКМ используют различные связующие полимеры. На сегодняшний день существует два больших класса: термореактивные и термопластичные полимеры. Каждый класс имеет как положительные, так и отрицательные свойства [3]. Однако, наиболее распространенным связующим стала эпоксидная смола, которая относится к термореактивным полимерам. Такую известность эпоксидная смола получила благодаря таким характеристикам как механическая прочность, стойкость к истиранию, прочность при изгибе, высокая клеящая способность, высокая адгезия, легкость, невысокая цена и др. [4]. Можно отметить, что эпоксидная смола была впервые получена более 80 лет назад, но все еще остается одним из важнейших видов синтетических смол, используемых не только в промышленности, но и быту.

Однако обладая комплексом положительных свойств, полимеры имеют при этом недостатки, одним из них является повышенная горючесть и низкая термостойкость. При горении и тлении ПКМ образуется густой дым, выделяются токсичные газы, которые значительно увеличивают опасность при пожарах. Для современного материаловедения встала задача разработать и внедрить в производство эпоксидные композиционные материалы с пониженным уровнем пожарной опасности. Поскольку достичь полного исключения процесса горения органических полимеров невозможно, то, в свою очередь, важно снизить уровень горючести эпоксидных материалов, замедлить воспламеняемость, распространение пламени и т. д. [5].

Одним из способов направленного регулирования свойств полимеров является использование наполнителей, обладающих пламягасящими свойствами. Многие традиционные антипирены при горении способствуют образованию высокотоксичных веществ, что ограничивает их использование. Данную проблему могут решить наполнители в нанодисперсном состоянии [6-7]. В последнее время в качестве наполнителей стали использовать нанопорошки (НП) металлов. Наполнители в нанодисперсном состоянии улучшают термические, диэлектрические и механические свойства при добавле-

нии всего нескольких процентов от массы. С другой стороны, добавление некоторых видов наполнителей в полимеры способствует протеканию деструкционных процессов в материалах [8]. Поэтому актуальным является поиск и разработка экологически безопасных антипиренов, применение которых способствовало бы оптимизации комплекса характеристик полимерных композитов.

Целью данной работы является исследование термической стойкости эпоксидных композитов с наполнителями, в качестве которых использовали НП железа, полученный с помощью электрического взрыва железного проводника, а также комбинация НП железа с порошком борной кислоты. Наполнители вводились в эпоксидную смолу в различных процентных концентрациях.

Изучение термических характеристик эпоксидных композитов проводилось методом термогравиметрического (ТГ) анализа с помощью термоанализатора STA 449C Jupiter. Измерения проводили в интервале от 40 °С до 900 °С, со скоростью нагрева – 10 град./мин в атмосфере воздуха.

Метод термического анализа используется для оценки пожароопасных характеристик строительных материалов (теплофизических и термохимических характеристик процесса разложения) [9] и обладает такими достоинствами как получение одним методом нескольких пожароопасных характеристик материала, быстрое получение информативных сведений о свойствах материалов при нагревании, воспроизводимость и точность полученных результатов.

Основным материалов для создания композитов выступала эпоксидиановая смола марки ЭД-20, отвержденная с помощью полиэтиленполиамиона (ПЭПА). Для данной работы были изготовлены следующие образцы: E0 – эпоксидная смола, отвержденная без наполнителя, E/Fe2 – образец с концентрацией НП железа 2 мас. %, E/Fe5 – образец с концентрацией НП железа 5 мас.%, E/Fe10 – образец с концентрацией НП железа 10 мас. %, E/Fe15 – образец с концентрацией НП железа 15 мас. %, E/Fe5/B10 – образец с комбинацией 5 мас.% НП железа и 10 мас.% борной кислоты.

В таблице 1 и на рисунке 1 представлены результаты ТГ анализа образцов в атмосфере воздуха. В таблице 1 представлены значения  $T_5$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{50}$ ,  $T_{90}$  – это температуры, при которых потеря массы составила 5, 10, 50, 90 %.

Таблица 1

Термические характеристики эпоксидных композитов					
Образец	$T_5$ , °С	$T_{10}$ , °С	$T_{50}$ , °С	$T_{90}$ , °С	Остаток при 600 °С, %
E0	267,5	283,4	419,3	538,6	0,3
E/Fe2	267	281,9	420,1	531,7	0,1
E/Fe5	284,1	286,2	431,8	537,8	4,2
E/Fe10	263,2	278,5	431,2	590,2	10,1
E/Fe15	262,5	282,6	437,9	-	17,7
E/Fe5/B10	260,4	292,2	488,9	-	20,6

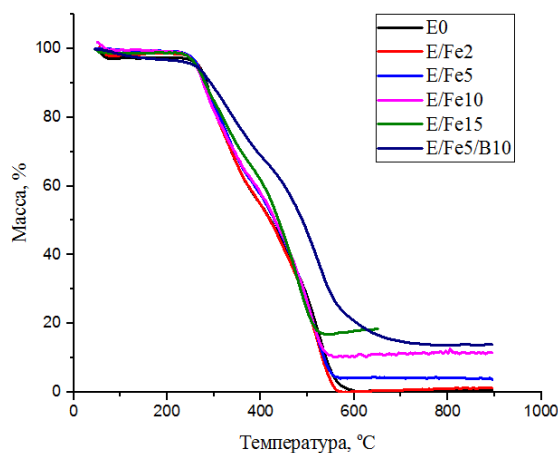


Рис. 1. Термогравиметрический анализ образцов

Согласно полученным данным, начальная температура разложения образцов при нагревании  $T_5$  была разной и зависела от процентного содержания наполнителя. Так, температура  $T_5$  для образца

(E0) незаполненного наполнителями составила 267,5 °С. Остальные значения  $T_5$  были разными, некоторые образцы ухудшали показатели, некоторые оставались на том же уровне, что и E0, но образец E/Fe5 показал увеличение температуры. По мере увеличения концентрации НП железа в эпоксидной смоле, происходили незначительные изменения в  $T_{10}$ . Значение  $T_{50}$  и  $T_{90}$ , а также остаточная масса при температуре 600 °С образцов E/Fe10 и E/Fe15 повысилась по сравнению с образцом E0. Образец E/Fe15 показал лучший результат по сравнению с другими образцами, заполненные НП железа. Наилучший результат был достигнут в образце E/Fe5/B10. На рисунке 1 и по данным таблицы 1 видно, что разрушение образца E/Fe5/B10 происходит более плавно по сравнению с другими образцами. Это объясняется тем, что борная кислота содержит кристаллизационную воду, которая при нагревании образцов высвобождается в эндотермическом процессе, что способствует разбавлению газообразных продуктов деструкции и снижает температуру полимера.

Таким образом, исследование показало, что НП железа начинает влиять на термическую стабильность эпоксидных композитов в процессе термоокислительной деструкции, если его концентрация будет составлять 5% и выше от массы полимера. Однако, НП железа становится более эффективным, если его комбинировать с замедлителями горения, например, с борной кислотой.

Список используемых источников:

1. Каблов Е.Н. Композиты сегодня и завтра. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://viam.ru/news/2108>.
2. Современные полимерные материалы: учебное пособие / М. В. Шишенок – Минск: Высшая школа, 2017. – 278 с.: ил., [4] л. цв. л.
3. Алентьев А.Ю., Яблокова М.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов [Текст]: учебное пособие / А.Ю. Алентьев, М.Ю. Яблокова. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010. – 69 с.
4. Мостовой А.С., Плакунова Е.В., Панова Л.Г. Модифицированные эпоксидные смолы как перспективные связующие полимерных композиционных материалов. Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2011, № 2, с. 34 - 37.
5. Берлин Ал. Ал. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 57–63.
6. Новиков Л.С., Воронина Е.Н. Перспективы применения наноматериалов в космической технике. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2008. – 188 с.
7. Ястребинский Р.Н., Соколенко И.В., Иваницкий Д.А., Матюхин П.В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-6. – С. 983–986.
8. Милинчук В.К., Клишпонт Э.Р., Тупиков В.И. Основы радиационной стойкости органических материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 256 с.
9. Молчадский О.И. Применение методов термического анализа для оценки пожарно-технических характеристик строительных материалов // Пожарная безопасность. – 2001. – № 4. – С. 31–36.

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗА КАПЛЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ЕЕ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

*А.С. Наумкин, асп., Д.Ю. Мальшев, асп., Б.В. Борисов, к.ф.-м.н, проф.*

*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск, пр. Ленина 30, (3822) 56-37-87*

*E-mail: alexnaumsorg93@mail.ru*

**Аннотация:** В данной статье приведены результаты физических экспериментов при помещении капли промышленных отходов в поток воздуха с высокой температурой. Промышленные отходы рассматриваются как водо-этиловый раствор. Регистрация температуры произведена вдоль потока воздуха до и после капли на равноудаленном расстоянии. Получено изменение относительной температуры от времени за каплей раствора вдоль поступающего потока горячей газовой среды.

**Abstract:** This article presents the results of physical experiments when placing industrial solution drop in the high temperature air stream. Industrial solution was considered as water methanol solution. The temperature was recorded along the airflow before and after the drop at an equidistant distance. The change in relative temperature as a function of time per drop of solution along the oncoming flow of a hot gas medium is obtained.

**Ключевые слова:** утилизация, отходы, органические отходы, температурное поле

**Keyword:** influence, solution, organic solution, temperature field

В промышленном секторе охрана окружающей является важной частью основного производственного процесса. В последние пятилетие зафиксировано увеличение прироста образования отходов в связи с ростом промышленного производства. Поэтому, увеличение эффективности утилизации отходов является актуальной задачей.

Термические, химические, биологические, физико-химические методы и их комбинации используют при утилизации и обезвреживания отходов разных сфер и секторов промышленного производства и обработки [1,2]. Например, подготовка сырого природного газа к характеристикам, соответствующим ГОСТу топливного газа влечет к образованию водо-органических жидких отходов [3,4].

Уже разработаны математическая модель термического обезвреживания водо-спиртового раствора в факеле [5] и испарения чистой воды [6]. Влияния потока высокотемпературного газа в виде воздуха на процесс сжигания капель водо-этилового раствора позволит внести корректировки, в уравнения, которые описывают протекающие процессы, что повысит качества модели. Для решения этой задачи проведен ряд физических экспериментов. Эксперименты проводились с водо-этиловым раствором объёмной долей спирта в растворе 10%.

Установка, собранная специально для проведения опытов, состоит из: вентилятор высокого давления AIRPACK 119.358, воздухонагреватель LHS 61L Premium мощностью 16 кВт, печь Новатерм RT1145.1200 мощностью 14 кВт, кварцевая трубка внутренним диаметром 95мм, термоэлектрические преобразователи (ТП) ДТПК031-0,5/0,2/1, устройство для измерения и контроля температуры УКТ38 и персональный компьютер.

Воздух нагнетается вентилятором и нагревается до необходимой температуры сначала в воздухонагревателе, а затем в печи. После этого воздух поступает в кварцевую трубу с скоростью 4,23 м/с. Капля раствора помещалась в кварцевую трубу на тонкой проволоке, которая прочно фиксировалась к координатному механизму. Координатный механизм с постоянной скоростью 15 мм/с перемещал каплю на осевую линию кварцевой трубы.

Электрические сигналы с термоэлектрических преобразователей поступали в устройство для измерения и контроля температуры УКТ38 для их дальнейшей обработки. На персональный компьютер данные поступали через интерфейс связи RS-232. В программном комплексе LabVIEW производилась обработка температурных характеристик для дальнейшего проведения анализа.

Принципиальная схема установки представлена на рисунке 1.

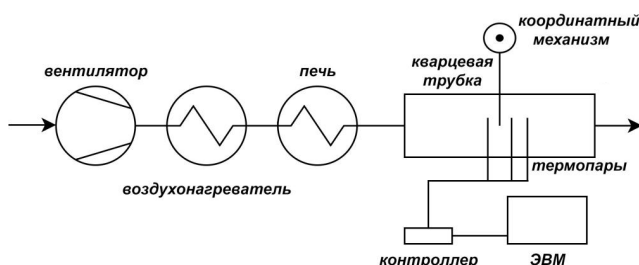


Рис. 1. Схема установки

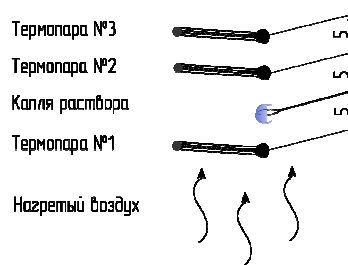


Рис. 2. Схема расположения термодатчиков

Для снижения времени опрашивания контролером температуры решено производить регистрацию температуры в трех точках. Расположены они на линии вдоль потока воздуха через 5 мм, одна до капли, две другие после нее, согласно рисунку 2.

На рисунке 3 представлено значение относительного изменения температур в точках расположения термодатчиков, при температуре нагнетаемого воздуха 500°C и 600 °С.

Необходимо отметить, что изменение температуры в точке соответствующее расположению первой термодатчики не зафиксировано. Согласно результатам физических экспериментов, при температуре поступающего воздуха 500°C, наблюдалось большее отклонение на термодатчике №2 относительной температуры, чем при температуре воздуха 600°C. Нагрев конструкции для фиксации капли раствора влияет на дальнейшее значение относительной температуры в точке после испарения капли, чем объясняется пологий возврат значения температуры на термоэлектроде термодатчики №3.



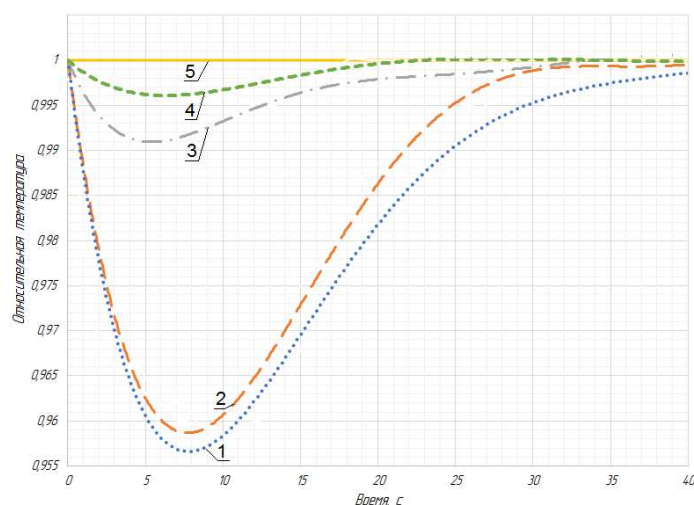


Рис. 3. Относительная температура в точке при помещении капли в поток воздуха с температурой: 1-ТПН№2 при  $t=500^{\circ}\text{C}$ ; 2 - ТПН№2 при  $t=600^{\circ}\text{C}$ ; 3 - ТПН№3 при  $t=600^{\circ}\text{C}$ ; 4 - ТПН№3 при  $t=500^{\circ}\text{C}$ ; 5 - ТПН№1 при  $t=500^{\circ}\text{C}$  и  $t=600^{\circ}\text{C}$ .

Данные результаты планируется использовать в предстоящих исследованиях по утилизации органических отходов.

Список используемых источников:

1. Лотош В.Е. Переработка отходов природопользования. – Екатеринбург: Изд-во ПОЛИГРАФИСТ, 2007.– 503 с.
2. Доусон Г., Мерсер Б. Обезвреживание токсичных отходов. – М.: Стройиздат, 1996.-288 с.
3. Дмитриева О.А. Снижение выбросов узла газо-факельного хозяйства ОАО «Газпром Нефтехим Салават» //Научный альманах. – 2017. – №. 2-3. – С. 53-55.
4. Иванов В.П., Дронченко В. А. Утилизация сточных вод с нефтесодержащими отходами эмульгированием и сжиганием //Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №. 4.
5. Naumkin A.S., Borisov B.V., Nigay A.G. Influence of water-methanol solution additives on hydrocarbon fuel combustion in burner //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 194. – С. 01042.
6. Высокоморная О. В., Пискунов М. В., Стрижак П. А.Исследование условий интенсивного испарения неоднородных капель воды в высокотемпературной газовой среде //XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. – 2015. – С. 825-827.

## УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ RISK MANAGEMENT IN THE EDUCATIONAL PROCESS

С.Н. Гладких, к.т.н, доц., О.Н. Виноградова, к.с.х.н

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,  
173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41 тел.8921-729-81-97

E-mail: gl\_svetlana53@mail.ru

**Аннотация:** В работе раскрыта проблема обеспечения безопасности образовательного пространства через реализацию комплекса превентивных мероприятий.

**Annotation:** The paper reveals the problem of ensuring the safety of the educational space through the implementation of a set of preventive measures.

**Ключевые слова:** профессиональные риски, безопасность образовательного пространства, профилактика чрезвычайных ситуаций.

**Keywords:** professional risks, safety of educational space, prevention of emergency situations.

Управление риском стало неотъемлемой административной функцией многих организаций и предприятий.

Новая парадигма образования требует активной компьютеризации учебно-производственных процессов образовательных учреждений всех уровней с внедрением новых инновационных технологий. Внедрение нового в образовательный процесс не означает, что внедрение нового безопасно для здоровья обучающихся. основополагающим принципом политики образовательных учреждений должен стать принцип охраны здоровья и безопасности учебы и труда.

Сохранение жизни и здоровья обучающихся и работников является неотъемлемой частью образовательного процесса и не должно рассматриваться отдельно от него. Приоритетной задачей в области охраны здоровья и безопасности условий учебно-производственного процесса является обеспечение безопасных условий учебы обучающихся и труда работников образовательных учреждений всех уровней [5]. Особенности системы управления риском реализуются в конкретных мероприятиях и включают систему планирования, обеспечения и организации комплекса превентивных мер, необходимых для снижения или устранения неблагоприятного влияния вредных факторов образовательного пространства.

Авторами разработаны научные основы новых принципов, способов и средств предотвращения поражения людей от различных поражающих факторов источников чрезвычайных ситуаций в образовательном пространстве. Это:

1. Принцип резервации (лат. гезег/аге сохранять), основанный на способах сохранения положительных результатов научно-передового опыта работы в области охраны труда предшествующих лет.
2. Принцип консенсуса (лат. Сопзепзиз согласие, единодушие) – общее согласие по спорным вопросам руководителей структурных подразделений, основанное на законодательно-правовых актах, в достижении требований охраны труда и безопасности жизни и здоровья обучающихся и работников образовательного пространства.
3. Принцип консолидации (лат. сопзоПбайоп – укрепление) – упрочение, укрепление, сплочивание людей структурных подразделений для усиления работы по достижению общих целей безопасности жизни и здоровья обучающихся и работников образовательного пространства.
4. Принцип консорциума (лат. сопзошт – соучастие, сотоварищество)-участие всех структур университета в соблюдении требований охраны труда и безопасности жизни и здоровья обучающихся и работников образовательного пространства. Финансовых именно тех структурных подразделений университетского комплекса, где требуются срочные финансовые вложения для достижения общей цели безопасности - сохранения жизни и здоровья обучающихся и работников образовательного пространства.

Самой незащищенной частью населения в драматических событиях последних десятилетий являются дети и подростки, даже находящиеся в стенах учебных заведений [4]. Безопасность жизни обучающихся детей в любом образовательном учреждении является приоритетной задачей Федерального агентства по образованию.

Одной из перспективных составляющих национальной безопасности можно считать концепцию стратегических рисков. Под данными рисками понимаются такие сочетания вероятностей возникновения соответствующих кризисных явлений, процессов, катастрофических ситуаций и их возможных последствий, проявление которых приводит к существенному снижению уровня безопасности государства.

Психофизиологическая ранимость детского населения усугубляется возросшей уязвимостью от воздействий комплекса негативных факторов в различных сферах жизни.

В социальной сфере: духовный кризис; рост социальной напряженности; рост преступности, пьянства, алкоголизма, наркомании; обострение демографической ситуации; возможность кризисных биолого-социо-экологических ситуаций; снижение качества жизни.

Во внутривластной сфере: возрастание угрозы терроризма, возможность внутренних межнациональных и межконфессиональных конфликтов. Во внешнеполитической сфере: антиросийская направленность религиозного экстремизма, возможность возникновения региональных и локальных военных конфликтов, военная угроза со стороны НАТО.

В экономической сфере: нерациональный выбор приоритетов и пропорций экономики, усиление структурной деформации экономики страны и ее товарооборота; криминализация экономики и утечка капитала из страны, снижение производственного потенциала и низкая инвестиционная активность, возможность энергетического кризиса; опасность финансового кризиса.

В научно-технической сфере: снижение научно-технического и инновационного потенциала, снижение патентной активности, низкий уровень финансирования российской науки, технологический и интеллектуальный терроризм.

Наибольшую опасность в природной сфере представляют возникающие чрезвычайные ситуации, обусловленные землетрясениями, наводнениями, селями, ураганами, лесными пожарами, цунами, заморозками, метелями, снежными лавинами, карстовыми процессами [1].

В техногенной сфере - транспортными авариями, радиационными авариями и авариями, связанными с выбросом химически и биологически опасных веществ, взрывами, пожарами, гидродинамическими авариями, авариями на системах коммунально-энергетического хозяйства [6].

Превентивные мероприятия по снижению возможных потерь, ущерба и уменьшению масштабов чрезвычайной ситуации в образовательном учреждении весьма многочисленны и многоплановы. К ним относятся мероприятия архитектурно-планировочного, инженерно-технического, организационного, экономического, социального характера.

Особые требования к качеству учебного процесса и новые инновационные технологии предполагают выработку профессионализма у студентов, как будущих специалистов, владеющих не только профессиональными знаниями, но и культурой безопасного поведения, безопасности жизнедеятельности, психогигиенической культурой [2,3].

Оценка риска рассчитывается по формуле:

$$P=K/T_{\text{пр}},$$

где К - число работающих, чел.;

$T_{\text{пр}}$  - предельно допустимое время пребывания в контакте с вредностью, ч.

Проведенные нами исследования показали, что в университетском комплексе с риском 0,159 работают 33,2% чел. (работа связана с воздействием химических вредных факторов); с риском 0,163 работают 2,7% чел. (работа связана с воздействием физических вредных факторов), с риском 0,166 работают 2,5% чел. (работа связана с воздействием биологических вредных факторов), с риском 0,25 работают 61,6 % чел. (работа связана с воздействием психо-физиологических факторов – напряженности труда).

Управление риском не может рассматриваться как одномоментное решение или действие, даже обоснованное и детально проработанное. Это динамический процесс. Из возможных вариантов решений снижения риска выбирается тот, который обеспечивает максимальный результат безопасности жизни и здоровья.

Основой системы менеджмента охраны здоровья и безопасности учебы и труда образовательных учреждений всех уровней является менеджмент рисков, заключающийся в идентификации опасностей, оценке рисков, определении необходимых мер управления ими и оценке превентивных мероприятий для снижения рисков до допустимого уровня. Для этого нами разработан Стандарт организации.

Вывод: Безопасность образовательного пространства достигается реализацией комплекса превентивных мероприятий чрезвычайных ситуаций, поэтому нужно говорить об императиве комплексной безопасности образовательного пространства на всех уровнях обучения.

Список используемых источников:

1. Акимов, В.А. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике /В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радев; МЧС России. - М.: Деловой экспресс, 2004. - 352 с.
2. Воробьев, Ю.Л. Основы формирования культуры безопасности жизнедеятельности населения /Ю.Л.Воробьева. МЧС России.- М.: Деловой экспресс, 2006,- 316с.
3. Дурнев, Р.А. проект Концепции формирования культуры безопасности жизнедеятельности // Вестник образования. Сборник приказов и инструкций Минобрнауки России, вып. 23, 24, 2005.
4. Ефимов, В.Ф. Организация комплексной безопасности образовательного учреждения./ОБЖ. Основы безопасности жизни. - 2007.- № 10. - С. 42-46.
5. Николаева, Н.И. Безопасность профессионального образовательного пространства. Монография Изд. НовГУ, Великий Новгород, 2008. - 242 с.
6. Стратегические риски России: оценка и прогноз / Ю.Л. Воробьева. МЧС России. - М.: Деловой экспресс, 2005. - 392 с.
7. Р 2.2.1766-03 Руководство. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы принципы и критерии оценки // Бюллетень нормативной и методической документации Госсанэпиднадзора. 2003.

## УСЛОВИЯ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВА, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ГИБЕЛИ И ТРАВМИРОВАНИЮ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

*А.А. Дьячкова, студент, А.Г. Мальчик, к.т.н., доцент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: nastenka.doos@mail.ru,*

**Аннотация:** Пожары ежедневно создают опасность здоровью и жизни людей. Любой пожар сопровождается опасными факторами пожара и им сопутствующими обстоятельствами. Вопросы безопасности остаются актуальными по сей день. В статье рассмотрены интенсивность и степень воздействия различных опасных факторов пожара, а также способы снижения их воздействия на человека.

**Abstract:** Fires daily endanger the health and life of people. Any fire is accompanied by dangerous fire factors and their attendant circumstances. Security issues remain relevant to this day. The article considers the intensity and degree of exposure to various dangerous fire factors, as well as ways to reduce their impact on humans.

**Ключевые слова:** пожар, опасные явления, взрыв оборудования, травмы, гибель, опасные факторы пожара, напряжение, разрушение зданий и сооружений.

**Keywords:** fire, hazardous events, explosion of equipment, injuries, death, fire hazards, voltage, destruction of buildings and structures.

Пожары – являются одними из самых частых и страшных опасных явлений. Огонь способен за короткий промежуток времени нанести серьезный материальный ущерб и даже уничтожить целый населенный пункт.

При любом пожаре возникают обстоятельства, которые, воздействуя на человека, приводят к травмам, отравлению, гибели. Эти обстоятельства являются опасными факторами пожара или сопутствующими проявлениями возникновения этих факторов.

К опасным факторам пожара (далее – ОФП), согласно статьи 9 [1], относятся:

- тепловой поток;
- пониженная концентрация кислорода;
- пламя и искры;
- повышенная концентрация токсичных продуктов горения;
- повышенная температура окружающей среды;
- дым.

Воздействие опасных факторов усиливают обстоятельства им сопутствующие. К ним относятся:

- взрывы, произошедшие в результате повышенной взрывоопасной концентрации токсичных веществ, выделившихся в результате пожара;
- осколки, части разрушившихся зданий и сооружений, а также транспортных средств, технологических установок, оборудования, различных агрегатов, изделий и иного имущества;
- радиоактивные и токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных технологических установок, оборудования, различных агрегатов и иного имущества;
- вынос высоко напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, различных агрегатов и иного имущества;
- воздействие огнетушащих веществ.

Критическими параметрами воздействия на человека являются:

- температура окружающей среды – 70 °С;
- концентрация оксида углерода – выше 0,1%;
- плотность теплового излучения – выше 1,26 кВт/м<sup>2</sup>;
- концентрация диоксида углерода – выше 6%;
- содержание кислорода – менее 17%;
- видимость в дыму – менее 6-12 метров [2].

Интенсивность и степень воздействия на организм человека каждого фактора разная, поэтому рассмотрим более подробно ОФП и сопутствующие им факторы.

Воздух представляет собой смесь газов:

- Азот – 78 %;
- Кислород – 21 %;

- Углекислый газ – 0,0314 %;  
Другие вещества: аргон, неон, криптон, метан, гелий, водород, ксенон – в сумме менее 1 % [2].  
Наиболее ценная часть воздуха – кислород. Он поступает в организм человека через органы дыхания. Попадая в клетки, участвует в процессе окисления (сжигании питательных веществ), вследствие чего выделяется энергия, необходимая для других жизненных процессов.  
Горение – это химический процесс окисления, при котором горючий материал реагирует с кислородом. В результате реакции выделяется тепло, образуются жидкие, твердые, газообразные продукты горения. Доля погибших людей от понижения уровня кислорода среди всех причин гибели составляет примерно 3-4 %.  
Наиболее распространенными отравляющими веществами при возгорании являются:
  - угарный газ (СО), известный также как окись углерода, монооксид углерода. Характеристика: газ без цвета и запаха. Горюч. Ощущается только при наличии примесей. Химическая активность повышается при высокой температуре среды.
  - углекислый газ (СО<sub>2</sub>) или двуокись углерода, углекислота. Характеристика: бесцветный газ, почти без запаха. Не горюч.

Таблица 1

Реакция человеческого организма на изменение в воздухе [3]

СО		СО <sub>2</sub>	
Концентрация в воздухе, %	Физиологическая реакция человека	Концентрация в воздухе, %	Физиологическая реакция человека
0,01	Не наблюдается заметных изменений в течение нескольких часов воздействия.	0,04	Близко к норме. Безвредно.
0,05	Не наблюдается заметных изменений в течение одного часа воздействия.	До 2,5	Не наблюдается заметных изменений.
0,1	Отравление средней тяжести: Появление тошноты, головной боли, головокружения, сухого кашля, повышение артериального давления, появление галлюцинаций.	3	Дыхание ускоряется, становится более глубоким.
		4	Наблюдается учащенный пульс, головная боль, шум в ушах, психическое возбуждение, высокий уровень артериального давления.
0,5	Сильное отравление: потеря сознания через 2-3 вдоха, появление судорог, наступление смерти – менее 3 минут.	8	Появление тахикардии, кожные покровы становятся синюшной окраски. Дыхание поверхностное, учащенное. Смерть.

Доля погибших людей от продуктов горения составляет 77-78 %.

Некоторые вещества на пожаре сгорают (окисляются) полностью, другие частично. Не полностью сгоревшие образуют сложные химические соединения: спирты, альдегиды, кетоны, кислоты и другие. Они способны гореть длительное время. Продукты неполного горения создают ядовитый, едкий дым. Воздух, насыщенный горючими веществами, становится взрывоопасным. Ситуация осложняется наличием высоких температур, которые ускоряют химические процессы.

Жидкие и твердые частицы продуктов горения ограничивают прохождение солнечного света. Большая их концентрация делает невозможной эвакуацию людей из горящих зданий, помещений. Ограничение видимости не позволяет ориентироваться в незнакомом месте. Такая ситуация может сопровождаться паникой. Прямой угрозы жизни людей от ограничения видимости нет, но во время

хаотичного движения толпы они могут погибнуть или покалечиться. Доля погибших людей от психических факторов приблизительно 0,08 % [4].

Пламя непреходящий атрибут любого пожара. Если провести спичкой по шершавой поверхности, материал головки нагревается, начинает активно окисляться, вырабатывая тепло и свет. В сущности, пламя – это раскаленные газы, участвующие в процессе горения. Температура их настолько высока, что может воздействовать, разогревать другие вещества, вовлекая их в процесс. Поэтому пламя способно осваивать большую территорию.

Температура горения зависит от горючего материала. Она может достигать 2000-3000°C [4]. Непродолжительный контакт с пламенем вызывает повреждения тела – ожоги.

Искра – это горящая частичка вещества, она не всегда опасна. Пожар от искры возникает при наличии определенных показателей. Горение от маленькой частички может возникнуть при контакте с легко воспламеняемыми материалами, например, с жидкостями: бензином, ацетоном, спиртом, керосином и т.д. Еще опаснее, если искра попадает в пространство, насыщенное парами, газами. Например, смесь воздуха с парами нефтепродукта взрывоопасна. Она сгорает мгновенно, выделяет большое количество раскаленных газов, создает ударную волну с разрушительной силой.

При крупных пожарах вблизи фронта огня создаются мощные тепловые потоки, здесь находится до 90 % всего выделяемого горением тепла.

Разумеется, температура воздуха вблизи возгораний может достигать величины 100-150°C. Человеческий организм также испытывает перегрев – гипертермию [5]. Из-за перегрева у человека появляются тепловые поражения, характеризующиеся нарушениями нервной системы, желудочно-кишечными, сердечно-сосудистыми синдромами.

Кроме огня и дыма гибель людей во время пожара происходит при действии вторичных факторов, к которым относятся выделяемые при горении ядовитые вещества, удары электрическим током, разрушение сооружений и паника. Такие факторы называют вторичными. Такие факторы называют вторичными.

Быстрому распространению огня способствует высокая температура, воздействующая на горючие вещества и материалы. Этим объясняется снижение прочности строительных конструкций и материалов, что приводит к их повреждению и разрушению. Разрушение строительных конструкций в свою очередь приводит к получению травм людьми и даже их гибели.

Также во время пожара возможно повреждение электропроводки, электрооборудования и других электрических элементов. Воздействие тока на организм человека очень часто приводит к гибели. При этом воздействие тока не обязательно может быть прямым, человек может пострадать от соприкосновения с проводником тока – водой или пенообразующим веществом.

К психологическим воздействиям на человека относится паника, что приводит к снижению готовности человека эвакуироваться во время пожара. Чувства человека затормаживаются, сознание притупляется и появляется хаотичность в движении. Из-за этого происходит скопление людей в местах эвакуационных выходов, что усиливает панику и вызывает давку. Такое поведение становится причиной травмы и даже гибели людей.

Во время пожара при нахождении в местах возгорания взрывоопасных веществ возможен взрыв. Влияние взрыва приводит к разрушению зданий и сооружений, что несет за собой травмирование и даже смерть людей. Среди факторов взрыва выделяют ударную волну, которая отрицательно воздействует на человека и живые организмы на расстоянии. Сильное излучение света вызывает воспламенение и приводит к обугливанию.

Снизить степень воздействия ОФП на человека можно следующими способами:

Предупреждение пожаров. В этом случае должны быть предусмотрены все причины возникновения горения и способы избежать возгорания: применение объемно – планировочных решений, противопожарных преград. Нет пожара – нет ОФП, нет опасности жизни людей, их имуществу.

Создание системы пожарной безопасности: установка приборов пожарной сигнализации, оповещения, противодымной защиты, системы пожаротушения, экранов и перегородок для ограничения площади огня, защиты от тепловых потоков.

Использование средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Немаловажным фактором снижения степени воздействия на людей обстоятельств, приводящих к получению травм и гибели, является своевременное оказание помощи спасателями и пожарными.

Специфика работы пожарных обуславливает необходимость всегда находиться в состоянии боевой готовности, у них всегда под рукой находится каска, защитные резиновые сапоги, электроизолирующие перчатки и пожарная машина со специальной техникой малых габаритов, включая

дымоотсосы, индивидуальные дыхательные аппараты, средства связи, взрывобезопасные осветительные приборы, газоанализаторы, спасательные веревки и многое другое.

В настоящее время пожарные машины оснащены медицинскими приборами – аппаратами искусственного дыхания, дефибрилляторами. Дефибрилляторы (последнего поколения) «запускает» работу сердца при прикладывании аппарата к ее проекции на грудной клетке, а если пульс у пострадавшего определяется, то это означает, что работа сердца продолжается. В таком случае дефибриллятор, приложенный к грудной клетке, «молчит». Пожарные, прошедшие курс медицинской подготовки, свободно владеют этой аппаратурой, а при ее отсутствии для поддержания работы жизненных органов используют закрытый массаж сердца и искусственное дыхание.

Выполнение спасательных работ требует от пожарных определенного опыта, критичности в оценке создавшейся обстановки, хладнокровия и прежде всего учета особенностей поведения людей в экстремальных условиях.

Спасение человека, вызвавшего о помощи, может быть очень опасным для спасателя, если он не учтет психологического состояния потерпевшего, (в этом случае может помочь только опыт, поскольку для этого нет никакого времени), который, находясь в состоянии предельного нетерпения, может кинуться навстречу спасателю.

Подводя итог, можно сказать о том, что гибель и травмы людей связаны не только с получением повреждений непосредственно от пожара (огня/пламени), наибольшую опасность представляет воздействие ОФП, оно приводит к потере здоровья, гибели людей и животных, порче материального имущества и загрязнению окружающей среды. Защита от ОФП достигается предупреждением пожаров и совершенствованием системы пожарной безопасности.

Список используемых источников:

1. Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 года №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Опасные факторы пожара. [Электронный ресурс] URL: Режим доступа – <https://pozharanet.com.turbopages.org/s/pozharanet.com/pozhar/opasnye-factory-pozhara.html>
3. Боландина Е.С. Влияние опасных факторов пожара на организм человека // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 2.
4. Поражающие факторы пожара. [Электронный ресурс] URL: Режим доступа – <http://iskra-ekb.ru/informatsiya/pervichnye-i-vtorichnye-porazhayushchie-factory-pozhara#2>
5. Опасные факторы пожара, воздействующие на людей. [Электронный ресурс] URL: Режим доступа – <https://fireman.club/statyi-polzovateley/opasnyie-factoryi-pozhara-soputstvuyushhie-i-vozdeystvuyushhie-na-lyudey/>

## ПОВЫШЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ ЗДАНИЙ ПУТЕМ УСТРОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ ИЗ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Е.В. Петров, к.т.н., доц., Ояма И.А., студент*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет*

*634000, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (3822) 65-51-02*

*E-mail: petrov1818@rambler.ru*

**Аннотация:** В статье представлены различные фасадные системы остекления из светопрозрачных ограждающих конструкций, а также современные технологии, которые позволяют регулировать свойства светопрозрачных фасадных ограждений в зависимости от изменяющихся внешних условий с целью повышения комфортных условий в помещении. Современные технологии позволяют создавать светопрозрачные ограждения нового поколения.

**Abstract:** The article presents various facade glazing systems from translucent enclosing structures, as well as modern technologies that allow you to adjust the properties of translucent facade fencing depending on changing external conditions in order to increase comfortable conditions in the room. Modern technologies make it possible to create translucent fencing of a new generation.

**Ключевые слова:** светопрозрачные ограждающие конструкции, фасадные системы остекления; современные технологии.

**Keywords:** translucent enclosing structures, facade glazing systems; modern technologies.

Современные технологии и материалы позволяют создавать элегантные формы и объемы, сочетая в себе ряд лучших характеристик: эстетичность, практичность в эксплуатации, надежность, безопасность, шумоизоляция, высокий коэффициент освещенности, защита от солнца и другие.

Разнообразие вариантов оформления фасадных систем остекления, потребность общества в инновационных технологических решениях стимулировали процесс активного использования инженерных и строительных технологий в области минимизации затрат на электроэнергию, энергосбережения, а также повышения экологичности.

В современных условиях используются двойные фасадные системы и определенное стекло, которые не допускают перегрева помещений (рис. 1). Положительный международный опыт позволяет нам применять такие системы в России. На основе сочетания общественных и частных потребностей, как правило, образуются уникальные формы сооружений.

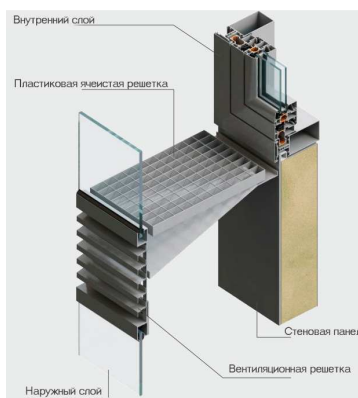


Рис. 1. Пример двойной фасадной системы остекления

Важнейшим элементом современной архитектуры стало фасадное остекление, которое имеет значительные преимущества [1]. Фасадное остекление позволяет создавать художественную и композиционную красоту сооружения, выполняет функцию светопрозрачных конструкций, ограждает внутреннее пространство от внешних факторов окружающей среды (солнечное излучение, дождь, ветер, понижение температур, шум и другие).

Период с 1997 по 2002 г. в России ознаменовался переходом на производство стекла нового поколения. В 1980-х годах был осуществлен значительный прорыв в оконной промышленности. В указанный период был разработан на уровне промышленного производства метод магнетронного распыления теплоотражающих покрытий на широкоэкранные листовые стекла [3, 4]. Применение остекления с селективными покрытиями в качестве наружных ограждающих конструкций в современном понимании стало интерпретироваться как конструктивные элементы внешней оболочки здания, которые наделены переменными техническими характеристиками в процессе эксплуатации в зависимости от изменяющихся условий внешней среды [2].

В 1990-е годы этот вид стекла стал основным элементом светопрозрачных конструкции с энергосберегающими параметрами. Активное строительство зданий повышенной этажности и высотных общественных зданий привело к тому, что строительство таких зданий со светопрозрачными панелями стало экономически обоснованным. В дальнейшем начали активно разрабатываться проекты в области увеличения размеров световых проемов и увеличения естественного освещения внутреннего пространства. Инженер Рик Сайлас изогнул закаленное стекло при комнатной температуре, что привело к изобретению холодногнутого стекла (рис. 2).





*Рис. 2. Фасадная система с применением стекла сложной конфигурации*

В дальнейшем, метод, изобретенный Cold Bent Shattered, позволил гнуть стекло практически любой формы и конфигурации, что открыло архитекторам широкие возможности для воплощения различных идей [2].



*Рис. 3. Фасадные конструкции зданий с применением солнечных панелей*

Большое распространение получило устройство герметичных конструкций с энергосберегающими свойствами. Технологии того времени позволили объединить фасадные конструкции с солнечными панелями, которые интегрируются с дополнительными устройствами в единую автоматизированную управляемую систему (рис. 3).

Такие системы остекления фасада также имеют функцию охлаждения в ночное время и удаления дыма. Возможность улавливать солнечные лучи позволяет создавать энергонезависимые общественные здания круглогодичного цикла жизнеобеспечения объекта. Здания с полупрозрачными ограждениями начали менять свой внешний вид: объемы появились со скругленными углами, затем с геометрическими четкими объемами, где была заметна каркасная структура.

Светопрозрачные системы позволяют рационально зонировать помещения внутри здания, сохранять естественное освещение, создавать открытость пространства. В связи с этим широко используются «умные» и «интеллектуально» управляемые здания с помощью сложной программы, которая контролирует микроклимат в помещении. Например, строительство Королевской Башни в Джидде, на западе Саудовской Аравии, стало воплощением инновационных технологий, так же как и высотной башни Leddah Tower высотой более 1007 м, проект которой был разработан британской компанией Hyder Consulting. Ввиду высокого энергопотребления во время установки фасада было решено заполнить экстерьер здания стеклом со специальными фильтрами, что позволило снизить потребность в кондиционировании воздуха внутри помещений.

Кроме того, современные инновационные технологии позволяют изготовить витражные конструкции с высокими солнцезащитными и энергосберегающими свойствами, что эффективно реализуется при строительстве высотных энергоэффективных зданий с большими площадями остекленных навесных фасадных систем.

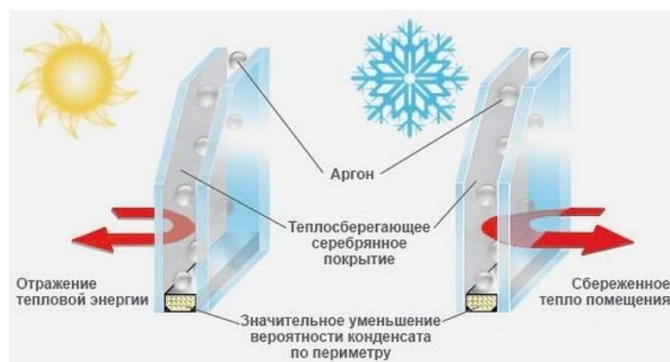


Рис. 4. Принцип работы теплоотражающих покрытий при остеклении зданий

Прозрачные ограждающие конструкции здания используются в основном в качестве естественного освещения. Застекленное пространство действует как буфер, сохраняя тепло зимой или охлаждая помещение летом. Снижение энергозатрат на охлаждение здания также достигается за счет установки герметичных стеклопакетов, заполненных инертным газом и с применением теплоотражающих покрытий, которые отражают инфракрасное излучение (рис. 4) Расширение возможностей для формирования комфортного микроклимата в помещении представлено фасадной системой с двойным остеклением, в которой температура воздуха в буферной зоне на несколько градусов выше температуры окружающей среды. Такие системы долговечны, надежны и ремонту пригодны.

В заключение необходимо отметить, что сегодняшний рынок полон материалов для отделки фасадов зданий, практически никакой другой вид отделки не придаст зданию такой же лаконичный, элегантный вид, как светопрозрачные фасадные системы.

Список используемых источников:

1. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий: учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2003. 320 с.
2. Гулюян Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий. Владимир: Транзит-Икс, 2015. 710 с.
3. Петров Е.В. Исследование теплового режима оконных откосов и узлов сопряжений оконных блоков с наружными стенами / Сибирь: Экспорт-Импорт Инвест. 2001. № 7. С. 46 – 47.
4. Полезная модель 24495 РФ, МКИ Е 06 В 3/66. Оконный блок / А.И. Гныря, Е.В. Петров, В.И. Терехов, М.И. Низовцев (РФ). 2002101784/20; Заявлено 21.01.2002; Оpubл. 10.08.2002; Приоритет 21.01.2002, Бюл. № 22 // Изобретения. Полезные модели. 2002. № 22. С. 647.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ SLM-ОБРАЗЦОВ ВТ6 ОБРАБОТАННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

С.В. Панин<sup>1,2</sup>, д.т.н., профессор, А.В. Бяков<sup>1</sup>, к.т.н., н.с, Ю.И. Почивалов<sup>1</sup>, к.т.н., в.н.с.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

634055, г. Томск пр. Академический 2/4,

Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина 30,

E-mail: svp@ispms.tsc.ru

**Аннотация:** В работе исследуется влияние комбинированного ультразвукового воздействия и электрической обработки изготовленного по SLM технологии сплава Ti-6Al-4V. Изготовленные образцы разрезали на электроискровом станке и подвергали комбинированной обработке. Исходные и обработанные образцы были исследованы с помощью рентгеновской компьютерной томографии и оптической микроскопии, а механические свойства были оценены с использованием одноосного испытания на растя-

жение. Результаты показывают влияние обработки на механические свойства: увеличение предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве на 5% и 50% соответственно.

**Abstract:** The paper studies the effect of combined ultrasonic impact and electrical treatment of SLM-manufactured Ti-6Al-4V. Selectively laser melted specimens were cut along building direction and subjected to combined treatment. Pristine and processed specimens were investigated using X-ray computer tomography and optical microscopy while mechanical properties were evaluated using uniaxial tensile testing. The results reveal the effect of post-build treatment on mechanical properties: the increase of ultimate tensile strength and elongation at break by 5 % and 50 % correspondingly.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, ультразвуковая обработка, титановые сплавы

**Keyword:** additive manufacturing, ultrasonic impact treatment, titanium alloys

Аддитивные технологии (АТ) производства высокопрочных сплавов дают инженерам широкие возможности по созданию конструкций с более оптимизированной макроструктурой. Традиционные технологии не позволяют получать сложные формы деталей, обладают высоким расходом материала, в то время как аддитивные не имеют данных проблем. Особенно АТ актуальны в таких высокотехнологичных отраслях, как аэрокосмическая, где снижение веса является критической проблемой и используется термин «Buy-to-Fly ratio», который представляет собой весовое соотношение между затраченным сырьем и весом готовой детали. Во время традиционного производства это соотношение часто достигает 15-20, в то время как АТ могут уменьшить его вплоть до 1. Одной из основных проблем для широкого использования АТ в аэрокосмической промышленности является сертификация. Это решается частично путем принятия сертификации только отдельных деталей.

Инженеры весьма заинтересованы в АТ, но универсальная сертификация АТ в целом, приводящая к унаследованной сертификации произведенных деталей, является действительно сложной задачей для будущих исследований и разработок. Одна из причин может быть связана с неоднородностью и возможными дефектами конструкции. Явления, происходящие в зоне сверхбыстрого плавления и затвердевания металла, приводят к сложностям в управлении производственным процессом и к образованию дефектов [1]. Проблема формирования дефектов может быть частично решена путем добавления постобработки. В последние годы были предложены различные методы: термообработка, которая является довольно дешевой, но при этом малоэффективной при снижении пористости [2-4]; горячее изостатическое прессование (HIP), которое эффективно снижает пористость, что приводит к улучшению прочностных свойств и долговечности [5-7], но остается довольно дорогим методом из-за необходимости применения оборудования высокого давления [7].

Исследователи ищут новые эффективные методы постобработки изделий, которые будут одновременно эффективными и дешевыми. Одним из возможных способов является использование ультразвуковой ударной обработки (УЗО), которая направлена на формирование сильно деформированной субмикроструктурной структуры на поверхности материала, что приводит к улучшению механических характеристик. УЗО был исследован более подробно в предыдущей работе авторов [8]. В настоящей работе данный метод модифицируется комбинированным применением высокочастотной электрической обработки, и изучается его влияние на деформацию и характеристики разрушения изготовленных методом SLM образцов из Ti-6Al-4V.

Заготовки Ti-6Al-4V были получены путем селективного лазерного плавления с использованием порошка со средним размером частиц ~ 30 мкм с использованием принтера EOSINT M280 (EOS Electro Optical Systems, Мюнхен, Германия). После изготовления заготовки были отожжены, чтобы уменьшить остаточные напряжения и избежать потери формы при электроэрозионной резке. После резки получали пластины размером 70×10 мм<sup>2</sup> и толщиной 2 мм для ультразвуковой и электрической обработки. Выходная мощность и частота ультразвуковой обработки составляли 2000 Вт и 25 кГц соответственно. Ударник прижимался к обрабатываемой поверхности с усилием 150 Н. Электрическая обработка состояла в импульсной обработке с частотой 250 (f<sub>1</sub>), 500 (f<sub>2</sub>) Гц и длительностью импульса 10 (n<sub>1</sub>), 50 (n<sub>2</sub>) мкс. Импульсное напряжение составляло 50 В. Было подготовлено 4 набора образцов, обработанных с различными параметрами.

Чтобы сравнить влияние комбинированной ультразвуковой электрической обработки на деформационные характеристики и полученные механические свойства, исходные и обработанные образцы были исследованы при помощи рентгеновской компьютерной томографии, оптической микроскопии и испытаны на одноосное растяжение. Образцы для испытания на растяжение были вырезаны в форме лопатки толщиной 2 мм и длиной рабочей части 18×3 мм<sup>2</sup>. Испытания проводились с использованием электромеханической испытательной машины Instron 5582 со скоростью нагружения 0,3 мм/мин.

Для детального исследования пористости была выполнена компьютерная рентгеновская томография. Объем необработанного образца из Ti6Al4V составил 24 мм<sup>3</sup>, а объем пор – 4·10<sup>-4</sup> мм<sup>3</sup>. Общее содержание пор, которое рассчитывали как отношение объема пор ко всему объему образца, включая поры, составило 0,0016%. После комбинированной ультразвуковой и электрической обработки также была сделана рентгеновская томография; Результаты приведены в Таблице 1. Очевидно, что обработка не влияет на пористость.

Таблица 1

Результаты рентгеновской томографии

Образец	Параметры электрической обработки		Пористость, %	Средний размер пор, мкм
	Частота, Гц	Длительность импульса, мкс		
Ti6Al4V	-	-	0.0016	19.9
Ti6Al4V-f <sub>1</sub> n <sub>1</sub>	250	10	0.0044	18.8
Ti6Al4V-f <sub>1</sub> n <sub>2</sub>	250	50	0.0046	19.9
Ti6Al4V-f <sub>2</sub> n <sub>1</sub>	500	10	0.0030	20.9
Ti6Al4V-f <sub>2</sub> n <sub>2</sub>	500	50	0.0050	22.3

Из-за многоуровневой природы процесса печати первичные зерна β-фазы растут вертикально через слои. Микроструктура в поперечном сечении образцов SLM Ti6Al4V представлена равноосными первичными зернами β-фазы со средним размером 300 мкм. По результатам оптической металлографии установлено, что комбинированная ультразвуковая и электрическая обработка приводит к образованию модифицированного поверхностного слоя толщиной 50-100 мкм.

Результаты испытаний на растяжение исходных и обработанных образцов обобщены в Таблице 2. Для каждого состояния Ti-6Al-4V после и до обработки было протестировано 3 образца. Видно, что исходный SLM Ti-6Al-4V имеет самый низкий предел прочности при растяжении и самое низкое удлинение при разрыве. Можно видеть, что применение комбинированной ультразвуковой электрической обработки привело к небольшому улучшению предела прочности при растяжении и увеличению удлинения при разрыве по сравнению с необработанным SLM Ti-6Al-4V.

Таблица 2

Механические свойства образцов

Образец	Предел прочности, МПа	Удлинение при разрыве, %
Ti6Al4V	1094±28	6.4±1.4
Ti6Al4V-f <sub>1</sub> n <sub>1</sub>	1137±20	8.8±1.6
Ti6Al4V-f <sub>1</sub> n <sub>2</sub>	1118±13	9.9±0.8
Ti6Al4V-f <sub>2</sub> n <sub>1</sub>	1140±4	7.9±0.8
Ti6Al4V-f <sub>2</sub> n <sub>2</sub>	1110±93	7.7±2

Можно сделать вывод, что частота электрической обработки определяет пластичность обрабатываемого сплава. Два образца, обработанные с частотой переменного тока 250 Гц, имеют более высокое удлинение при разрыве (37-54% увеличения по сравнению с необработанным Ti6Al4V), тогда как 500 Гц приводит к более низкому увеличению - 20%.

Исследование механических и структурных свойств образцов SLM Ti6Al4V в исходном состоянии и обработанных комбинированной ультразвуковой и электрической обработкой показало, что:

- рентгеновская томография выявляет низкопористую структуру SLM Ti6Al4V, в то время как после обработки не наблюдается изменений пористости;
- микроструктурные исследования с помощью оптической микроскопии показывают модифицированный слой с толщиной, изменяющейся в диапазоне 50-100 мкм для исследуемых режимов обработки;
- наблюдается небольшое увеличение предела прочности при растяжении после обработки при разных режимах в среднем на 3-5%;
- основное различие проявляется в пластических свойствах образцов - увеличение пластичности после обработки при 500 Гц составляет 20%, достигая ~ 50% для 250 Гц.

*Работа выполнена в рамках Программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы» Министерства науки и высшего образования РФ, Соглашение №05.583.21.0089, идентификатор проекта RFMEFI58318X0089.*

Список используемых источников:

1. Optimisation of process parameters to address fundamental challenges during selective laser melting of Ti-6Al-4V: A review / H. Shipley [et al.] // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2018. – Vol. 128. – P. 1-20.
2. Fan, Z. Study on selective laser melting and heat treatment of Ti-6Al-4V alloy / Z. Fan, H. Feng // Results in Physics. – 2018. – Vol. 10. – P. 660-664.
3. Microstructural evolution and microhardness of a selective-laser-melted Ti-6Al-4V alloy after post heat treatments / S.Q. Wu [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2016. – Vol. 672. – P. 643-652.
4. Ductility improvement due to martensite  $\alpha'$  decomposition in porous Ti-6Al-4V parts produced by selective laser melting for orthopedic implants / E. Sallica-Leva [et al.] // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2016. – Vol. 54. – P. 149-158.
5. Kasperovich, G. Improvement of fatigue resistance and ductility of TiAl6V4 processed by selective laser melting / G. Kasperovich, J. Hausmann // Journal of Materials Processing Technology. – 2015. – Vol. 220. – P. 202-214.
6. Wu, M.-W. The positive effect of hot isostatic pressing on improving the anisotropies of bending and impact properties in selective laser melted Ti-6Al-4V alloy / M.-W. Wu, P.-H. Lai // Materials Science and Engineering: A. – 2016. – Vol. 658. – P. 429-438. Ming-Wei Wu, Pang-Hsin Lai, Mat Sci Eng A, 658, 429-438 (2016).
7. Molaei, R. Significance of hot isostatic pressing (HIP) on multiaxial deformation and fatigue behaviors of additive manufactured Ti-6Al-4V including build orientation and surface roughness effects / R. Molaei, A. Fatemi, N. Phan // International Journal of Fatigue. – 2018. – Vol. 117. – P. 352-370. D.F. Heaney, C. Binet, in Handbook of Metal Injection Molding, Second Edition edited by: Donald F. Heaney (Woodhead Publishing, 2019), p. 195.
8. Static fracture behavior of ultrasonic impact post-built treated SLM-manufactured Ti-6Al-4V / M.V.Burkov [et al.]. – AIP Conference Proceedings– 2019. – P. 020041.

**АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ**

- Адмакин М.А. 12  
Аль Тии М. 47  
Антонова Н.М. 40  
Ахремчик О.Л. 122  
Борисов Б.В. 143  
Булыгин Ю.И. 137  
Бяков А.В. 154  
Быченко Д.А. 12  
Васильев А.В. 33  
Веретенников А.Д. 109  
Виноградова О.Н. 145  
Власов А.Ф. 17  
Волобуев В.С. 125  
Гладких С.Н. 145  
Голуб Д.М. 17  
Григорьева Е.Г. 67  
Девойно О.Г. 43  
Долматова Д.О. 112  
Дьячкова А.А. 148  
Епифанцев К.В. 115, 125  
Еренков О.Ю. 37  
Еренкова Д.Д. 37  
Ибрагимов Е.А. 71  
Иванов В.П. 54  
Ильяшенко Д.П. 54, 73  
Исмаилов Г.М. 79  
Кареев М.И. 135  
Ким А.Б. 23  
Колганова Е.Н. 6  
Крюков А.В. 65  
Кузнецов М.А. 65  
Куций А.М. 17  
Лаврова Е.В. 54  
Лапковский А.С. 43  
Липчанский Д.С. 140  
Ломовская С.А. 79  
Лопушанский И.Я. 37  
Луцко Н.И. 43  
Макаренко Н.А. 17  
Мальшев Д.Ю. 143  
Мальчик А.Г. 148  
Масленский В.В. 137  
Маслов А.В. 87  
Минеев Ли В.Е. 79  
Назаренко О.Б. 140  
Наумкин А.С. 143  
Небрат А.А. 40  
Немтин В.Г. 135  
Новикова А.Л. 129, 120  
Novoselov I.Yu. 51  
Овчаренко В.Е. 61  
Ояма И.А. 151  
Панин С.В. 154  
Петров Е.В. 151  
Поболь О.Н. 131  
Почивалов Ю.И. 154  
Пранкевич Д.А. 107, 91  
Прокопенко С.А. 99  
Пузанова А.С. 40  
Разуваев А.С. 12  
Разумников С.В. 91, 95, 107,  
Сапрыкин А.А. 71  
Сапрыкина Н.А. 71  
Седнев Д.А. 112  
Сидоров В.П. 26  
Скорнякова Л.В. 79  
Солодский С.А. 65  
Тамаркин М.А. 6  
Татаринцев В.А. 9, 33  
Темпель О.А. 31  
Tikhonov A.E. 51  
Усов Д.Ю. 135  
Филатенков О.Д. 9  
Филиппов А.В. 58  
Фирсов Г.И. 131  
Химич М.А. 71  
Хорошко Е.С. 58  
Чернышева Т.Ю. 109  
Чжу Лянлян 23  
Чинахов Д.А. 61, 67  
Чуднов Ю.Н. 82  
Шамарин Н.Н. 58  
Шаркеев Ю.П. 71  
Яхин А. 75

Научное издание

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Сборник трудов  
XI Международной научно-практической конференции

**Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание  
представленной информации ответственность несут авторы**

Компьютерная верстка и дизайн обложки  
*Э.Ф. Кусова*

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ  
Размещено на корпоративном портале ТПУ  
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ