

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СБОРНИК ТРУДОВ XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

25–27 мая 2023 года  
Юрга

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  
XIV Международной научно-практической конференции

**25–27 мая 2023 г.**

Томск 2023

УДК 62.002:658(063)

ББК 34.4:65л0

И66

И66

**Инновационные технологии в машиностроении** : сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2023. – 214 с.

ISBN 978-5-4387-1132-2

В сборник вошли статьи участников XIV Международной научно-практической конференции по инновационным технологиям в машиностроении, металлургии, сварочном производстве, промышленной безопасности, информационных технологий и автоматизации производства.

Материалы конференции могут быть интересны преподавателям, научным сотрудникам, аспирантам и студентам технических специальностей.

**УДК 62.002:658(063)**

**ББК 34.4:65л0**

Ответственный редактор

С.А. Солодский

Редакционная коллегия

Д.П. Ильященко

М.А. Кузнецов

А.Г. Мальчик

А.В. Проскоков

Н.А. Сапрыкина

А.А. Сапрыкин

Е.В. Телипенко

ISBN 978-5-4387-1132-2

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский  
технологический институт (филиал), 2023

**СЕКЦИЯ 1: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**
**МОДУЛЬ KDSS И ЕГО ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ**

<i>Алфёрова Е.А., Леонтьев П.Н.</i> .....	8
<b>СПОСОБЫ ПОДАЧИ СМАЗЫВАЮЩЕ-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ</b>	
<i>Ласуков А.А.</i> .....	10
<b>ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ПРИ ПОМОЩИ ВНЕДРЕНИЯ ФАСОННОГО ИНСТРУМЕНТА</b>	
<i>Мозговой Н.И., Чивас В.С.</i> .....	13
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНТОПИЙНЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ</b>	
<i>Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А.</i> .....	17
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В НАДПЛУНЖЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ГИЛЬЗЫ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ</b>	
<i>Балашов А.В., Курганская В.А.</i> .....	20
<b>СОКРАЩЕНИЕ МАШИННОГО ВРЕМЕНИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ СБОРКИ</b>	
<i>Мозговой Н.И., Чивас В.С.</i> .....	26
<b>МИКРОТВЕРДОСТЬ ЕДИНИЧНЫХ ВАЛИКОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ</b>	
<i>Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И.</i> .....	30
<b>ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ</b>	
<i>Беляев Д.В., Жигарев Д.А.</i> .....	36
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ MORFOЛОГИИ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ, КРЕМНИЯ И МАГНИЯ</b>	
<i>Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А., Чебодаева В.В.</i> .....	39
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ, РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО ПОРОШКА АЛЮМИНИЙ-КРЕМНИЙ-МАГНИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ</b>	
<i>Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А., Ибрагимов Е.А.</i> .....	42
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА С ГИБКОЙ ОПОРОЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ</b>	
<i>Тимофеев В.Ю., Бурков П.В., Бурков В.П., Буркова С.П.</i> .....	45
<b>ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕСТРОЕК ВБЛИЗИ ОБЛАСТИ СОПРЯЖЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ СДВИГОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ</b>	
<i>Дмитриев А.И., Никонов А.Ю.</i> .....	49
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ TiC НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ КОМПОЗИТА <math>Ni_3Al-TiC</math> ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СВС-КОМПАКТИРОВАНИЯ</b>	
<i>Акимов К.О., Иванов К.В., Фигурко М.Г.</i> .....	54
<b>ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ТИТАНОМАТ- РИЧНОГО КОМПОЗИТА С ОКСИДНЫМИ И КАРБИДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ</b>	
<i>Коржова В.В., Коростелева Е.Н., Петренко О.Е.</i> .....	59
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУЖКИ</b>	
<i>Корчуганова М.А., Мирзоянов Е.Ф.</i> .....	63
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ИЗ АБС-ПЛАСТИКА, ПОЛУЧЕННЫХ 3D-ПЕЧАТЮ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ</b>	
<i>Балашов А.В., Щеткина Е.Е., Юрова Е.И.</i> .....	68
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МАТЕРИАЛОВ</b>	
<i>Гаваев А.С., Максимов В.Е.</i> .....	71

<b>ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ СТРУКТУРНОГО КОНТРОЛЯ</b>	
<i>Абабков Н.В., Телегуз А.С. Пимонов М.В. ....</i>	75
<b>СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛИТОЙ Cr-Mn-C-N СТАЛИ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ РАСТЯЖЕНИИ</b>	
<i>Наркевич Н.А., Гоморова Ю.Ф., Максимов П.В. ....</i>	80
<b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕЩИН</b>	
<i>Великанов Н.Л., Шарков О.В. ....</i>	84
<b>ЭФФЕКТ КОВКИ С ПЕРЕМЕННОЙ ОСИ ОСАЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ СПЕЧЁННОГО СПЛАВА Al-7Fe-38Sn</b>	
<i>Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Лихарев В.Е. ....</i>	89
<b>РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ</b>	
<i>Саидмахаматов Н.М., Валуев Д.В., Абдуллаев К.Х., Таджикиев Н.Х. ....</i>	93
<b>РАЗРАБОТКА МЕХАНОАКТИВАТОРА С ВРАЩЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ВОКРУГ ТРЕХ ОСЕЙ</b>	
<i>Собачкин А.В., Мясников А.Ю., Вергун Н.Г. ....</i>	98
<b>ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДА КОБАЛЬТА (II, III)</b>	
<i>Дроган Е.Г., Бурлакова В.Э., Казазян М.А. ....</i>	101
<b>СХЕМА ДЕФОРМАЦИЙ В ЗОНЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ</b>	
<i>Корчуганова М.А., Мирзоянов Е.Ф. ....</i>	104
<b>ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Si-Mg</b>	
<i>Сапрыкин А.А., Сапрыкина Н.А., Гусева Т.С. ....</i>	107
<b>ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА КОМПОНЕНТОВ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ СИСТЕМЫ Al-Si-Mg НА ПОРИСТОСТЬ ОБРАЗЦОВ ПРИ СЛП</b>	
<i>Ибрагимов Е.А., Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А. ....</i>	109
<b>СПЛАВ Al-40Sn, ПОЛУЧЕННЫЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ</b>	
<i>Скоренцев А.Л., Русин Н.М., Акимов К.О. ....</i>	112
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАПЛИ</b>	
<i>Кузнецов М.А., Судариков Е.В. ....</i>	117
<b>СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ</b>	
<i>Ильященко Д.П., Лаврова Е.В., Гутов Н.В. ....</i>	120
<b>ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ МИКРОДИАПАЗОНА</b>	
<i>Кузнецов М.А., Судариков Е.В. ....</i>	122
<b>IMPROVING THE ACCURACY OF MODELING SURFACE ROUGHNESS PROFILES WITH REGULAR MICRORELIEF</b>	
<i>Ovsyannikov V.E., Nekrasov R.J., Il'yaschenko D.P., Gubenko A.S. ....</i>	124
<b>РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА И СПОСОБА FFF ПЕЧАТИ С АРМИРОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНЫМ УГЛЕВОЛОКНОМ</b>	
<i>Дроботов А.В., Плотников А.Л., Торубаров И.С. ....</i>	130
<b>УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ</b>	
<i>Долматов Д.О. ....</i>	132
<b>КИНЕТИКА МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ И СКОРОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА В ПРОЦЕССЕ РАСТЯЖЕНИЯ Fe-Cr-Ni СПЛАВА</b>	
<i>Исхакова П.В., Баранникова С.А. ....</i>	134
<b>СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ</b>	
<i>Теслева Е.П., Кожеевникова К.В. ....</i>	136

---

<b>РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ПОДТАЛКИВАТЕЛЬ КОРМОВ ПОВЫШЕННОЙ МОБИЛЬНОСТИ С АКТИВНЫМ ШНЕКОРОТОРОМ</b>	139
<i>Проскоков А.В., Алексин А.В., Рашитов В.Р. . . . . .</i>	
<b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</b>	142
<i>Дмитриев А.И. . . . . .</i>	
<b>СЕКЦИЯ 2: ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ</b>	
<b>АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НОРМОКОНТРОЛЯ В ВУЗЕ: МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ</b>	149
<i>Захарова А.А., Аверьянова А.М., Глухих К.Д. . . . . .</i>	
<b>ОБЛАКА ДЛЯ БАНКОВ: НЕИЗБЕЖНЫЙ ПЕРЕХОД И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ</b>	153
<i>Разумников С.В. . . . . .</i>	
<b>ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ</b>	155
<i>Телипенко Е.В. . . . . .</i>	
<b>ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СЕКУНД С ОШИБКАМИ В ЦИФРОВЫХ ТРАКТАХ</b>	161
<i>Батенков К.А. . . . . .</i>	
<b>ВЛИЯНИЕ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ (РУБЕЖ XX–XXI ВЕКОВ)</b>	163
<i>Соловенко И.С. . . . . .</i>	
<b>ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ</b>	168
<i>Фисоченко О.Н. . . . . .</i>	
<b>СТУДЕНЧЕСКИЙ БИЗНЕС-КЛУБ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ ГРАМОТНОСТИ СРЕДИ МОЛОДЕЖИ</b>	172
<i>Стрековцова Е.А., Пальшин Е.С. . . . . .</i>	
<b>СЕКЦИЯ 3: ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ</b>	
<b>ЗАПЫЛЕННОСТЬ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕХОВ. СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ</b>	177
<i>Мальчик А.Г., Тищук А.А., Романюк Р.А. . . . . .</i>	
<b>СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ПЕРВИЧНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ПОРЯДОК ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ</b>	180
<i>Деменкова Л.Г., Давыденко Т.Н. . . . . .</i>	
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ В КАБИНЕ ТРАКТОРА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ</b>	183
<i>Масленский В.В. . . . . .</i>	
<b>ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ В РОССИИ</b>	187
<i>Родионов П.В., Пимкина Н.А. . . . . .</i>	
<b>МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭВАКУАЦИИ И РАССРЕДОТОЧЕНИЮ НАСЕЛЕНИЯ ЧС ВОЕННОГО ХАРАКТЕРА</b>	189
<i>Деменкова Л.Г., Петько А.И. . . . . .</i>	
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ</b>	194
<i>Родионов П.В., Козтева Д.П. . . . . .</i>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПРОИЗВОДИМЫХ С ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗБАССА ПРИ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРАХ</b>	197
<i>Луговцова Н.Ю. . . . . .</i>	
<b>СТЕЙКХОЛДЕРЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА ВУЗА</b>	204
<i>Родионов П.В. . . . . .</i>	

<b>ИЗУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ВОДНОГО РАСТВОРА ОТ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗИТЕЛЕЙ</b>	
<i>Мартемьянов Д.В., Чан Т.Х., Овчинников В.В., Журавков С.П. . . . . .</i>	<b>206</b>
<b>УДАЛЕНИЕ СОЛЕЙ ЖЁСТКОСТИ ИЗ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОНООБМЕННЫХ МЕТОДОВ</b>	
<i>Мартемьянов Д.В., Тябаев А.Е., Славинская А.В., Журавков С.П. . . . . .</i>	<b>208</b>
<b>ИЗМЕНЕНИЕ pH ВОДНЫХ СРЕД ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ</b>	
<i>Мартемьянов Д.В., Тябаев А.Е., Славинская А.В., Журавков С.П. . . . . .</i>	<b>210</b>
<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ . . . . .</b>	<b>213</b>

# **Секция 1**

---

**Технологии получения и обработки  
материалов в машиностроении**



## МОДУЛЬ KDSS И ЕГО ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

*Е.А. Алфёрова, к.ф.-м.н., доц., П.Н. Леонтьев<sup>а</sup>, студент гр. 4AM21,  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, г. Томск пр. Ленина,30  
E-mail: <sup>а</sup>leontyev.pavel@mail.ru*

**Аннотация:** Целью данной работы является изучение основных проблем Kinetic Dynamic Suspension System (KDSS). Наиболее популярные проблемы были проанализированы с использованием сбора данных через интернет-поиск, собственного опыта эксплуатации автомобиля с использованием KDSS, а также опыта коллег из дилерского центра Toyota в Томске. Наиболее частыми дефектами являются перекося корпуса, неисправность блока клапанов и выход из строя электронного блока.

**Ключевые слова:** электронно-управляемая кинетическая динамическая система подвески, неисправность.

**Abstract:** The purpose of this work is to study the main problems of Kinetic Dynamic Suspension System (KDSS). The most popular problems were analyzed using data collection through Internet searches, own experience with a car using KDSS, as well as the experience of colleagues at a Toyota dealership in Tomsk. The most common defects are body skew, malfunction of the valve block and failure of the electronic block.

**Keywords:** electronically controlled kinetic dynamic suspension system, malfunction.

Электронно-управляемая кинетическая динамическая система подвески (KDSS) является инновационным технологическим решением, которое позволяет адаптировать жесткость подвески к дорожным условиям и стилю вождения. Однако, эксплуатация данной системы может приводить к ряду проблем, которые могут существенно повлиять на надежность и безопасность автомобиля. Целью данной статьи является изучение основных проблем электронно-управляемой кинетической динамической системы подвески KDSS и разработка способов их устранения [1–3].

Наиболее популярные проблемы были проанализированы с использованием сбора данных посредством поиска в Интернете, собственного опыта эксплуатации автомобиля с использованием KDSS, а также опыта коллег из дилерского центра Toyota в Томске. Диагностика KDSS осуществляется путем измерения давления в гидравлическом контуре системы, путем внешнего осмотра и путем считывания кодов ошибок сканером.

Основные проблемы KDSS

*Неисправность клапанного блока (рисунок 1).* Конструктивно на переднем и заднем стабилизаторах установлены два гидроцилиндра, соединенные гидравлическими линиями через блок управления клапанами, к которому присоединены еще два цилиндра (уравнительные баки). Когда автомобиль движется по ровной прямой дороге, система переходит в пассивный режим, отключая весь контур и обеспечивая избыточное давление в переднем и заднем стабилизаторах. Это уменьшает крены при маневрировании и удары при разгоне и торможении.

Наиболее распространенной неисправностью этой системы является отказ блока клапанов. На автомобилях Lexus GX 460 / Toyota Land Cruiser 150 была обнаружена неисправность системы, называемая «утечкой» в блоке клапанов KDSS. Загорается ошибка датчика давления, и система перестает работать должным образом, снижая работоспособность автомобиля. Блок подвержен коррозии, что приводит к утечкам и выходу из строя внутренних компонентов.

Основные причины - наличие в окружающей среде щелочей, солей и кислот. Они способствуют разрушению защитной (окисленной) пленки алюминия, которая в свою очередь начинает корродировать (растворяться) от воды, содержащей соли и кислоты.

Наиболее правильным решением данной неисправности является вывод наружу разъемов электронного управления блоками клапанов системы и дальнейшая герметизация системы блоков.

Если электронный разъем поврежден, его замена не представляет сложности, поскольку блок клапанов системы не требует разборки.

*Выход из строя электронного блока (рисунок 2).* Второй наиболее распространенный отказ - это выход из строя электроники из-за попадания влаги в корпус, где установлена плата. Это происходит по той же причине, что и коррозия алюминиевого корпуса блока.

LC Prado 150 и Lexus GX имеют проблемы при большом пробеге, потому что все они управляются блоками с катушками; LC200 имеет тот же принцип, но гораздо более надежен, потому что в нем нет электрического управления клапанами, все происходит механически.

Шланги и трубопроводы также можно ремонтировать. Вместо металлических трубок используются шланги высокого давления. Многие заменяют их на новые.



Рис. 1. Коррозия модуля KDSS



Рис. 2. Электронный блок модуля KDSS

Устранение детонации цилиндров часто решается повышением давления в системе. Однако это не всегда помогает. Подвеска становится более жесткой.

Окончательный ремонт заключается в восстановлении жгута проводов или ремонте катушек.

*Перекус кузова (рисунок 3).* Стабилизаторы надежны, но и у них есть свои недостатки. На приборной панели может начать загораться контрольная лампочка, указывающая на неисправность. Часто это сопровождается креном водителя на поворотах, креном кузова и стуком подвески. Электронная диагностика с помощью сканера выдаст ошибку C1851.

Это связано с коррозией кузова KDSS Prado 150. Это происходит потому что зимой, в районах, где дороги посыпают реагентами или где много езды по бездорожью, под защитным покрытием кузова скапливается вода. Это приводит к окислению контактов.

Чтобы предотвратить это, кузов следует предварительно обработать герметиком. Электрические разъемы также следует осмотреть и очистить от конденсата, грязи и ржавчины в конце зимы или после езды по болотистой местности.



Рис. 3. Перекос кузова Toyota Prado 150

Производитель утверждает, что ремонт электронного блока модуля на Prado 150 невозможен и предусматривает только замену на новый блок. Чтобы избежать расходов на такой ремонт, рекомендуется время от времени чистить блок и обслуживать его, когда придет время.

Таким образом, в работе выявлено, что наиболее распространенными дефектами KDSS являются перекося корпуса, неисправность клапанного блока и выход из строя электронного блока. Обозначены возможные пути их решения.

Список использованных источников:

1. Система управления подвеской. Руководство по ремонту. – Текст электронный. – URL : [http://myfirewood.com/TOYOTA/LAND\\_CRUISER/rm19u0e/PDFs/RepairManual-Suspension.pdf](http://myfirewood.com/TOYOTA/LAND_CRUISER/rm19u0e/PDFs/RepairManual-Suspension.pdf) (дата обращения 11.04.2023).
2. Сервисное обслуживание и ремонт Toyota и Lexus KDSS. – Текст электронный. – URL : <https://carspecmn.com/toyota-and-lexus-kdss-service-and-repair-gx460-gx460-4runner-and-land-cruiser/> (дата обращения 11.04.2023).
3. C1851 Код Toyota. – Текст электронный. – URL : [https://www.engine-codes.com/c1851\\_toyota.html](https://www.engine-codes.com/c1851_toyota.html) (дата обращения 11.04.2023).

### СПОСОБЫ ПОДАЧИ СМАЗЫВАЮЩЕ-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

*А.А. Ласуков, к.т.н, доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета*

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

*E-mail: lasukow@tpu.ru*

**Аннотация:** Тепловыделение и теплопроводность существенно влияют на обрабатываемость и производительность процесса механической обработки, особенно это касается труднообрабатываемых материалов, таких как титановые сплавы, жаропрочные сплавы на основе никеля, нержавеющая сталь, закаленная сталь. Обрабатываемость титанового сплава понижена из-за низкой теплопроводности, что ограничивает отвод тепла при резании стружкой. В статье дается обзор по улучшению параметров обрабатываемости за счет подачи охлаждения в зону резания.

**Ключевые слова:** обработка резанием, смазочно-охлаждающие жидкости, титановый сплав, криогенное охлаждение.

**Abstract:** Heat generation and thermal conductivity significantly affect the machinability and productivity of the machining process, especially for difficult-to-machine materials such as titanium alloys, nickel-based heat-resistant alloys, stainless steel, hardened steel. The machinability of titanium alloy is reduced due to low thermal conductivity, which limits heat removal during chip cutting. The article provides an overview on improving machinability parameters by supplying cooling to the cutting zone.

**Keywords:** cutting, cutting fluids, titanium alloy, cryogenic cooling.

В машиностроении все больше применяется материалов со специфическими свойствами. К таковым относятся и титановые сплавы. Благодаря дополнительному свойству как коррозионная стойкость титановые сплавы быстро заменяют высокопрочные стали в автомобильной, авиационной и энергетической промышленности. Обладая малым удельным весом, они являются труднообрабатываемыми материалами из-за их низкой теплопроводности, высокого химического сродства с инструментальными материалами, малой контактной длины стружки с инструментом при обработке. При обработке резанием это приводит к резкому снижению стойкости инструмента, а, следовательно, к его перерасходу делая процесс обработки дороже.

Охлаждающие жидкости широко используются в качестве среды для снижения температуры в зоне резания, что приводит к значительному увеличению срока службы инструмента. Обычные способы охлаждения являются малоэффективными из-за высокой температуры в зоне резания. Наибольшего эффекта при данном способе охлаждения является подача поливом на стружку сверху (рисунок 1, а), одновременная подача на переднюю и заднюю поверхности инструмента под низким давлением (рисунок 1, б) [1]. Однако, все это применяется в основном при обработке обычных конструкционных материалов. Надо учитывать, что такие жидкости имеют недостатки по экологическим требованиям и воздействию на человека. Кроме того качество смазочно-охлаждающей жидкости ухудшается с увеличением срока ее использования.

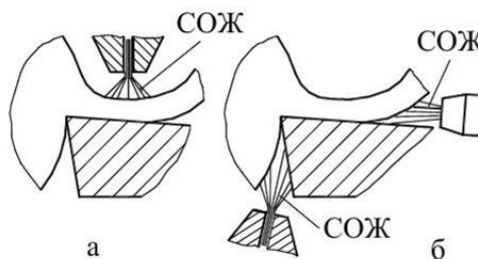


Рис. 1. Наиболее эффективные способы подачи СОЖ в зону резания

Представляет интерес подача СОЖ в зону резания под высоким давлением, причем последнее может достигать значений, характерных для гидроабразивной резки [2]. Наиболее действенным, но дорогим способом подвода жидкости является ее подвод через канал резца [3]. Смазочно-охлаждающая жидкость распыляется через соответствующие сопла (рисунок 1) по направлению к вершине резца со стороны передней и задней поверхности одновременно. Давление подачи жидкости обеспечивалось в пределах  $0,6 \div 15$  МПа. Такой способ подачи жидкости при малых давлениях на температуру резания влияет незначительно. Зато с увеличением давления подачи жидкости уменьшается температура резания и износ инструмента по задней поверхности, наблюдается снижение уровня сил резания [3]. Такая подача СОЖ в зону резания на сегодня довольно широко применяется с появлением современных обрабатывающих центров, которые снабжаются насосами высокой производительности. Применяется современная оснастка и инструмент с внутренними каналами подвода СОЖ. Здесь применяются жидкости, что и в предыдущем способе, поэтому они имеют те же недостатки: попадание на кожу рук, вдыхание паров и др.

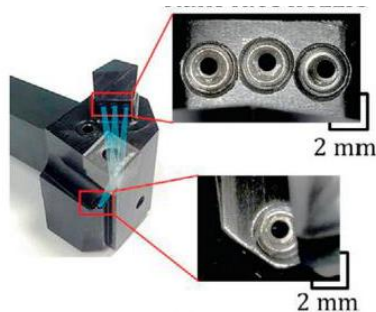


Рис. 2. Конструкция резца с внутренними каналами для подвода СОЖ

Криогенная обработка – процесс подачи в зону резания охлаждающих сред, таких как жидкий азот и углеродород, которые имеют соответственно температуры кипения соответственно  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Он набирает популярность благодаря чистоте процесса обработки. Например, жидкий азот по сравнению с традиционно применяемыми охлаждающими жидкостями не имеет запаха, цвета и вкуса, нетоксичен, не подвержен воспламенению, небактерициден [4]. После обработки азот растворяется в воздухе, не оставляя следов загрязнений.

Поэтому не требует утилизации. Поэтому этот процесс является экологически безопасным. Недостатком данного процесса является сложность организации доставки данных хладагенов к оборудованию в цехе из-за низкой температуры последних. С этим связано ограничение применения данного способа. Здесь требуются специальные установки для подачи криогенных жидкостей к резцу. Есть такие установки, которые можно прикреплять к стандартным резцедержателям [5]. Кстати, можно применять резцы конструкции, показанной на рисунке 2. Применение данного способа охлаждения позволяет повысить стойкость инструмента по сравнению с другими способами охлаждения, что объясняется лучшей проникающей и смывающей способностью теплоносителей. Также было отмечено [5] и изменение вида и формы стружки. Сплошность стружки становится меньше (ее элементность больше выражена), это говорит о том, что угол сдвига в зоне резания увеличивается, что приводит к снижению деформации. Можно сделать вывод, что и сила резания становится меньше, а следовательно и нагрузка на инструмент снижается, что также говорит в пользу повышения стойкости инструмента. Температура в зоне резания значительно уменьшается из-за высокого градиента температур между инструментом и зоной резания.

Еще одним способом эффективного охлаждения зоны резания при обработке труднообрабатываемых материалов является подача смазывающе-охлаждающей жидкости в распыленном состоянии (туман) при помощи специальных устройств (рисунок 3) [1]. Станок необходимо дополнительно оснащать специальными установками.



Рис. 3. Подача смазывающе-охлаждающей жидкости в распыленном состоянии

Охлаждение происходит за счет увеличения площади соприкосновения жидкости в виде капель с окружающей средой, увеличения скорости подачи струи (примерно  $300\text{ м/с}$ ) и низкой температуры жидкости ( $4\div 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Это несомненно сказывается на стойкости инструмента в положительную сторону. Плюсом является небольшой расход смазывающе-охлаждающей жидкости, который составляет  $50\div 400\text{ г/ч}$ .

Список использованных источников:

1. Смазочно-охлаждающие жидкости при обработке резанием. – Текст электронный. – URL : [https://ozlib.com/873702/tehnika/smazочно\\_ohlazhdayushchie\\_zhidkosti\\_obrabotke\\_rezaniem](https://ozlib.com/873702/tehnika/smazочно_ohlazhdayushchie_zhidkosti_obrabotke_rezaniem) (дата обращения 09.04.2023).
2. Lindeke R. Machining of Alpha-Beta Titanium with Ultra-High Pressure Through the Insert Lubrication Cooling. / Lindeke R, Schoenig F, Khan A, Haddad J. // In: Transactions of the north american manufacturing research institution of sme. – 1991. – P. 154–61.
3. Akira Hosokawaa. Turning characteristics of titanium alloy Ti-6Al-4V with high-pressure cutting fluid / Hosokawaa Akira, Kosugib Koki, Ueda Takashi // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2022. – № 71. – P. 81–84.
4. Aramcharoen A, Shaw KC. An Experimental Investigation on Cryogenic Milling of Inconel 718 and its Sustainability Assessment / A. Aramcharoen, KC. Shaw // Procedia CIRP. – 2014. – № 14. P. 529–534.
5. Ampara Aramcharoen Influence of cryogenic cooling on tool wear and chip formation in turning of titanium alloy / Ampara Aramcharoen // 7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting. – 2016. – P. 83–86.

---

---

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ  
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ПРИ ПОМОЩИ ВНЕДРЕНИЯ ФАСОННОГО ИНСТРУМЕНТА**

*Н.И. Мозговой, к.т.н., доц., В.С. Чивас<sup>а</sup>, студент*

*Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова.*

*656000, г. Барнаул, проспект Ленина 46, тел. (3452)290894*

*E-mail: <sup>а</sup>Vlad.chivas@bk.ru*

**Аннотация:** В условиях интенсивного развития машиностроительной отрасли стоит острая задача в сокращении операционного времени и обеспечении высокой производительности механической обработки изделий сложной формы.

Под деталями сложной формы, в конкретном случае, имеются в виду детали, имеющие внутренние или наружные поверхности с криволинейной образующей (далее фасонные поверхности). Для повышения производительности обработки такого рода деталей используется не стандартный инструмент, который называется – фасонным.

В статье вопрос использования фасонного инструмента рассматривается на примере фасонного резца стержневого типа. Таким образом, ниже отображены особенности конструкции инструмента и его использования, рекомендации по выбору режимов резания, а так же целесообразность его использования.

**Ключевые слова:** фасонный инструмент, режимы резания, производительность механической обработки.

**Abstract:** With the intensive development of the mechanical engineering industry, there is an urgent need to reduce operating time and ensure high productivity for machining complex-shaped parts.

Complex-shaped parts, in this particular case, are parts having internal or external surfaces with curvilinear form (hereinafter referred to as shaped surfaces). In order to increase the productivity of machining of such kind of parts, a non-standard tool, which is called - a shaped tool, is used.

In this article, the question of using a shaped tool is considered on the example of a shaped cutter of rod type. Thus, the features of tool design and its use, recommendations on the choice of cutting modes, as well as the expediency of its use are displayed below.

**Keyword:** shaped tools, cutting modes, machining performance.

Введение

В условиях функционирования рыночной экономики важной составляющей производственного процесса является не только достижение высокого качества выпускаемой продукции, но и сроки ее изготовления. Именно этот фактор формирует потребность в совершенствовании технологических процессов, оборудования и инструмента, а так же определяют конкурентоспособность изделий на потребительском рынке.

Одним из способов сокращения времени на изготовление деталей является увеличение производительности их обработки. В некоторых случаях, увеличение производительности обработки можно достичь заменой стандартного типа инструмента на нестандартный тип – фасонный.

Исходными данными для проектирования фасонного инструмента являются:

- чертеж изготавливаемого изделия «корпус клапана»;
- чертеж фасонного инструмента;
- годовой объем выпуска изделий – 2500 шт.;
- продолжительность выпуска изделия – 5 лет.

Разновидности, особенности конструкции и принцип действия фасонных резцов

Фасонный резец – это разновидность резцов, у которых профиль режущей кромки совпадает с профилем изготовленной детали.

Данный тип инструмента предназначен не только для обработки тел вращения, но и для объектов плоской, прямоугольной форм и им подобных.

Фасонные резцы можно классифицировать следующим образом:

1) по форме:

- стержневые;
- призматические;
- круглые.

2) по расположению оси или базы крепления по отношению к оси детали:

- с параллельным расположением;
- с наклонным расположением.

- 3) по направлению подачи:  
– радиальные;  
– тангенциальные.
- 4) по форме образующих:  
– круглые резцы с кольцевыми образующими;  
– круглые резцы с винтовыми образующими;  
– призматические резцы с плоскими образующими [1, 2, 3].

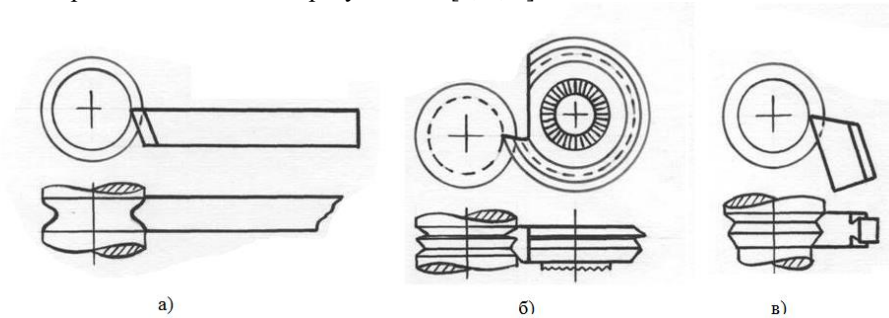


Рис. 1. Фасонные резцы: а) стержневой; б) круглый; в) призматический

#### Геометрические параметры фасонных резцов

Передний угол  $\gamma$  резца – это величина, которая назначается исходя из материала, который им будет обрабатываться. Значение угла для резцов из быстрорежущей стали приведены в таблице 1. Для твердосплавных резцов угол принимают на  $5^\circ \dots 10^\circ$  меньше.

Таблица 1

Значение переднего угла

Обрабатываемый материал	Сталь $\sigma_s$ , МПа		Чугун, НВ			Латунь		Бронза	Красная медь, алюминий	
	1200...800	800...500	500	250...200	200...150	150	ЛС59			Л62
Передний угол, $\gamma$	10...15	20...25	25	12	12	15	0...5	5...10	0...5	25...30

Задний угол  $\alpha$  для фасонных резцов разного формфактора назначают по разному, например, для образования угла круглого резца его вершину необходимо располагать ниже оси на величину  $h$ . Она определяется по формуле:

$$h = R \cdot \sin \alpha, \text{ мм,}$$

где  $R$  – наибольший радиус резца.

Задний угол призматического резца получается не заточкой, а правильной установкой в оснастке. Обычно его значение больше, чем для круглых, и равняется  $12^\circ \dots 15^\circ$

Для оптимизации режимов резания, на всех участках режущей части резца необходимо обеспечить задние углы в сечениях, перпендикулярных проекции режущей кромки на основную плоскость, в районе  $5^\circ \dots 4^\circ$ .

Угол заострения прочно связан с прочностью режущего клина, а так же его теплоотдачей, именно поэтому существует необходимость делать максимально возможные большие углы заострения, особенно на резцах круглого типа.

Технологический режим работы фасонных резцов

При обтачивании поверхности заготовки фасонным резцом наблюдаются вибрации, интенсивность которых зависит от скорости резания и величины подач – продольных или поперечных. Для исключения нежелательной вибрации, которая приводит к некачественной обработке и поломке резца, обычно работают с малыми подачами и скоростью резания при обильном охлаждении резца смазочно-охлаждающей жидкостью.

Подача принимается равной 0,01–0,09 мм/об. в зависимости от диаметра заготовки: чем меньше диаметр заготовки и больше ширина резца, тем меньше должна быть подача.

Скорость резания при указанных подачах несколько меньше, чем при точении с использованием стандартного инструмента и составляет от 18 до 50 м/мин. Для получения малой шероховатости поверхности скорость резания не должна превышать 30 м/мин. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости при обработке стальных заготовок фасонными резцами применяют «Аквакат-СОЖ-01».

В качестве демонстрации реального применения фасонных резцов рассмотрим деталь «Крышка клапана электромагнитного», которая изготавливается на одном из предприятий г. Барнаула.

Внутренняя поверхность изделия является поверхностью со сложной геометрией профиля, обработка которой стандартным инструментом малоэффективна.

Для того, чтобы ускорить процесс изготовления детали был разработан фасонный резец (рис. 2) с профилем режущей части, идентичным профилю внутренней поверхности детали.

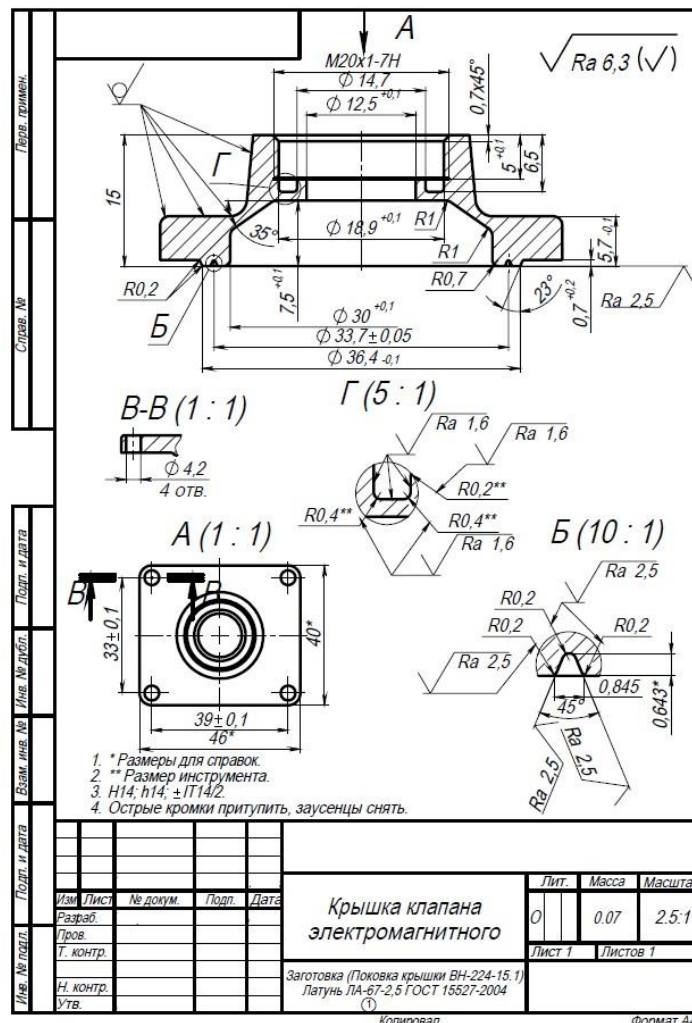


Рис. 2. Чертеж крышки клапана электромагнитного



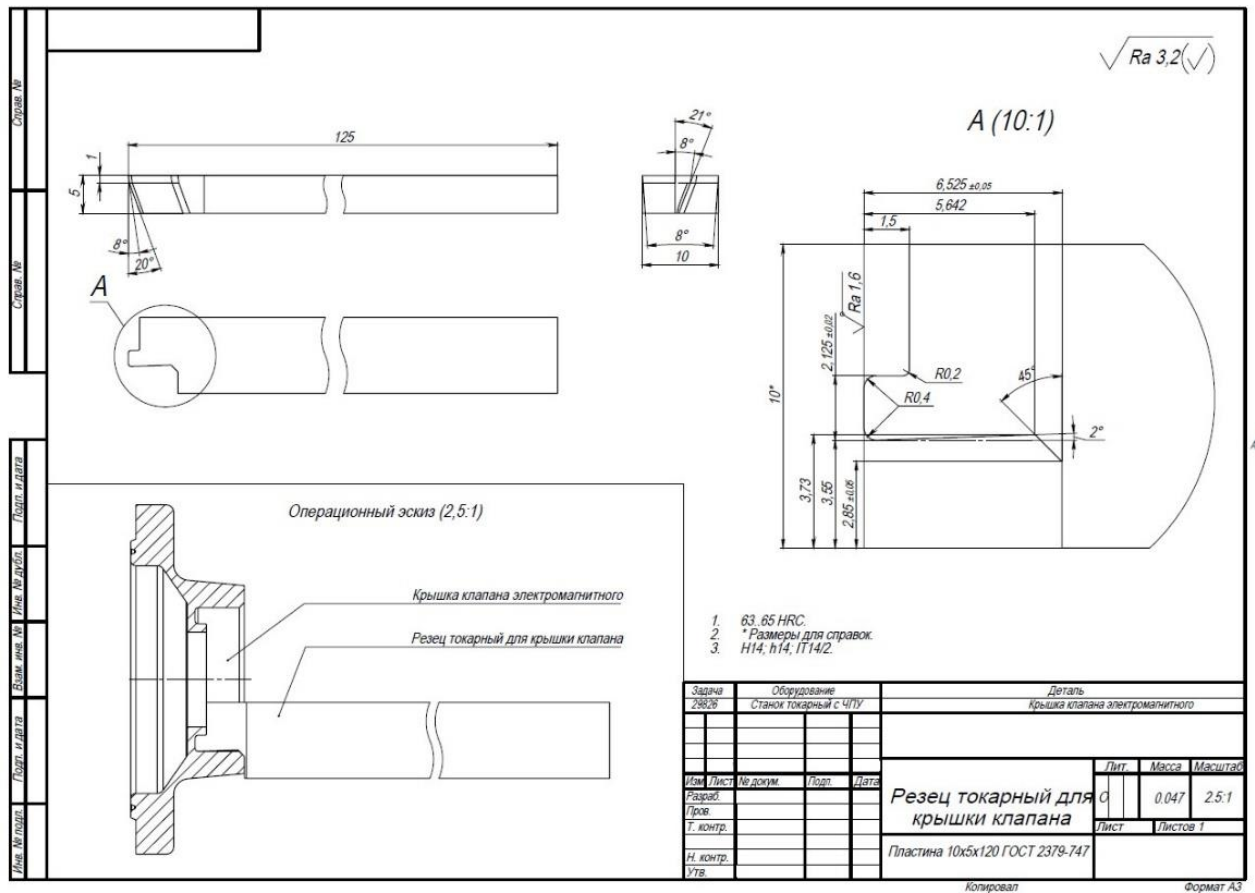


Рис. 3. Чертеж фасонного резца

### Результаты и обсуждение

Введение фасонного резца в технологический процесс позволило сократить количество используемого инструмента и общее количество переходов во время токарной обработки отливки, тем самым сократив операционное время изготовления и повысив тем самым производительность.

Отличительными особенностями, а так же преимуществами фасонных резцов перед стандартными являются:

- полное соответствие формы детали и высокая точность размеров, которые не зависят от компетенций рабочего;
- высокая производительность обработки;
- предельно большое количество переточек;
- переточка резца производится по передней грани, это обеспечивает ее простоту;
- наладка и настройка оборудования не занимает много времени.

### Вывод

1. Рассмотрены основные виды фасонных резцов и их конструктивные особенности.
2. Представлены общие рекомендации по выбору технологического режима работы фасонных резцов.
3. Приведен пример проектирования и последующего использования фасонного резца, сделаны соответствующие выводы по его эффективности.

### Список использованных источников:

1. Кряжев Ю.А. Проектирование фасонных резцов радиального типа: методические указания к лабораторным работам по курсу «Проектирование режущего инструмента» для студентов, обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения / Ю.А. Кряжев, Б.Д. Даниленко. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – 18 с.

2. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: учеб. пособие / под общ. ред. Г.Н. Кирсанова – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с: ил.
3. Грановский Г.И. Фасонные резцы / Г.И. Грановский, К.П. Панченко. – М.: «Машиностроение», 1975. – 309 с.
4. Дарманчев С.К. Фасонные резцы / С.К. Дарманчев. – Л.: Машиностроение, 1968. – 168 с.
5. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2, – 96 с.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

*Н.А. Сапрыкина<sup>а</sup>, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: <sup>а</sup> saprikina@tpu.ru*

**Аннотация:** В статье рассмотрены существующие составы и способы получения высокоэнтروпийных сплавов. Описаны проблемы и перспективы получения сплава методом селективного плавления из порошков Co, Cr, Fe, Mo, Ni и Cu.

**Ключевые слова:** селективное лазерное плавление (СЛП); высокоэнтропийный сплав; аддитивное производство; суперсплав, научная проблема.

**Abstract** The article discusses the existing compositions and methods for obtaining high-entropy alloys. The problems and prospects of obtaining an alloy by selective melting from Co, Cr, Fe, Mo, Ni and Cu powders are described.

**Keywords** selective laser melting (SLP); high-entropy alloy; additive manufacturing; superalloy, scientific problem.

Несмотря на интенсивное развитие аддитивных технологий, позволяющих воспроизвести трехмерный объект сложной геометрической формы из металлических порошковых материалов, на сегодня проблема изготовления деталей сложных геометрических форм из жаропрочных сплавов с высокой точностью и требуемыми механическими свойствами, практически не решена. В современном машиностроении жаропрочные мультикомпонентные кобальтовые сплавы применяется для изготовления лопаток, сопел, завехрителей, колец и прочих элементов турбин и двигателей внутреннего сгорания. Традиционные методы формообразования не обеспечивают в полной мере эксплуатационные и технологические характеристики перечисленных изделий машиностроительной отрасли. Сплавы с высокой энтропией демонстрируют отличные свойства и могут быть одним из видов превосходных высокотемпературных материалов с различными свойствами.

В настоящее время, жаропрочные сплавы получают на алюминиевой, титановой, железной, медной, кобальтовой и никелевой основах. Температура плавления у сплавов на кобальтовой основе более высокая, по этой причине они имеют повышенные характеристики длительной прочности. В этой связи жаропрочные сплавы на основе кобальта могут работать при более высоких температурах, по сравнению со сплавами на основе никеля и железа. Сплавы на основе кобальта, хрома и молибдена обладают уникальными свойствами, применяемыми для работы в агрессивных средах и при высоких температурах. Высокое содержание хрома повышает сопротивление горячей коррозии. Добавление молибдена улучшает коррозионную стойкость и прочность. Хорошо развиты металлургические методы получения таких сплавов. Для улучшения механических свойств применяют термомеханические методы измельчения зерна. Производство деталей из жаропрочного сплава основано на механической обработке, прежде всего, токарно-фрезерной обработке и обработке давлением. Как результат до половины и более дорогостоящих сплавов уходит в стружку и отправляется на передел. Современные тенденции в развитии аддитивных технологий направлены на внедрение новых материалов и улучшение физико-механических характеристик получаемых изделий, а также на сокращение материалов, затрачиваемых на формирование изделия. В последние годы в аддитивных технологиях находят применение металлические порошки, включая чистое железо, нержавеющей сталь, инструментальную сталь, титановые сплавы, кобальт-хромовые сплавы, суперсплавы на основе никеля, сплавы на основе меди, алюминия и др [1]. Деталь, изготовленная методом послойного лазерного плавления, состоит из отвержденных дорожек и объединенных слоев. В процессе локального плавления металлического порошка лучом лазера, быстрого затвердевания и охлаждения затрудняется диффузионное движение атомов металла и легирующих элементов, что тормозит рост зерен и сегрегацию элементов, значительно повышает прочность материала.

Это позволяет получить уникальные микроструктурные особенности, свойственные только данному методу. Перспективным направлением является создание высокоэнтروпийных сплавов. Интерес вызывают высокоэнтропийные сплавы на основе переходных тугоплавких металлов, таких как Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta и W. Легкие металлы, такие как Ti, V и Cr, выбираются для уменьшения плотности, а тугоплавкие, такие как Nb, Ta и W, отвечают, прежде всего, за прочностные характеристики всего материала. В настоящее время большинство компонентов высокоэнтропийных сплавов изготавливают вакуумно-дуговым переплавом, литьем и другими традиционными методами [2, 3]. Все существующие исследования проведены на образцах, полученных методом селективного лазерного плавления из порошка высокоэнтропийного сплава. В [4] рассмотрены высокоэнтропийные сплавы, полученные методом вакуумно-дуговой плавки, системы  $\text{CoCrCu}_x\text{FeMoNi}$  с различным содержанием Cu ( $x = 0,1-1,0$  в мольном соотношении). В данной работе исследованные системы были приготовлены для изучения формирования микроструктуры в состоянии затвердевания. Показано, что прочность сплава вначале повышается с увеличением Cu, а затем снижается. Наибольшая прочность достигается у сплава  $\text{CoCrCu}_{0,1}\text{FeMoNi}$ . В [5] исследовано влияние добавки Cu на фазовый переход и механические свойства высокоэнтропийного сплава  $\text{CrMnFeCoNiCu}_x$ , полученного методом вакуумного дугового плавления. Показано, что прочность и микротвердость сплава  $\text{CrMnFeCoNiCu}_x$  возрастают с увеличением содержания Cu за счет положительного влияния выделения медь-обогащенной фазы, которая препятствует движению дислокаций при деформации. В статье [6] рассмотрено получение эвтектического высокоэнтропийного сплава  $\text{AlCoCrFeNi}_{2.1}$  технологией селективного лазерного плавления и изучено влияние скорости сканирования на его плотность, микроструктуру и механические свойства. Максимальная относительная плотность СЛП  $\text{AlCoCrFeNi}_{2.1}$  может достигать 99,7 %. Порошок сплава  $\text{AlCoCrFeNi}_{2.1}$  подготовлен методом аэрации в качестве сырья для СЛП с размером частиц 15–53 мкм. В [7] слитки сплава номинального состава  $(\text{FeCoNiCrMn})(100-x)\text{Al}_x$  ( $x = 0, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16$  и 20 ат. %) были синтезированы методом вакуумно-дуговой плавки смеси чистых металлов (чистота >99 мас.%) в атмосфере высокочистого аргона с Ti-геттером. В работе [8] представлен краткий обзор результатов исследования высокоэнтропийных сплавов в новой лаборатории ИМЕТ УрО РАН в 2019 г. Изучены две группы сплавов: ВЭС типа  $\text{AlNbTiVZr}$ , содержащие легкоплавкий алюминий, и ВЭС типа  $(\text{Ti}, \text{V})\text{ZrNbHf}(\text{Ta}, \text{W})$ , содержащие исключительно тугоплавкие переходные металлы.

В России, в СТАНКИНе, Назаровым А.П. [9] разработан технологический процесс изготовления сложнопрофильных деталей из жаропрочного кобальтового сплава методом селективного лазерного плавления. Определены связи между параметрами селективного лазерного плавления, структурой и фазовым составом жаропрочного кобальтового сплава. Масштабные исследования в области селективного лазерного плавления из  $\text{CoCrMo}$ -сплава проводятся в Масачусетском технологическом институте (Бостон, США) [10]. В России селективным лазерным спеканием (плавлением) изделий занимается коллектив профессора Шишковского И.В. (Самарский филиал ФИАН) [10, 11] совместно с Национальной инженерной школой Сент-Этьен (Франция) [13] и «Лаборатория инновационных аддитивных технологий» МГТУ «СТАНКИН» [14, 15]. Оборудование для изготовления изделий из порошков тугоплавких материалов выпускают несколько компаний в мире. Компания Concept Laser GmbH (ФРГ) выпускает установки Mlab cusing и R Mlab cusing, которые могут работать с титановыми сплавами, порошком титана и кобальт-хромовыми порошками. Компания SLM Solutions GmbH (ФРГ) выпускает установки SLM® 500 HL которые имеют возможность работать с титановыми и кобальт-хромовыми сплавами.

Микроструктура высокоэнтропийного сплава, полученного из порошков Co, Cr, Fe, Mo, Ni и Cu в процессе лазерного плавления довольно сильно отличается от структуры сплава, полученного традиционными методами. Как известно, Co существует в двух кристаллических модификациях: эпсилон-фаза с гексагональной плотноупакованной решеткой или низкотемпературная фаза, и гамма-фаза с кубической гранецентрированной решеткой, высокотемпературная фаза. Значение твердости сплава напрямую зависит от количества низкотемпературной фазы. В процессе локального плавления металлического порошка лучом лазера, быстрого затвердевания и охлаждения из-за высокой теплопроводности металлического сплава можно достичь увеличения содержания в сплаве высокотемпературной фазы, что способствует повышению твердости и износостойкости детали. Cr, Mo и Fe имеют кубическую объемно-центрированную решетку, Ni и Cu кубическую гранецентрированную. Подобно обычным сплавам, кристаллическое строение, микроструктура и механические свойства тесно связаны с составом высокоэнтропийного сплава. Учитывая, что прочность высокоэнтропийного сплава в основном зависит от твердорастворного упрочнения, в высокоэнтропийные сплавы обычно добавляют элементы с большой разницей атомных радиусов. В тоже время образование твердых фаз является более эффективным для повышения прочности. Включение Cu в состав играет ключевую роль в формировании комплекса уникальных физико-механических свойств получаемого сплава.

Исследования показали, что добавление Cu увеличивает прочность высокоэнтروпийного сплава вследствие того, что Cu имеет большую положительную энтальпию смешения и слабые связи со многими другими металлическими элементами, что позволяет легко сегрегировать в междендритную область и образовывать фазы осаждения, богатые Cu, повышающие прочность сплава, но без потери пластичности.

При использовании метода селективного лазерного плавления для получения изделий из порошковых материалов указанных элементов имеется технологическая проблема, требующая решения. Co, Cr, Fe, Mo, Ni и Cu имеют разброс температур плавления в пределах 1100 градусов и узкий диапазон технологических режимов плавления и получения сплава из перечисленных порошков со стабильным фазовым составом и структурой.

Проблема может быть решена путем поиска необходимых режимов и параметров синтеза при воздействии лазерного луча. Решение научной проблемы, связанной с фундаментальными и прикладными основами технологии селективного лазерного плавления с использованием теоретических и экспериментальных подходов изготовления сложнопрофильных деталей с высокой прочностью из сплава, получаемого в процессе плавления смеси порошков Co, Cr, Fe, Mo, Ni и Cu является актуальной. Выполнение экспериментальных исследований, проведение численного моделирования и сопоставление полученных данных позволят углубить понимание процессов, происходящих при формировании высокоэнтропийных сплавов методом селективного лазерного плавления, а также расширят области фундаментальных основ технологии аддитивного производства.

Список использованных источников:

1. Textures formed in a CoCrMo alloy by selective laser melting / X. Zhou, K. Li, , D. Zhang [et al.] // *J. Alloys Compd.* – 2015. – 631. – P. 153–164. URL : <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.01.096> (дата обращения 06.04.2023).
2. Ameyama Simultaneously enhanced strength and strain hardening capacity in FeMnCoCr high-entropy alloy via harmonic structure design / G.D. Li, M.W. Liu, S.Y. Lyu [et al.] // *Scr. Mater.* – 2021. – 191. – P. 196–201.
3. Zhang Enhancement of strength-ductility trade-off in a high-entropy alloy through a heterogeneous structure. / S.W., G. Wu Q. Wang [et al.] // *Wang Acta Mater.* – 2019. – 165. – P. 444–458.
4. Microstructure and solidification behavior of multicomponent CoCrCuFeMoNi high-entropy alloys / P.H. Wu, N. Liu, W. Yang [et al.] // *Materials Science and Engineering: A.* – 2015. – Volume 642. – P. 142–149. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.06.061> (дата обращения 06.04.2023).
5. Precipitation and its strengthening of Cu-rich phase in CrMnFeCoNiCu high-entropy alloys / Xin Xian, Lijing Lin, Zhihong Zhong [et al.] // *Materials Science and Engineering: A*, 2018. – Volume 713. – P. 134–140. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.12.060> (дата обращения 06.04.2023).
6. Effect of scanning speed on microstructure and mechanical properties of selective laser melting AlCoCrFeNi<sub>2.1</sub> eutectic high-entropy alloy / Liwei Lan, Wenxian Wang, Zeqin Cui [et al.] // *Materials Letters.* – 2023. – Volume 330. – 33321. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133321> (дата обращения 06.04.2023).
7. Microstructural evolution of (FeCoNi)<sub>85.84</sub>Al<sub>7.07</sub>Ti<sub>7.09</sub> high-entropy alloy fabricated by an optimized selective laser melting process / Ji Pengcheng, Wang Zhenhui, Mu Yongkun [et al.] // *Materials & Design.* – 2022. – Volume 224. – 111326. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111326> (дата обращения 06.04.2023).
8. Ремпель А.А. Высокоэнтропийные сплавы: получение, свойства, практическое применение / А.А. Ремпель, Б.Р. Гельчинский // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – 2020. – Том 63. – № 3–4. – С. 248–253.
9. Solid free-form fabrication of drug delivery devices / Benjamin M. Wua, Scott W. Borlandb, Russell A. Giordanob [et al.] // *Journal of Controlled Release.* – 1996. – Volume 40. – P. 77–87.
10. Моделирование и изучение свойств градиентных фильтрующих элементов, синтезированным методом СЛС / И.И. Журавлева, Т.В. Рожченко, А.Л. Петров [и др.] // *Лазерная техника и технология.* – 2006. – С. 419–428.
11. Shishkovskii I.V. Selective laser sintering/melting of nitinol– hydroxyapatite composite for medical applications I.V. Shishkovskii, I.A. Yadroitsev // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics* September. – 2011. – Volume 50. – P. 275–283.
12. Назаров А.П. Типовые образцы изделий, получаемых методом селективного лазерного спекания / А.П. Назаров, А.А. Окунькова // *Вестник Саратовского государственного технического университета.* – 2012. – № 1 (67). – Том 3. – С.76–82.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В НАДПЛУНЖЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ГИЛЬЗЫ  
ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ  
НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ**

*А.В. Балашов<sup>а</sup>, к.т.н., доц., В.А. Курганская, студент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д.46, тел. (3852)–29-08-94  
E-mail: <sup>а</sup> bavagtu@mail.ru*

**Аннотация:** В статье рассмотрен пример расчета давления в надплунжерном пространстве гильзы топливного насоса высокого давления дизельного двигателя испытательной установкой и усилия на плунжере создаваемого рычажным механизмом установки с применением принципа возможных скоростей. Описана методика экспериментального определения усилия рычажного механизма. Приведены зависимости давления в надплунжерном пространстве гильзы от положений рычагов и массы груза.

**Ключевые слова:** гидроплотность, плунжерная пара, установка для испытаний

**Abstract:** The article considers an example of calculating the pressure in the above-plunger space of the high-pressure fuel pump liner of a diesel engine by a test installation and the force on the plunger created by the lever mechanism of the installation using the principle of possible speeds. The method of experimental determination of the effort of the lever mechanism is described. The dependences of the pressure in the above-plunger space of the sleeve on the positions of the levers and the mass of the load are given.

**Keyword:** hydraulic tightness, plunger pair, test facility

Одним из основных элементов топливного насоса высокого давления дизельного двигателя, определяющим как количественные, так и качественные показатели процесса впрыска, являются его прецизионная пара – плунжер - втулка. Топливные насосы дизельных двигателей должны укомплектовываться прецизионными парами, имеющими одинаковые характеристики.

Основной характеристикой плунжерных пар является гидроплотность, от которой зависят утечки топлива через зазор между плунжером и его втулкой в период впрыскивания, величина цикловой подачи, геометрический угол начала подачи топлива и закон подачи топлива.

Гидроплотность плунжерных пар определяется временем перемещения плунжера относительно гильзы на величину активного хода под воздействием груза, создающего в надплунжерном пространстве определенное давление [1].

Гидроплотность плунжерных пар определяется на испытательной установке, рисунок 1. От работы данной установки зависят результаты оценки качества изготовления плунжерных пар.

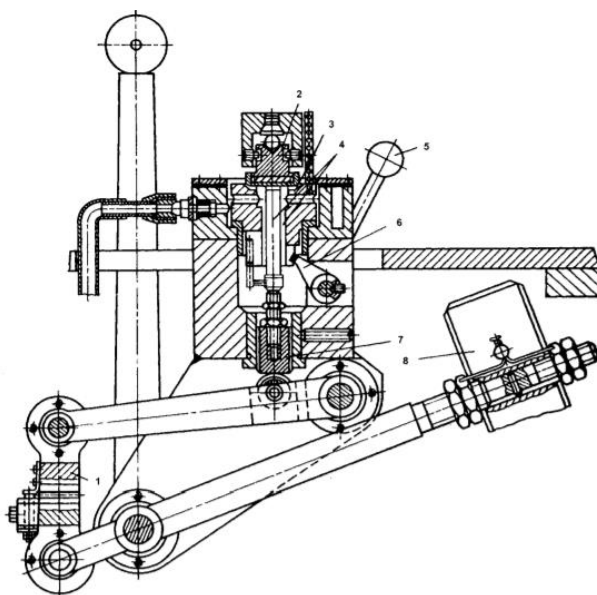


Рис. 1. Схема испытательной установки плунжерной пары на гидроплотность

Испытательная установка, рисунок 1, работает следующим образом: Плунжерная пара 4 устанавливается в отверстие втулки. В надплунжерное пространство подается смесь дизельного топлива с маслом, определенной вязкости. Гильза плунжерной пары 4 уплотняется и фиксируется от перемещения проставкой 2. Далее освобождается груз 8, который стремится переместиться вниз под собственным весом воздействует через систему рычагов на плунжер плунжерной пары 4. Плунжер 4 в надплунжерном пространстве гильзы создает давление. Под воздействием созданного давления смесь дизельного топлива с маслом протекает через зазор в сопряжении гильза – плунжер. Объем вытесненной жидкости занимает плунжер при перемещении груза вниз, при этом созданное давление в надплунжерном пространстве сохраняется. Для определения гидроплотности фиксируется время перемещения груза.

Рассчитано давление жидкости в надплунжерном пространстве гильзы, создаваемое установкой для испытания плунжера с гильзой на плотность.

Давление,  $H$ , в надплунжерном пространстве испытательной установки определяется по зависимости 1:

$$H = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

где  $P$  – вертикальная сила, созданная рычажным механизмом с грузом испытательной установки, и действующая на плунжер, кг;

$S$  – площадь поперечного сечения плунжера,  $см^2$ .

Для определения силы  $P$  применим принцип возможных перемещений рычагов и груза рычажного механизма.

Согласно комплекта конструкторской документации на разработанную установку для испытания плунжера с гильзой составлена теоретическая схема рычажного механизма для определения вертикальной силы  $P$  и давления в надплунжерном пространстве  $H$ , рисунок 2.

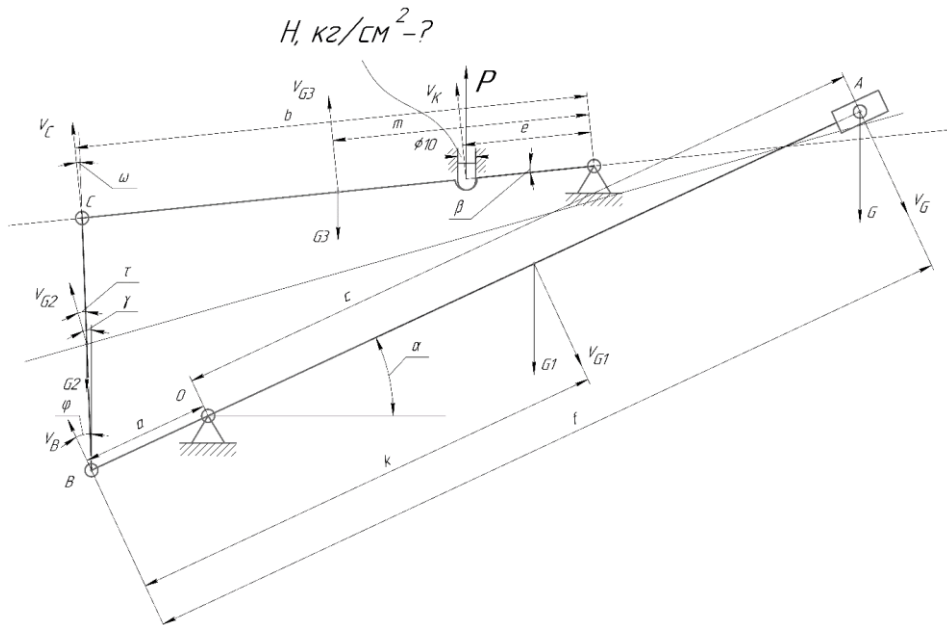


Рис. 2. Расчетная схема рычажного механизма испытательной установки

На рисунке 4 показаны векторы скоростей перемещения характерных точек звеньев (рычагов) рычажного механизма ( $V_{Gi}$ ,  $V_K$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ), векторы сил тяжести ( $G_i$ ,  $P$ ), обозначения линейных и угловых размеров.

$V_G$  – вектор скорости центра тяжести груза.

$V_{G1}$  – вектор скорости центра тяжести длинного рычага.

$V_{G2}$  – вектор скорости перемещения центра рычага вильчатого.

$V_{G3}$  – вектор скорости центра тяжести короткого рычага.

$V_K$  – вектор скорости точки приложения силы к плунжеру.

$V_B$  – вектор скорости точки В (шарнирное соединение длинного и вильчатого рычагов).

$V_c$  – вектор скорости точки с (шарнирное соединение короткого и вильчатого рычагов).

По принципу возможных перемещений [2, 3] составлено уравнение работ рычажного механизма испытательной установки, (рисунок 4).

$$G \cdot V_G \cdot \cos(\alpha) + G1 \cdot V_{G1} \cdot \cos(\alpha) - G2 \cdot V_{G2} \cdot \cos(\gamma) - G3 \cdot V_{G3} \cdot \cos(\beta) - P \cdot V_K \cdot \cos(\beta) = 0 \quad (2)$$

Из уравнения 2 выведена зависимость для определения вертикальной силы, созданной рычажным механизмом с грузом испытательной установки, и действующей на плунжер:

$$P = \frac{(Q + Q1 - Q2 - Q3) \cdot \cos(\omega) \cdot b}{\cos(\varphi) \cdot e}, \quad (3)$$

где  $Q = G \cdot \frac{c}{a}$ ;  $Q1 = G1 \cdot \frac{k-a}{a}$ ;  $Q2 = G2 \cdot \frac{\cos(\varphi)}{\cos(\tau)}$ ;  $Q3 = G3 \cdot \frac{\cos(\varphi) \cdot m}{\cos(\omega) \cdot b}$ .

Для определения вертикальной силы  $P$  необходимы значения: масс звеньев рычажного механизма; координат центра масс звеньев рычажного механизма; размеров звеньев рычажного механизма; углов между векторами сил и направлениями возможных перемещений характерных точек рычажного механизма в различных положениях; углов между звеньями рычажного механизма и вертикалями или горизонталями.

а) Массы звеньев рычажного механизма. Массы звеньев рычажного механизма приведены в таблице 1.

Таблица 1

Массы звеньев рычажного механизма

Обозначение	Наименование деталей, согласно конструкторской документации	Масса, кг	Кол. дет.	Сумма масс, кг
G	Груз	10	1	10
G1	Рычаг длинный	1,7	1	1,7
G2	Рычаг вильчатый	0,6	1	0,6
	Втулка	0,015	2	0,03
	Втулка	0,01	4	0,04
	Палец	0,04	2	0,08
Итого по G2				0,75
G3	Рычаг короткий	1,2	1	1,2
	Толкатель	0,04	1	0,04
Итого по G3				1,24

б) Центры масс звеньев. Груз и рычаг вильчатый имеют симметричную форму, следовательно, центр тяжести этих деталей находится в центрах симметрии деталей.

Для определения центра тяжести рычага короткого и длинного рычага построены их 3D модели в системе Компас 3D. Командой «МЦХ» определены центры тяжести рычагов (рисунки 3 и 4).

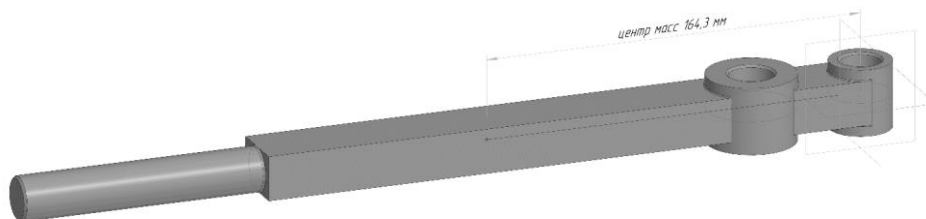


Рис. 3. Положение центра тяжести длинного рычага

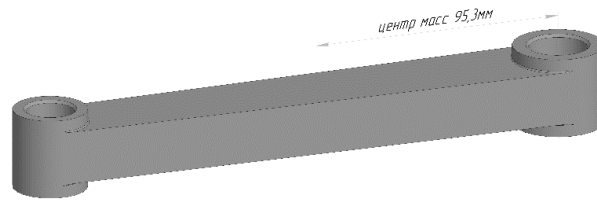


Рис. 4. Положение центра тяжести короткого рычага

Груз может перемещаться вдоль длинного рычага.

Определены возможные положения центра тяжести груза от оси главного отверстия длинного рычага, рисунок 5.

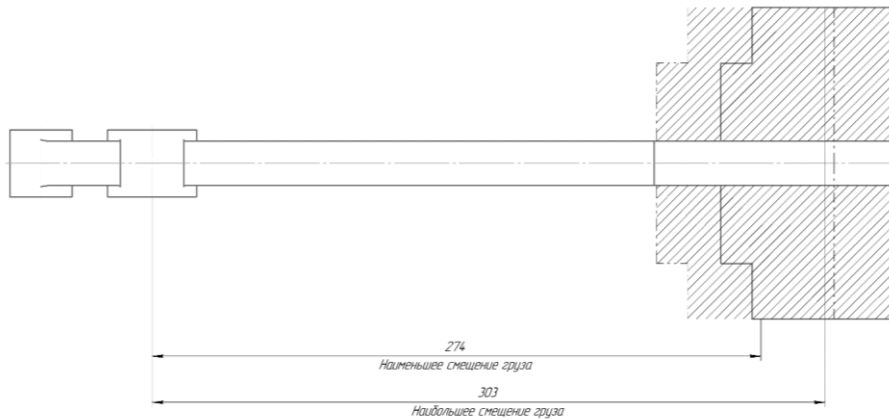


Рис. 5. Возможные (наибольшее и наименьшее) расстояния от центра тяжести груза до оси базового отверстия длинного рычага

г) Размеры звеньев. Согласно конструкторской документации на испытательную установку, выполненных расчетов рычажный механизм имеет следующие размеры (см. рисунок 2):  $a - 50$  мм;  $k - 164,3$  мм;  $b - 200$  мм;  $m - 59,3$  мм;  $e - 50$  мм.

д) Угловые размеры. Для определения углов (см. рисунок 2) в различных положениях построена параметрическая модель рычажного механизма (рисунок 6).

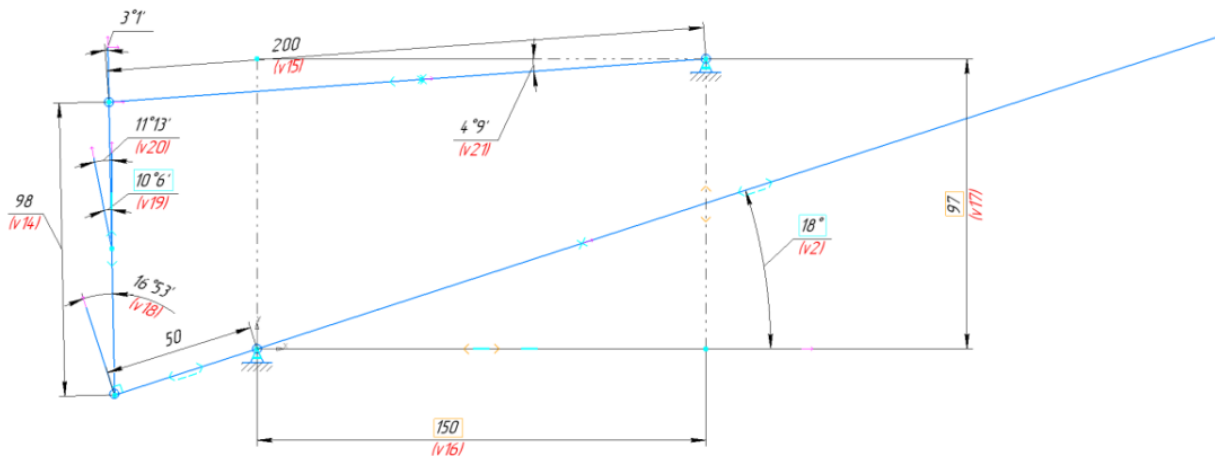


Рис. 6. Параметрическая модель рычажного механизма испытательной установки

Изменяя переменную  $v21$  (рисунок 8) от  $-18^\circ$  до  $+18^\circ$  (угол  $\alpha$  – рисунок 2) определены углы между векторами сил и направлениями перемещения характерных точек рычажного механизма, углы между звеньями рычажного механизма и вертикалями или горизонталями, таблица 2.



Таблица 2

Угловые размеры рычажного механизма испытательной установки в различных положениях рычажного механизма

Угол, градус минута/радиан (см. рисунок 2)					
$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\tau$	$\phi$	$\omega$
-18/0,3142	4 <sup>0</sup> 09 <sup>1</sup> /0,0724	11 <sup>0</sup> 13 <sup>1</sup> /0,1958	10 <sup>0</sup> 06 <sup>1</sup> /0,1763	16 <sup>0</sup> 53 <sup>1</sup> /0,2947	03 <sup>0</sup> 01 <sup>1</sup> /0,0527
-9/0,1571	1 <sup>0</sup> 57 <sup>1</sup> /0,0340	05 <sup>0</sup> 30 <sup>1</sup> /0,0960	05 <sup>0</sup> 12 <sup>1</sup> /0,0908	08 <sup>0</sup> 42 <sup>1</sup> /0,1518	01 <sup>0</sup> 40 <sup>1</sup> /0,0291
0/0	0 <sup>0</sup> 17 <sup>1</sup> /0,0049	00 <sup>0</sup> 09 <sup>1</sup> /0,0026	00 <sup>0</sup> 09 <sup>1</sup> /0,0026	0/0	00 <sup>0</sup> 17 <sup>1</sup> /0,0049
9/0,1571	2 <sup>0</sup> 32 <sup>1</sup> /0,0442	05 <sup>0</sup> 47 <sup>1</sup> /0,1009	06 <sup>0</sup> 02 <sup>1</sup> /0,1053	09 <sup>0</sup> 15 <sup>1</sup> /0,1614	02 <sup>0</sup> 46 <sup>1</sup> /0,0483
18/0,3142	4 <sup>0</sup> 43 <sup>1</sup> /0,0823	11 <sup>0</sup> 32 <sup>1</sup> /0,2013	12 <sup>0</sup> 34 <sup>1</sup> /0,2193	19 <sup>0</sup> 02 <sup>1</sup> /0,3222	05 <sup>0</sup> 45 <sup>1</sup> /0,1004

Результаты расчета вертикальной силы, созданной рычажным механизмом с грузом испытательной установки, и действующей на плунжер,  $P$ , кг (зависимость 3), результаты расчета давления в надплунжерном пространстве испытательной установки,  $H$ , кг/см<sup>2</sup> (формула 1), при диаметре плунжера,  $d=10$  мм, приведены на рисунке 7.

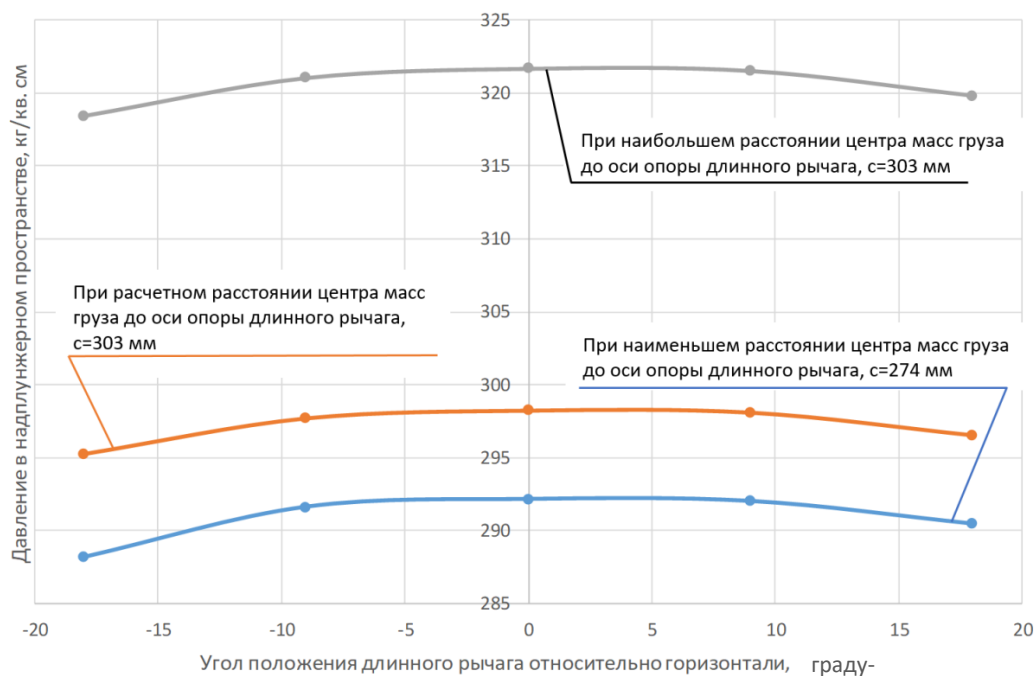


Рис. 7. Зависимости давления в надплунжерном пространстве испытательной установки от различных положений звеньев рычажного механизма

Приведенные расчеты не учитывают работу, затрачиваемую на деформации рычагов, трение в шарнирах, точность изготовления деталей рычажного механизма и т.п., испытательной установки.

Помимо теоретических исследований необходимы экспериментальные исследования. Посредством динамометра конструкции Н.Г. Токаря экспериментально определена вертикальная сила  $P$ .

На предварительно настроенную, на давление  $300 \pm 5$  кг/см<sup>2</sup>, испытательную установку БС-507 устанавливался динамометр конструкции Н.Г. Токаря. Динамометр устанавливался между шариком и проставкой, расположенной на торце плунжера (рисунок 8).

Нажимной гайкой обеспечивался предварительный натяг, равный 1 мм. Далее рукояткой освобождался от фиксации груз. Под воздействием силы тяжести, груз воздействовал на рычаги. Короткий рычаг создавал усилие через толкатель на плунжере. Плунжер передавал усилие через проставку на динамометр. С динамометра считывалась показания. Эксперимент повторялся 5 раз. Результаты эксперимента приведены в таблице 4.

Результаты эксперимента

№ эксперимента	Среднее показание индикаторной головки, мм	Сила, $P$ кг	Давление, $H$ кг/см <sup>2</sup>
1	1,78	234,34	298,37
2	1,76	231,70	295,01
3	1,80	236,97	301,72
4	1,82	239,60	305,07
5	1,79	235,65	300,04

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что установка для испытания плунжера с гильзой на плотность грузом 10 кг может создать расчётное давление в надплунжерном пространстве гильзы от 295 кг/см<sup>2</sup> до 298 кг/см<sup>2</sup> при плече 247 мм, согласно комплекта конструкторской документации на испытательную установку.



Рис. 8. Размещение динамометра на испытательной установке

Список использованных источников:

1. Уханов А.П. Топливоподача дизеля при работе на смесевом рапсово-минеральном топливе : монография / А.П. Уханов. – Пенза : ПГАУ, 2018. – 182 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/131215> (дата обращения: 25.02.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики : учебник / Н.Н. Никитин. – 8-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 720 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/210659> (дата обращения: 25.02.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах : учебное пособие / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. – 10-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022 – Том 2 : Динамика – 2022. – 640 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211073> (дата обращения: 25.02.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

## СОКРАЩЕНИЕ МАШИННОГО ВРЕМЕНИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ СБОРКИ

*Н.И. Мозговой, к.т.н., доц.; В.С. Чивас<sup>а</sup>, студент.*

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.*

*656000, г. Барнаул, проспект Ленина 46, тел. (3452)290894*

*E-mail: <sup>а</sup>Vlad.chivas@bk.ru*

**Аннотация:** Для большинства современных сельскохозяйственных предприятий в условиях рынка и существующих санкций остро стоит вопрос по рационализации производства с целью снижения издержек и повышения его производительности. Одним из основных рабочих органов сельскохозяйственной техники являются пневмоцилиндры, которые представляют собой механические устройства, использующие мощность сжатого газа для создания силы при возвратно-поступательном линейном движении. В статье изложены основные принципы организации технологического процесса сборки пневмоцилиндров, направленные на повышение производительности труда. Описывается влияние каждого принципа на результат технологической сборки изделий: испытательного стенда, который повышает точность позиционирования собираемых деталей для сельскохозяйственной техники с минимизацией влияния человеческого фактора на результат; повышения эргономичности рабочего места снижает утомляемость рабочего и исключает его ненужное перемещение; снижения расхода смазочного материала во время выполнения сборочной операции за счет внедрения специального приспособления; повышения долговечности ответственных деталей сельскохозяйственной техники за счет улучшения их качества смазывания. Рассмотренные принципы повышения производительности труда на участке сборки не являются узкоспециализированными, возможна адаптация принципов под номенклатуру изделий другого предприятия.

**Ключевые слова:** принципы организации, технологический процесс сборки, повышение производительности труда.

**Abstract:** For the majority of modern agricultural enterprises under market conditions and existing sanctions, the issue of streamlining production in order to reduce costs and increase its productivity is acute. One of the main working bodies of agricultural machinery are pneumatic cylinders, which are mechanical devices that use the power of compressed gas to create force in a reciprocating linear motion. The article describes the basic principles of organization of the technological process of pneumatic cylinders assembly, aimed at increasing labor productivity. The influence of each principle on the result of the technological assembly of the products is described: a testing stand, which increases the accuracy of positioning of the assembled parts for agricultural machinery with minimization of the human factor influence on the result; increase of ergonomics of the working place reduces fatigability of the worker and excludes his unnecessary motion; decrease of the lubricant consumption during the assembly operation at the expense of the introduction of a special device; increase of durability of critical parts of agricultural machinery. The considered principles of increasing labor productivity at the assembly area are not highly specialized, adaptation of the principles to the product range of another enterprise is possible.

**Keyword:** principles of organization, assembly process, increasing labor productivity.

Введение

В условиях санкций европейских стран и рыночной экономики одной из важных составляющих производственного процесса для поддержания конкурентоспособности продукции становится обеспечение высокого качества выпускаемой продукции современных сельскохозяйственных машиностроительных предприятий, снижение издержек и рационализация производства [1, 2].

Мероприятия по совершенствованию технологических и организационных процессов позволяют повысить уровень конкурентоспособности предприятий, что положительно влияет на прибыльность предприятия и его имидж в целом.

Одним из способов рационализации является оптимизация сборочных процессов, которая достигается путем соблюдения основополагающих принципов организации ТП сборки. Данные принципы легли в основу организации ТП сборки пневмоцилиндров на одном из предприятий города Барнаула, доказав свою эффективность на практике.

Исходными данными для проектирования технологических процессов сборки изделия являются:

- сборочный чертеж изделия - пневмоцилиндра;
- чертежи деталей;
- спецификация к изделию;
- годовой объем выпуска изделий – 2000 шт.;
- продолжительность выпуска изделия – 2 года.

Материалы и методы исследования

В условиях конкуренции за нишу на рынке каждое предприятие старается повысить качество своей продукции. Такая тенденция требует повышенного внимания к вопросам стандартизации и совершенствованию технологического процесса сборки, применения новых и передовых технологий при разработке технологического процесса: разработка чертежей и технологической документации, связанная с выбором необходимой точности поверхностей и шероховатости, обоснованием посадок, с учётом технологических особенностей обработки выбором контрольно-измерительных средств, особенно с обоснованным нормированием последовательности сборки изделия в целом, что, в первую очередь, формирует качественные показатели машиностроительных изделий.

Последовательность общей сборки изделия определяется его конструктивными особенностями и заложенными в конструкции методами получения требуемой точности. Форма организации сборочного процесса оказывает меньшее влияние на последовательность сборки изделия.

ТП сборки пневмоцилиндров состоит из 8 этапов, прописанных в инструкции по сборке (рис. 1).

<b>№ версии:</b>	A1	<b>Действует с:</b>	
<b>Утвердил:</b>		<b>Дата утв:</b>	
<b>Участков:</b>	1	<b>Этапов:</b>	8
<b>Конт. точек:</b>	12	<b>Листов К.Д.</b>	1
<b>Этапы процесса</b>			
<b>Этап</b>	<b>Название этапа</b>		<b>К.Т.</b>
	Пред. инстр. ТВПЕ.300648.001-032ИСБ		
Этап1	Подготовка рабочего места и деталей		
Этап2	Выставление отверстий в одной плоскости		
Этап3	Подготовка корпуса		
Этап4	Установка корпуса на заднюю крышку		
Этап5	Подготовка штока		
Этап6	Сборка штока		
Этап7	Установка передней крышки		
Этап8	Проверка на герметичность		

Рис. 1. Этапы сборки пневмоцилиндров

Данная технология сборки основана на пяти принципах, которые обеспечивают высокое качество работ и максимальную производительность труда.

*Первый принцип* – это разработка и актуализация производственных инструкций по сборке.

Инструкция по сборке представляет собой документ, в котором однозначно определен алгоритм действий, позволяющий наиболее оптимальным способом выполнить операции по сборке пневмоцилиндра. Правильно составленная инструкция позволяет увеличить темпы сборки, снизить влияние человеческого фактора на качество собираемых изделий, а также сократить время обучения нового сотрудника [3, 4, 5].

*Второй принцип* – это правильная организация рабочего пространства.

Безусловно, понятие «правильности» каждому человеку индивидуально, но существуют основные нормы, позволяющие повысить эргономичность рабочего места, в такие нормы входят габариты верстаков, высота расположения и глубина полок, организация мест хранения инструмента, отсутствие на рабочем месте посторонних предметов, которые не участвуют в процессе сборки и другие параметры рабочего пространства.

Пример организации рабочего места слесаря представлен на рисунке 2.

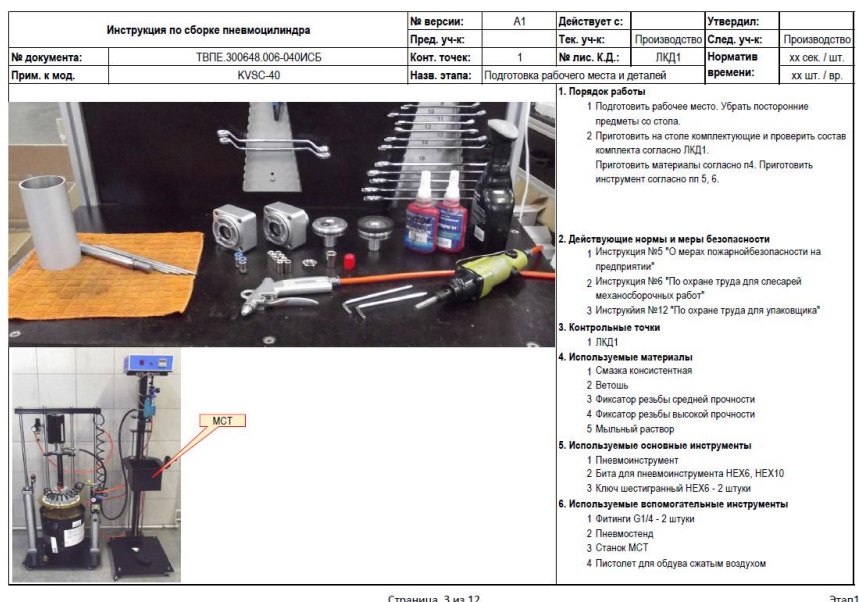
Повышение эргономичности рабочего места, снижает утомляемость рабочего, а также устраняет его ненужное перемещение, сокращая общее время сборочного процесса и повышая производительность.

*Третий принцип* – это использование современного механизированного и слесарно-сборочного инструмента.

Возможность быстрой переналадки, высокий КПД, мобильность, так же компактность современного инструмента позволяет выполнять операции ТП сборки быстро, качественно, обеспечивая высокую повторяемость.

*Четвертый принцип* – это разработка и внедрение специальной оснастки.

Использование специальной оснастки, спроектированной для конкретной операции, часто обусловлено особенностью конструкции сопрягаемых деталей. В данном случае в арсенале слесаря существуют оправки для установки поршня в сборе с уплотнительными элементами в корпус пневмоцилиндра. Приспособление повышает эффективность труда рабочего и снижает уровень брака.



Страница 3 из 12

Этап1

Рис. 2. Пример организации рабочего места слесаря

*Пятый принцип* – это автоматизация процессов.

Технологический процесс сборки включает в себя целый ряд операций, две из них - смазка внутренней поверхности корпуса и контрольное испытание пневмоцилиндров – автоматизированы [6, 7, 8].

На данном предприятии в ТП сборки автоматизированы две операции – это смазка внутренней поверхности корпуса при помощи машины смазки (рис. 3) и контрольное испытание готового изделия при помощи испытательного стенда для пневмоцилиндров (рис. 4).

Смазка внутренней поверхности корпуса пневмоцилиндра необходима для уменьшения трения между сопрягаемыми деталями во время их работы. Для уменьшения расхода смазочного материала во время выполнения операции было разработано специальное приспособление – станок МСТ (машина смазки труб) (рис. 3).

Оборудование состоит из двух модулей: модуль маслonaгнетателя и модуль распыления.

В процессе сборки слесарь, в первую очередь джойстиком поднимает (опускает) емкость для сбора смазки на необходимую высоту, затем подносит корпус пневмоцилиндра к соплу и нажатием кнопки активирует маслonaгнетатель. Смазка под давлением попадает в сопло модуля распыления и оттуда распыляется равномерным слоем по поверхности корпуса.

Станок имеет гибкую систему регулировок и позволяет наносить смазку быстро и равномерно, помимо этого, излишки смазки скапливаются в емкости, а затем используется повторно.

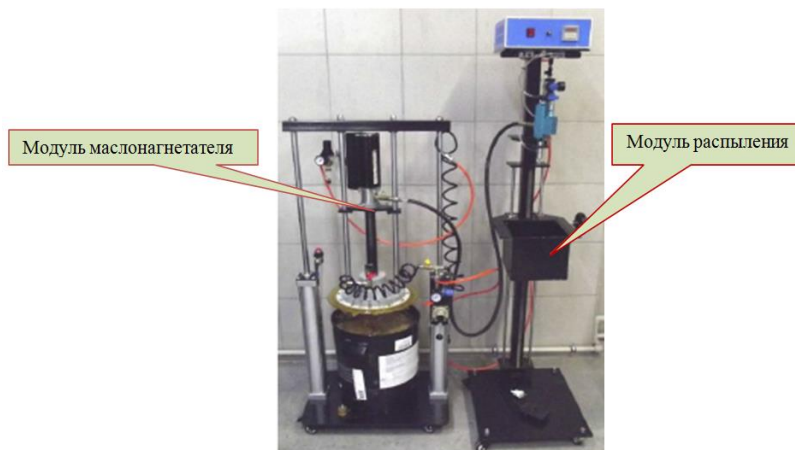


Рис. 3. Станок МСТ

Чтобы проверить собранное изделие на наличие брака проводят контрольное испытание, в ходе которого определяются его работоспособность и герметичность.

Для сокращения потерь времени на стадии испытаний был разработан испытательный стенд (рис. 4). Данный стенд выполняет цикл испытаний в автоматическом режиме, минимизируя влияние человеческого фактора на результат.

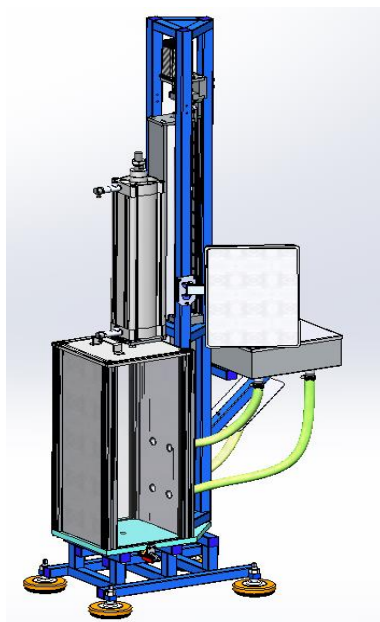


Рис. 4. Испытательный стенд

Суть испытания заключается в том, чтобы проверить пневмоцилиндр на герметичность. Для этого изделие устанавливают на площадку стенда, подключают к пневматической магистрали и опускают в резервуар с жидкостью. После этого в магистрали создается давление, шток пневмоцилиндра выдвигается на величину рабочего хода и останавливается на определенное время, затем возвращается обратно, этот цикл повторяется несколько раз автоматически, по заданному алгоритму.

Герметичность оценивается по неизменности величины давления в магистрали, и дополнительно контролируется визуально сквозь прозрачные стенки резервуара.

Результаты и обсуждение

Разработка и актуализация инструкций позволяет исключить «ненужные» действия и операции в технологическом процессе.

Правильная организация рабочего места повышает эффективность труда и уменьшает утомляемость.

Использование качественного слесарно-сборочного и механизированного инструмента повышают производительность труда.

Автоматизация процессов позволяет сократить расход материалов и влияние человеческого фактора на качество изготавливаемой продукции и результаты испытаний.

Выводы

1. Предложен испытательный стенд, входящий в технологический процесс сборки, который повышает точность позиционирования собираемых деталей для сельскохозяйственной техники с минимизацией влияния человеческого фактора на результат.

2. Повышение эргономичности рабочего места позволило снизить утомляемость рабочего и исключить его ненужное перемещение, что привело к сокращению общего времени сборочного процесса и повысило производительность.

3. Снижен расхода смазочного материала во время выполнения сборочной операции за счет внедрения специального приспособления – станка МСТ.

4. Повышена долговечность ответственных деталей сельскохозяйственной техники за счет улучшения качества смазывания пар трения-качения.

Принципы повышения производительности труда на участке сборки, которые данное предприятие активно развивает не являются узкоспециализированными, это значит, что практику их внедрения и развития можно применить на других предприятиях. После адаптации принципов под другую номенклатуру изделий гарантированно возрастет производительность предприятия и снизятся производственные издержки.

Список использованных источников:

1. Басаков М.И. Охрана труда: безопасность жизнедеятельности в условиях производства: учебно-практическое пособие / М.И. Басаков. – М.: Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. – 345 с.
2. Герасимова Г.Е. Все о качестве. Отечественные разработки / Г.Е. Герасимова // Процессы: подходы и трудности. Бережливое производство: научно-технический сборник. – М.: НТК «Трек», 2017. – Выпуск № 5 (56). – 998 с.
3. ГОСТ Р 56908–2016. Бережливое производство. Стандартизация работы. – М., 2016. – 11 с.
4. Матвеев, В.Н. Научные основы технологии машиностроения: учебное пособие для вузов / В.Н. Матвеев, А.П. Абызов, А.Г. Схиртладзе. – Альметьевск, 2003. – 245с.
5. Раджу Н. Бережливые инновации: технологии умных затрат : [12+] / Н. Раджу, Д. Прабху. – Москва : Олимп-Бизнес, 2017. – 416 с. – URL : <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494951> (дата обращения: 01.12.2022). – ISBN 978-5-9909050-6-1. – Текст : электронный.
6. Хоббс Д. Внедрение бережливого производства. Практическое руководство по оптимизации бизнеса / Д. Хоббс. – Москва: Гревцов Паблишер, 2015. – 352 с. – Текст : непосредственный.
7. Энциклопедия по машиностроению XXL – URL: <https://mash-xxl.info/info/718504/> (дата обращения: 02.12.2022).

#### **МИКРОТВЕРДОСТЬ ЕДИНИЧНЫХ ВАЛИКОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ**

*О.Г. Девойно, д.т.н., проф., М.А. Кардаполова, к.т.н., доц., Н.И. Луцко<sup>а</sup>, науч. сотр.*

*Белорусский национальный технический университет*

*220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (375 17)331-00-45*

*E-mail: <sup>а</sup> nilucko@tut.by*

**Аннотация:** В статье изучены закономерности формирования микротвердости в единичных валиках из никелевого сплава ПГ-12Н-01 при лазерной наплавке с поперечным сканированием. Получены зависимости микротвердости от режимов лазерной наплавки. Установлено, что режимы лазерной наплавки с поперечным сканированием оказывают значительное влияние на микротвердость единичных валиков.

**Ключевые слова:** лазерная наплавка, поперечное сканирование, микротвердость, режимы наплавки

**Abstract:** The paper studies the patterns of formation of microhardness in single tracks made of nickel alloy PG-12N-01 during laser cladding with transverse scanning. Dependences of microhardness on laser cladding modes are obtained. It has been established that the regimes of laser cladding with transverse scanning have a significant effect on the microhardness of single tracks.

**Keywords:** laser cladding, transverse scanning, microhardness, cladding modes

Потребность в упрочнении поверхностей деталей современных машин и механизмов постоянно растет. В настоящее время известно множество способов упрочнения поверхностей. Среди них немалое место занимают способы напыления и наплавки упрочняющих покрытий. Одним из наиболее выгодных способов наплавки, с точки зрения свойств упрочненного слоя, является лазерная наплавка. Для покрытий, получаемых лазерной наплавкой характерны меньший размер зерна, более низкая степень диффузии, меньшее количество дефектов и более высокая прочность сцепления. Кроме того, эти покрытия обладают хорошей износостойкостью, коррозионной стойкостью, усталостной стойкостью и стойкостью к окислению, что способствует широкому применению лазерной наплавки во многих отраслях промышленности [1–4].

Классическая лазерная наплавка имеет небольшую зону обработки, определяемую размером лазерного пятна на поверхности детали, что предопределяет невысокую производительность. Увеличение производительности возможно только при расфокусировке лазерного луча, но при этом уменьшается плотность мощности излучения [5, 6].

Твердотельные лазеры последнего поколения (диодные и волоконные) могут иметь мощность до нескольких десятков киловатт. Однако, расфокусировка излучения этих лазеров в разумных пределах, допускающих технологическое применение, затруднена высоким коэффициентом поглощения излучения для металлов [7, 8].

Решение проблемы расфокусировки было найдено после появления систем программно управляемого сканирования лазерного пятна, которые позволяют распределять по достаточно большой поверхности сильно сфокусированный луч лазера, без сильного изменения свойств и разрушения этой поверхности. Системы сканирования позволяют гибко адаптировать размеры наплавляемых валиков к требованиям геометрии детали непосредственно в онлайн режиме. Это дает возможность увеличить производительность процесса наплавки, улучшить стабильность, добиться высокого качества и гибкой геометрии наплавочного валика [9, 10].

В данной статье изложены результаты исследования влияния режимов лазерной наплавки с поперечным сканированием на микротвердость единичных валиков из самофлюсующегося сплава на основе никеля. Изучение микротвердости в поперечном сечении валиков и ее взаимосвязи с параметрами процесса наплавки имеет весьма большое значение для понимания процесса формирования микротвердости в слое покрытия. В качестве материала валиков при наплавке использовался порошок самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01. Химический состав порошка приведен в таблице 1. Порошок перед наплавкой просеивался до грануляции 20–80 мкм и подвергался сушке в электропечи при температуре 200 м°С в течение двух часов с последующим охлаждением вместе с печью.

Таблица 1

*Химический состав порошка марки ПГ-12Н-01*

Содержание компонентов, % вес.					
Cr	B	Si	Fe	C	Ni
8-14	1,7-2,5	1,2-3,2	1,2-3,2	0,3-0,6	Основа

Наплавка производилась способом боковой подачи порошка, который с помощью дискового питателя и специально разработанного щелевого сопла подавался в зону действия лазерного излучения впереди лазерного пятна на поверхности подложки в направлении наплавки. Лазерным источником являлся волоконный лазер фирмы «IPG» (США) типа YLR-1 мощностью 1000 Вт. Перемещения оптической системы относительно образца производились с помощью координатного стола, оснащенного системой числового программного управления РУХ-4.0. Поперечное сканирование лазерного пятна относительно направления наплавки осуществлялось программируемым сканером фирмы «Ситела» (Республика Беларусь). Наплавка производилась на образцы из стали 45 размером 40×70×10 мм. В процессе наплавки использовались скорости наплавки 80, 100, 120 и 140 мм и площади пятна сканирования 4×0,1 мм, 4×0,3 мм и 4×0,5 мм. Схема наплавки приведена на рис. 1. Сканирование лазерного пятна осуществлялось перпендикулярно плоскости рисунка.



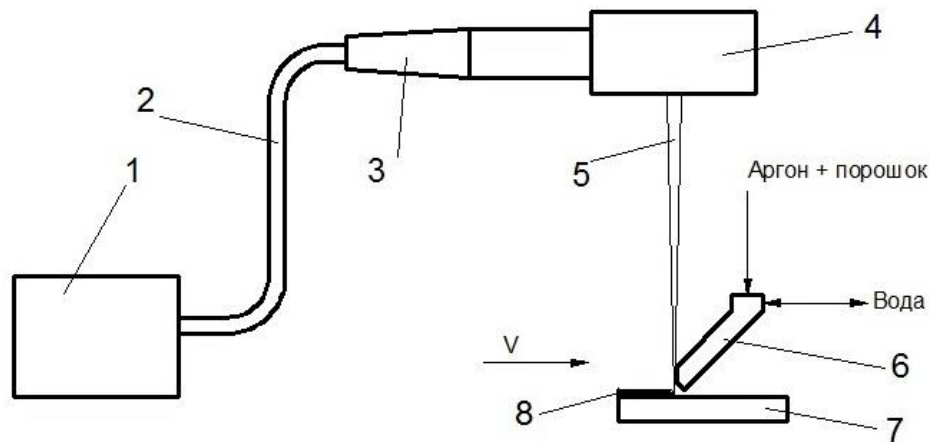


Рис. 1. Схема процесса лазерной наплавки с поперечным сканированием:  
1 – волоконный лазер; 2 – оптоволоконный кабель; 3 – коллиматор; 4 – 2D сканер; 5 – сканируемый луч лазера;  
6 – целевое наплавочное сопло; 7 – наплавляемый образец; 8 – наплавленный валик; v – направление наплавки валиков

Образцы с наплавленными единичными валиками разрезались перпендикулярно наплавленным валикам и изготавливались микрошлифы поперечного сечения. Распределение микротвердости по глубине наплавленных валиков исследовалось с помощью микротвердомера ПМТ-3. Измерения производились при нагрузке 100 г по осевой линии валиков, перпендикулярно основе с шагом 0,05 мм. С целью определения глубины зоны термического влияния производились измерения и в материале подложки.

Полученные результаты для мощности излучения 1000 Вт приведены на рисунке 2 для площадей сканирования 4×0,1 мм (рисунок 2а), 4×0,3 мм (рис. 2б), 4×0,5 мм (рисунок 2в). Координата «0» на рисунке 2 соответствует границам валиков и подложек. Положительные значения координат соответствуют материалам валиков, отрицательные значения координат – материалам подложек.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 2, распределение микротвердости по глубине валиков для всех режимов наплавки достаточно равномерное, значительные скачки микротвердости отсутствуют. Это свидетельствует о хорошем перемешивании материала валиков и равномерном прогреве по всему поперечному сечению. Однако, можно отметить небольшое уменьшение равномерности распределения микротвердости по глубине валиков при увеличении площади пятна сканирования, что может говорить о некотором ухудшении, в этом случае равномерности прогрева и перемешивания материала валиков.

На границе покрытия и подложки при всех режимах наплавки отсутствует резкое изменение микротвердости, что свидетельствует о хорошем металлургическом соединении покрытия и подложки и о довольно большой величине переходной зоны.

Глубина зоны термического влияния имеет довольно большую величину также при всех режимах наплавки. Причем глубина зоны термического влияния увеличивается при увеличении площади пятна сканирования с 1 мм при площади пятна сканирования 4×0,1 мм до 1,3 мм при площади пятна сканирования 4×0,5 мм. Это может говорить об увеличении скорости нагрева и охлаждения при росте площади пятна сканирования. Средняя микротвердость в зоне термического влияния в связи с вышесказанным также возрастает с увеличением площади пятна сканирования и достигает достаточно большой величины – 4660 МПа, что соответствует HRC 46.

Для определения влияния режимов лазерной наплавки на микротвердость наплавленных валиков были рассчитаны величины средней микротвердости и построены графики зависимости средней микротвердости от скорости наплавки (рис. 3) и от площади пятна сканирования (рис. 4) при мощности излучения 1000 Вт.

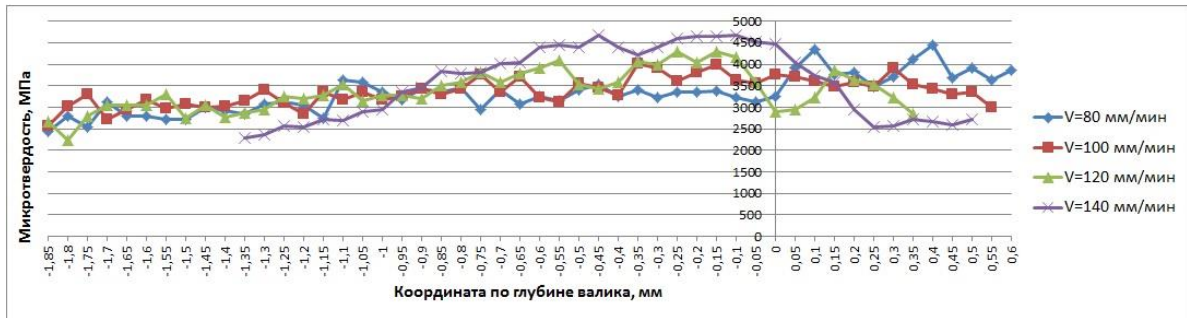
XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»



а



б



в

Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине валиков, нанесенных при мощности излучения 1000 Вт:  
а – при площади пятна сканирования  $4 \times 0,1$  мм; б – при площади пятна сканирования  $4 \times 0,3$  мм;  
в – при площади пятна сканирования  $4 \times 0,5$  мм

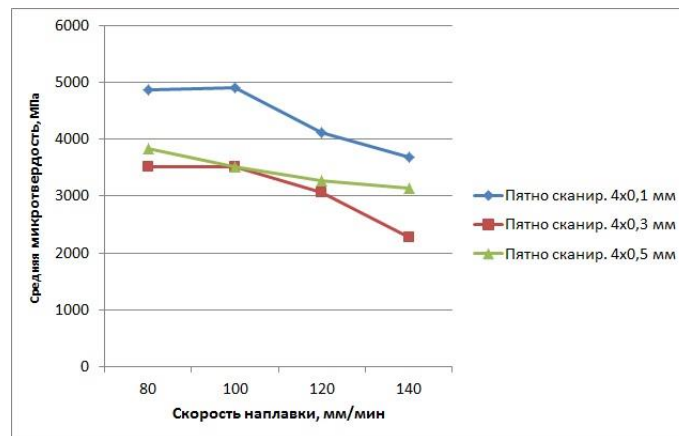


Рис. 3. Зависимости средней микротвердости валиков наплавки от скорости наплавки при мощности излучения 1000 Вт

Как видно из рисунка 3, при увеличении скорости лазерной наплавки средняя микротвердость валиков из сплава ПГ-12Н-01 уменьшается при всех площадях пятна сканирования. Это связано с тем, что при увеличении скорости наплавки происходит уменьшение удельной энергии, поступающей в валик. По этой причине ухудшается сплавление материала валиков по границам зерен и происходит уменьшение средней микротвердости.

При увеличении площади пятна сканирования вначале средняя микротвердость уменьшается, достигает минимума при площади пятна сканирования  $4 \times 0,3$  мм, а затем несколько повышается, рисунок 4. Такой характер зависимостей связан с действием одновременно двух факторов. С одной стороны, при увеличении площади пятна сканирования уменьшается удельная энергия, поступающая в валик, и это вызывает уменьшение средней микротвердости. С другой стороны, увеличение площади пятна сканирования приводит к увеличению скорости нагрева и охлаждения материала валиков (как показано выше) и к образованию более мелкозернистой микроструктуры с более высокой микротвердостью. Второй фактор как раз и приводит к некоторому увеличению микротвердости при площади пятна сканирования  $4 \times 0,5$  мм.

Для определения влияния мощности лазерного излучения и наличия предварительного подогрева подложки на микротвердость материала валиков наплавки были проведены эксперименты при мощности излучения 800 Вт и эксперименты, при которых применялась мощность излучения 1000 Вт и предварительный подогрев подложки до  $300^\circ\text{C}$ . Все испытания проводились при скоростях наплавки 80, 100, 120 и 140 мм/мин и площади пятна сканирования  $4 \times 0,1$  мм.

На рисунке 5 показаны зависимости средней микротвердости от скорости наплавки для валиков, наплавленных при мощности 1000 Вт и 800 Вт, а также при мощности 1000 Вт с использованием предварительного подогрева подложки до  $300^\circ\text{C}$ .

Из рисунка 5 видно, что для всех исследованных режимов наплавки при увеличении скорости наплавки средняя микротвердость в валиках из сплава ПГ-12Н-01 уменьшается, что, как уже было описано выше, связано с уменьшением удельной энергии, поступающей в валик наплавки.

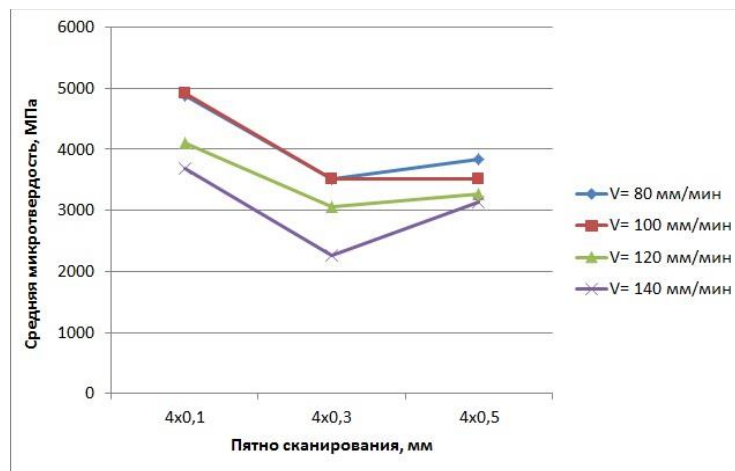


Рис. 4. Зависимости средней микротвердости валиков наплавки от площади пятна сканирования при мощности излучения 1000 Вт

Характер графиков несколько различается. Для валиков, полученных при мощности излучения 1000 Вт без предварительного подогрева, в интервале скоростей наплавки 80–100 мм/мин, микротвердость остается практически неизменной (около 4900 МПа), так как в этом случае в покрытие вводится большая удельная энергия, при которой образуется плотная микроструктура с высокой микротвердостью, а затем микротвердость начинает достаточно быстро уменьшаться и при скорости наплавки 140 мм/мин уже составляет только 3700 МПа. Для валиков, полученных при мощности излучения 800 Вт, во всем интервале скоростей наплавки, происходит медленное уменьшение микротвердости. Если при скоростях наплавки 80–120 мм/мин микротвердость в валиках, полученных при мощности излучения 800 Вт, составляет 4500–4340 МПа, что меньше микротвердости валиков, полученных при мощности 1000 Вт, то в дальнейшем, из-за быстрого уменьшения микротвердости валиков, полученных при мощности 1000 Вт, микротвердость валиков, наплавленных при мощности 800 Вт становится выше микротвердости валиков, нанесенных при мощности 1000 Вт и составляет 4340–4210 МПа.

Медленное уменьшение микротвердости валиков при мощности 800 Вт объясняется тем, что меньшее количество поступившей энергии при низких скоростях наплавки не дает возможности формирования такой плотной микроструктуры с высокой микротвердостью, как при использовании мощности 1000 Вт, и уменьшение микротвердости происходит более плавно. Микротвердость валиков, наплавленных при мощности излучения 1000 Вт с предварительным подогревом подложки до 300 °С имеет меньшую величину, чем в двух предыдущих случаях, и изменяется в интервале 3900–3330 МПа.

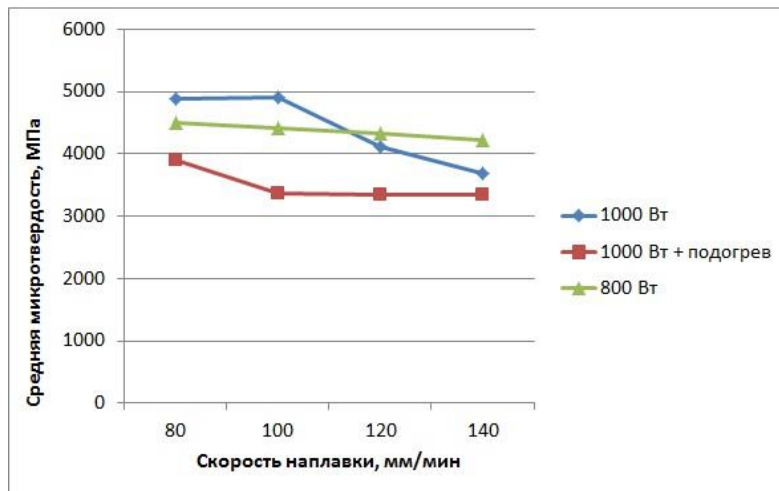


Рис. 5. Зависимости средней микротвердости от скорости наплавки единичных валиков, нанесенных при различных мощностях излучения и с использованием предварительного подогрева подложки до 300 °С при площади пятна сканирования 4×0,1 мм

Происходит это потому, что наличие предварительного подогрева обеспечивает излишнее поступление энергии в валик при наплавке и приводит к большей диффузии железа в материал валика, что способствует уменьшению средней микротвердости. При этом предварительный подогрев нивелирует энергию, поступившую в валик при различных скоростях наплавки, что приводит к весьма медленному уменьшению микротвердости во всем интервале скоростей наплавки.

Проведенные исследования показали, что мощность излучения, скорость наплавки, площадь пятна сканирования и предварительный подогрев основы оказывают сильное влияние на микротвердость в валиках наплавки. Особенно сильное влияние на величину микротвердости оказывает предварительный подогрев подложки, при наличии которого имеет место сильная диффузия железа в покрытие. Влияние всех исследованных факторов необходимо учитывать при назначении режимов лазерной наплавки.

Список использованных источников:

1. Naghiyan Fesharki M. Microstructure investigation of Inconel 625 coating, obtained by laser cladding and TIG cladding methods / M. Naghiyan Fesharki, R. Shoja-Razavi, H.A. Mansouri, H. Jamali. – Текст электронный // Surface & Coating Technology. – 2018. – V. 353. – P. 25–31. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.061> (дата обращения 30.03.2023).
2. Meng L. A comparison of microstructure and mechanical properties of laser cladding and laser-induction hybrid cladding coatings on full scale rail / L. Meng, W. Zhao, K. Hou [et al.]. – Текст: электронный // Materials Science and Engineering. – 2019. – V. A748. – P. 1–15. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.01.068> (дата обращения 30.03.2023).
3. Dai J. Characterization and correlation of microstructure and hardness of Ti6Al4V sheet subface-treated by pulsed laser / J. Dai, T. Wang, L. Chai, X. Hu, L. Zhang, N. Guo. – Текст: электронный // Journal of Alloys Compounds. – 2020. – V. 826. – P. 154243. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jallcov.2020.154243> (дата обращения 30.03.2023).
4. Chai L. Materials characterization microstructural characteristics of a commercially pure Zr treated by pulsed laser at different powers / L. Chai, B. Chen, S. Wang // Materials Characterization. – 2015. – V. 110. – P. 25–32. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.10.008> (дата обращения 30.03.2023).

5. Farahmand P. An experimental-numerical investigation of heat distribution and stress field in single and multi-track laser cladding by a high power direct diode laser / P. Farahmand, R. Kovacevic // Optics & Laser Technology. – 2014. – V. 63. – P. 154–168.
6. Zhong M. Microstructural evolution in high power laser cladding of Stellite 6/WC layers/ M. Zhong, W. Liu, K. Yao // Surface & Coating Technology. – 2002. – V. 157. – P. 128–137.
7. Zhou C. Mitigation of pores generation at overlapping zone during laser cladding / C. Zhou, S. Zhao, Y. Wang, F. Liu, W. Gao, X. Lin // Journal of Materials Processing Technology. – 2015. – V. 216. – P. 369–374.
8. Influence of overlapping tracks on microstructure evolution and corrosion behavior in laser-melt magnesium alloy / Y.C. Guan, W. Zhou, Z.L. Li [и др.] // Materials & Design. – 2013. – V. 52. – P. 452–458.
9. Palmer T.A. Implementation of Laser Cladding for Virginia Class Submarine Main Propulsion Shaft Repair / T.A. Palmer // In book: Commercial Technologies for Maintenance Activities CTMA 2010 Symposium. – Quantico: Pennsylvania State University, 2010. – P. 22–24.
10. Kim, K. Laser scanner stage on-the-fly method for ultra-fast and wide area fabrication/ K. Kim, K. Yoon, J. Suh, J. Lee // In book: Sixth International WLT Conference on Lasers in Manufacturing. – Munich, 2011. – P. 455–461.

#### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

*Д.В. Беляев<sup>а</sup>, ст. преподаватель, Д.А. Жигарев<sup>б</sup>, аспирант  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина 43, тел. (3822)-60-63-75  
E-mail: <sup>а</sup>dvb@tpu.ru; <sup>б</sup>daz@tpu.ru*

**Аннотация:** Планетарная передача с зацеплением промежуточных тел является одним из наиболее распространенных типов конструкций передач в машиностроении. Данные передачи находят широкое применение в механизмах с повышенными требованиями к точности передачи, мощности и компактности, таких как приводы насосов и компрессоров, лебедки и т.д. Изучение планетарных передач с зацеплением промежуточных тел имеет важное значение для разработки эффективных и надежных механизмов в различных областях машиностроения.

**Ключевые слова:** планетарная передача, промежуточные тела, механизм, шестерня, зацепление передачи, планетарный редуктор, привод, свободная обойма, зубчатое колесо.

**Abstract:** Planetary gear with the engagement of intermediate bodies is one of the most common types of gear designs in mechanical engineering. These transmissions are widely used in mechanisms with increased requirements for transmission accuracy, power and compactness, such as pump and compressor drives, winches, etc. The study of planetary gears with the engagement of intermediate bodies is important for the development of effective and reliable mechanisms in various fields of mechanical engineering.

**Keyword:** planetary gear, intermediate bodies, mechanism, gear, gear engagement, planetary gear, mechanism drive, free cage, gear wheel.

Общие тенденции развития техники сегодня связаны с потребностью в снижении использования материальных и энергетических ресурсов на производство единицы продукта, а также в увеличении эффективности использования этого продукта. Эти тенденции существенно влияют на машиностроительный сектор, в частности, на механические исполнительные органы, которые должны удовлетворять высоким требованиям. Особое внимание уделяется требованиям к передачам, входящие в их состав.

- высокая удельная мощность;
- точность воспроизведения выходной функции;
- высокая надежность;
- длительный ресурс.

Изучение современных схем и конструкций передач позволяет заключить, что передачи с зацеплением промежуточных тел являются перспективными в достижении высокой удельной мощности, точности воспроизведения выходной функции, высокой надежности и длительного ресурса, обладают рядом достоинств: большие передаточные отношения при малых габаритных размерах; высокая нагрузочная способность за счет многопарности зацепления; плавность хода.

Конструкции передач с зацеплением промежуточных тел рассматривались еще в патентах начала XIX века, но широкого распространения в технике данный тип передачи не получил в связи с отсутствием дешевых технологий производства качественных элементов передачи, так как конструкция данной передачи требует получения высокоточного зубчатого профиля сложной формы.

С появлением новых технологий высокоточной обработки поверхностей сложной формы, реализованных в механизмах с числовым программным управлением, таких как лазерная резка, электроэрозионная и гидроабразивная обработка, интерес к передачам с зацеплением промежуточных тел существенно возрос.

Анализируя мировой опыт проектирования современных приводов можно выделить два основных типа передач с зацеплением промежуточных тел:

- планетарно-цевочная;
- планетарно-волновая.

Отличие одного вида передачи от другого не всегда очевидно, по тому как передачи имеют общие принципы работы, однако одним из косвенных критериев отличия планетарно-волновой передачи с зацеплением промежуточных тел от планетарно-цевочной можно считать фактор расстояния между центрами промежуточных тел (цевок). Расстояние между любыми двумя центрами цевок планетарно-цевочной передачи является константой и не меняется в процессе работы передачи. Расстояние между любыми двумя центрами промежуточных тел планетарно-волнового зацепления переменное и в процессе работы изменяется в пределах установленного диапазона, так как промежуточные тела совершают волновые движения.

Существуют так же передачи с зацеплением промежуточных тел, в которых выполняется условие цевочного зацепления по постоянству расстояния между центрами промежуточных тел, однако при этом окружность, на которой расположены центры промежуточных тел совершает орбитальное движение вокруг оси ведущего звена, где она классифицируется как передача с промежуточными телами качения с разгруженным сепаратором или свободной обоймой (Рисунок 1).

Зубчатое зацепление посредством цилиндрических круговых элементов (Рисунок 1) – цевок и зубьев с сопряженным профилем называют цевочным зацеплением с точки зрения кинематики планетарно-цевочная передача представляет собой разновидность планетарной передачи типа k-h-v. Данная передача состоит из цевочного колеса 1, цевки 2, сателлита 3, подшипника сателлита 4, эксцентрика (води́ла) 5 и представляет собой трехзвенный кинематический механизм с одним неподвижным звеном и двумя подвижными.

Передаточное число планетарно-цевочного редуктора в общем случае рассчитывается как количество цевок на одном циклоидном диске за вычетом единицы. Это означает высокие передаточные числа в одной ступени редуктора – до 119. Что позволяет существенно уменьшить габариты и конструктивно упрощает изделие в сравнении с другими видами передач.

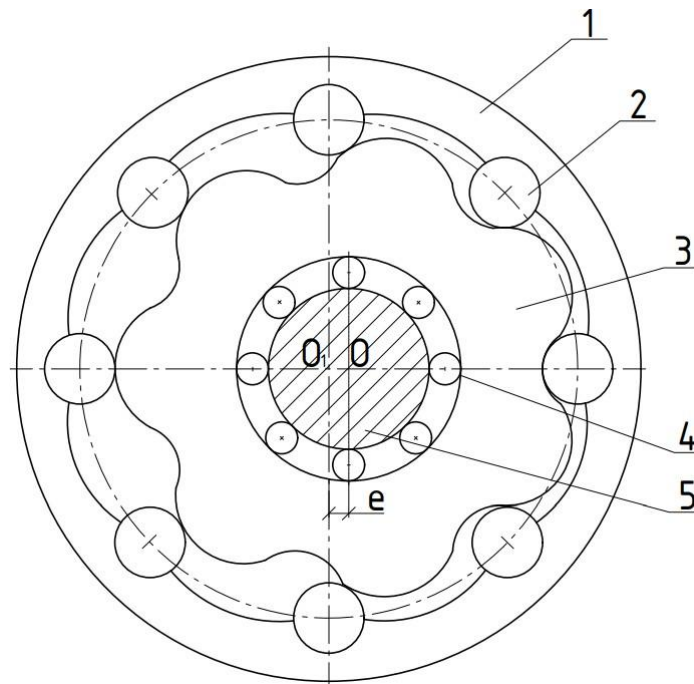


Рис. 1. Планетарно-цевочная передача

Условно к планетарно-цевочным передачам можно отнести передачу (рисунок 2), состоящую из генератора волн 1, подшипника качения 2, кулачка 3, промежуточных тел 4, сепаратора 5 и венца 6.

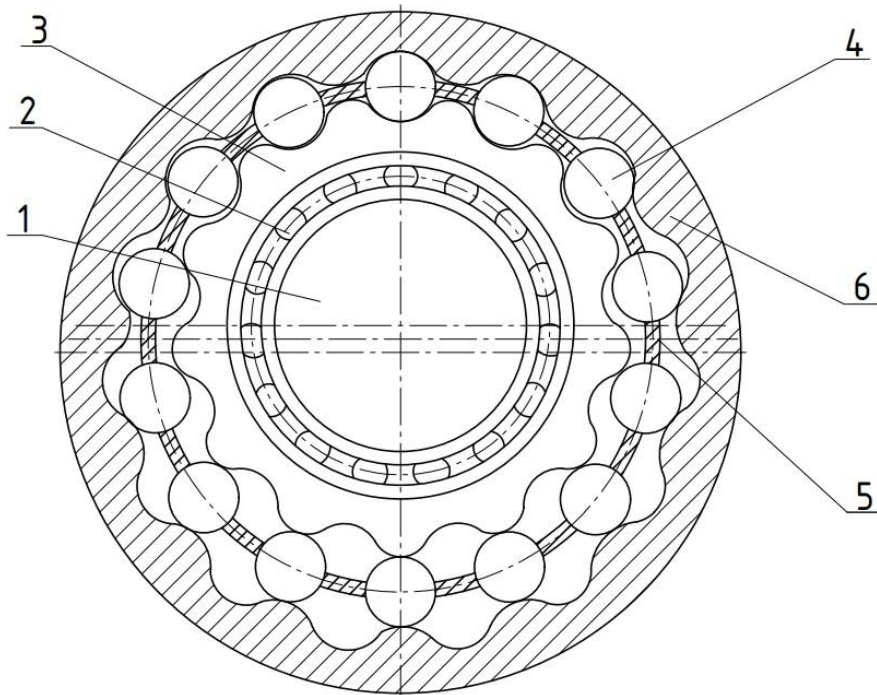


Рис. 2. Передача со свободной обоймой

Отличительная особенность передачи заключается в том, что промежуточные тела 2, заключенные в сепараторе 5, находятся между внутренним циклоидальным профилем венца 6 и наружным циклоидальным профилем кулачка 3, при этом ось вращения сепаратора (ось расположения центров промежуточных тел) совершает орбитальное движение вокруг оси вращения генератора волн 1 (ведущего звена).

Передача теоретически может работать без сепаратора, но на практике реализовать ее с необходимой точностью и жесткостью для однозначного позиционирования промежуточных тел при двухточечном контакте чрезвычайно сложно, поэтому практическая задача пространственного позиционирования промежуточных тел возложена на сепаратор.

Данные виды передачи мало исследованы, но сам процесс имеет тренд развития, так же производством опытных образцов изделий на основе передачи со свободной обоймой (рисунок 2) в России занимаются различные организации, в том числе компании в г. Томск.

Список использованных источников:

1. Беляев А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами / А.Е. Беляев. – Томск: ТПУ, 1992. – 231с.
2. Ефременков Е.А. Разработка и проектирование передач с промежуточными телами качения нового вида / Е.А. Ефременков // Известия ТПУ. –2005. – № 1. – Том 308. – 5с.
3. Патент № 2618855 Российская Федерация, МПК F16H 1/36(2006.01), F16H 25/06(2006.01). Планетарная передача с шариковыми промежуточными телами : № 2016100269: заявл. 11.01.2016: опубл. 11.05.2017 / Ан И-Кан (ru) – 10 с.: ил. – Текст: непосредственный.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И ФАЗОВОГО СОСТАВА  
ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ, КРЕМНИЯ И МАГНИЯ**

*Н.А. Сапрыкина<sup>1а</sup>, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин<sup>1</sup>, к.т.н., доц., В.В. Чебодаева<sup>2</sup>, к.т.н.*

*<sup>1</sup>Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук  
634055, Томская область, г. Томск, Академический пр., 2/4*

*E-mail: <sup>а</sup>saprikina@tpu.ru*

**Аннотация:** В статье приведены характеристики исходных порошков алюминия, кремния и магния для создания сплава Al-Si-Mg методом селективного лазерного плавления. Описаны результаты исследований морфологии поверхности частиц порошков, идентификации фаз.

**Ключевые слова:** селективное лазерное плавление (SLM); металлические порошки; аддитивное производство; морфология поверхности, идентификация фаз.

**Abstract:** The article presents the characteristics of the initial powders of aluminum, silicon and magnesium for the creation of the Al-Si-Mg alloy by selective laser melting. The results of studies of the morphology of the surface of powder particles and phase identification are described.

**Keywords:** selective laser melting (SLM); metal powders; additive manufacturing; surface morphology, phase identification.

В последние годы многие исследования сосредоточены на оптимизации режимов селективного лазерного плавления порошковых металлических сплавов, преимущественно имеющих сферическую форму.

Не изученным остается вопрос формирования сплава в процессе СЛП из металлических порошковых материалов, имеющих форму, отличную от сферической [1]. Характеристики порошка меняют свойства, как на стадии подготовки порошковой композиции, так и в процессе СЛП от воздействий окружающей среды, механического и теплового воздействия. Все это влияет на качество получаемых изделий [2–4]. Для определения оптимальных режимов СЛП необходимо знать распределение частиц порошка по размеру и химическому составу поверхностного слоя частиц-порошинок. Загрязнение порошков является основной проблемой в СЛП процессе, особенно при обработке высокореактивного компонента, как магний, титан и алюминий, и их сплавы. Длительное нахождение порошков на воздухе приводит к их окислению и как следствие, к нестабильному процессу СЛП [57]. Оксидные пленки препятствуют смачиванию поверхности порошинок и являются причиной возникновения пористости. Следовательно, для понимания процесса образования сплава в процессе СЛП необходимо знать исходные данные порошков, которые существенно влияют на качество получаемых изделий.

Исходным материалом для создания порошковой композиции Al-Si-Mg использовали несферические порошки алюминия, кремния и магния. Были приобретены: алюминиевый порошок ПА-4, изготовленный по ГОСТ 6058–73, порошок кремния ГОСТ 2169–69 и магниевый порошок МПФ-4 ГОСТ 6001–79. Порошки имеют различие в температурах плавления, плотности, теплопроводности и др. Температура плавления алюминия (660 °С), кремния (1414 °С) и магния (650 °С), плотность (у алюминия 2,7 г/см<sup>3</sup>, у кремния 2,35 г/см<sup>3</sup>, магния 1,74 г/см<sup>3</sup>). При этом теплоемкости алюминия, кремния, магния близки друг к другу. Молярная теплоемкость алюминия – 24,35 Дж/(К•моль), кремния – 20,16 Дж/(К•моль), магния – 24,9 Дж/(К•моль) теплопроводность при комнатной температуре алюминия – 237 Вт/(м•К), кремния – 149 Вт/(м•К), магния – 156 Вт/(м•К). Приобретен особо чистый Аргон 5.0 для формирования порошковой композиции в шаровой мельнице и изготовления модельных образцов методом селективного лазерного плавления. Для получения порошковой композиции методом механического легирования изготовлена шаровая мельница [8].

Морфология поверхности частиц порошка исследована на растровом электронном микроскопе LEO EVO 50 XVP в ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН. Условия съемки: ускоряющее напряжение – 20 кВ, ток пучка – 1–2 нА, фокусное расстояние 8,5–10 мм, увеличение x100–2000. Элементный состав поверхности образца проведен на приставке к микроскопу для энергодисперсионного анализа Oxford Instruments INCA350. Порошок алюминия представляет собой конгломераты из частиц неправильной формы с размерами 1–20 мкм и более крупных частиц размерами 30–140 мкм (рис. 1 а, б).

Порошок магния представлял собой смесь отдельных частиц с «чешуйчатой» структурой, имеющих размеры в диапазоне 30–400 мкм (рис. 1 в, г), у частиц была неправильная форма с грубой текстурой поверхности, что приводит к снижению сыпучести. Элементный состав порошка соответствует магнию при наличии кислорода не более 2 мас. %.



Порошок кремния состоял из конгломератов размером 0,5–45 мкм (рис. 1 д, е). Доля крупных конгломератов в порошке не превышала 15 об. %.

Исследования методом рентгеновской дифракции осуществлялись на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7 (Буревестник, Россия) в  $\text{CoK}_\alpha$ -излучении ( $\lambda = 0,1789$  нм). Напряжение, подаваемое на рентгеновскую трубку, составило 35 кВ, сила тока – 22 мА. Съемка осуществлялась в симметричной геометрии по схеме Брегга-Брентано ( $2\theta$ - $\theta$ ) в угловом диапазоне  $2\theta$  10–165° с шагом сканирования 0,05°, с вращением образца. Время экспозиции в каждой точке составляло 5 с. Для проведения исследований методом рентгеновской дифракции, в связи с вертикальной фиксацией образца на гониометре дифрактометра, порошинки склеивались прозрачным цапонлаком в форме из винипласта.

На рисунках 2–4 приведены рентгеновские дифрактограммы от с образцов порошков магния, алюминия и кремния соответственно выполненной идентификацией фаз. Фазовые составы соответствуют чистым элементам Al, Si, Mg.

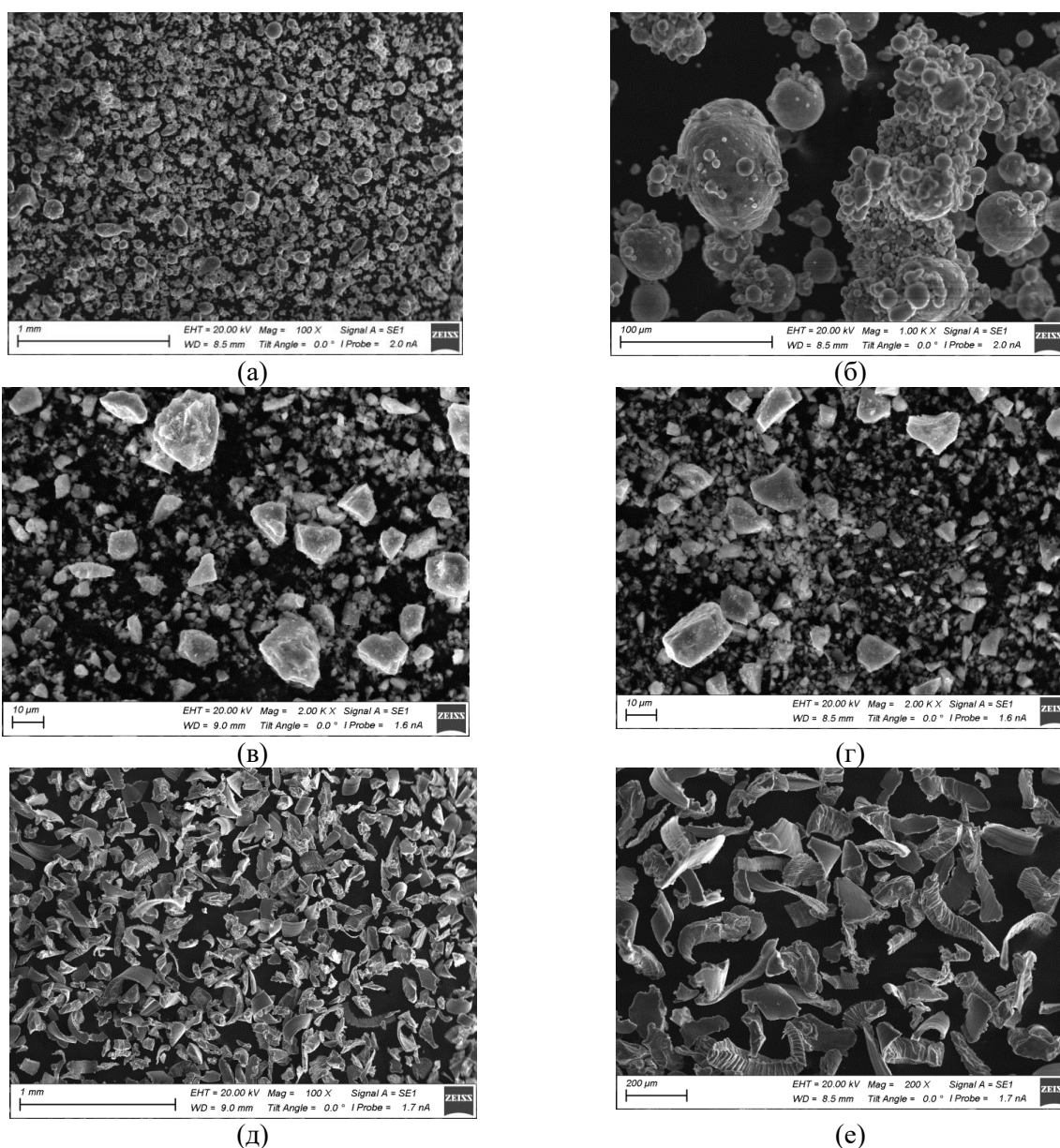


Рис. 1. РЭМ-изображения порошков алюминия (а, б), кремния (в, г) и магния (д, е)

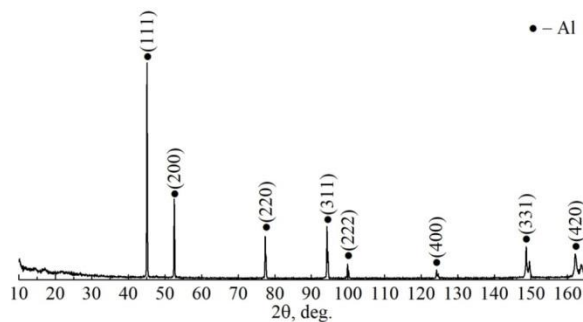


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма образца порошка алюминия

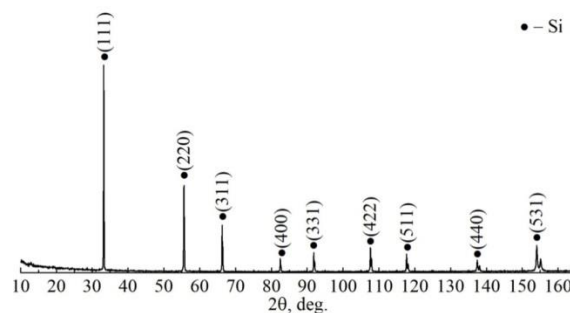


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма образца порошка кремния

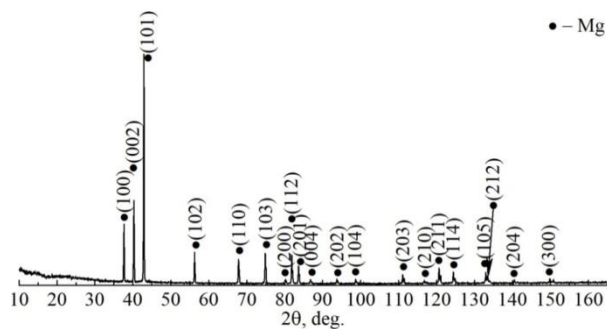


Рис. 4. Рентгеновская дифрактограмма образца порошка магния

#### Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что исходные порошки алюминия, кремния и магния однофазны, подходят для получения порошковой композиции и сплава Al-Si-Mg методом селективного лазерного плавления

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01491, <https://rscf.ru/project/22-29-01491/>*

*Благодарности. Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н., профессору Ю.П. Шаркееву, к.т.н. М.А. Химич, к.т.н. Е.А. Ибрагимову.*

*«Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН» и в Томском материаловедческом центре коллективного пользования.*

#### Список использованных источников:

1. Lu Z. Thermodynamic description of the quaternary Al-Si-Mg-Sc system and its application to the design of novel Sc-additional A356 alloys Mater / Z. Lu, L.J. Zhang // Des. – 2017. – 116. – P. 427–437.
2. American Society for Metals and ASM International. Handbook Committee. ASM Handbook: nonferrous Alloys and Specialpurpose Materials. Properties and Selection. – 1992. – Vol 2.

- Rosenthal I. Heat treatment effect on the mechanical properties and fracture mechanism in AlSi10Mg fabricated by additive manufacturing selective laser melting process / I. Rosenthal, R. Shneck, A. Stern // *Materials Science and Engineering*. – 2018, – Volume 729. – P. 310–322.
- Aboulkhair N.T. 3D printing of aluminium alloys: Additive manufacturing of aluminium alloys using selective laser melting / N.T. Aboulkhair, M. Simonelli, L. Parry, I. Ashcroft, C. Tuck // *Prog. Mater. Sci.* – 2019. – 106. – Article 100578.
- Song B. Comparative study of performance comparison of AlSi10Mg alloy prepared by selective laser melting and casting / B. Song, Q. Yan, Y.S. Shi. // *J. Mater. Sci. Technol.* – 2020. – Vol. 41. – 199–208.
- Wang M. Effects of annealing on the microstructure and mechanical properties of selective laser melted AlSi7Mg alloy / M. Wang, B. Song, Q.S. Wei, Y.J. Zhang, Y.S. Shi // *Mater. Sci. Eng. A.* – 2019. – 739. – P. 463–472.
- Post heat treatment of additive manufactured AlSi10Mg: on silicon morphology, texture and small-scale properties / F. Alghamdi, X. Song, A. Hadadzadeh // *Mater. Sci. Eng. A. [et al.]* – 2020. – 783. – Article 139296.
- Синтез трехкомпонентного сплава на основе алюминия методом селективного лазерного плавления / Н.А. Сапрыкина, В.В. Чебодасва, А.А. Сапрыкин [и др.] // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 151–164.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ, РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ  
ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО ПОРОШКА  
АЛЮМИНИЙ-КРЕМНИЙ-МАГНИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ**

*Н.А. Сапрыкина<sup>а</sup>, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц., Е.А. Ибрагимов, к.т.н.  
Юргинский технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: <sup>а</sup>saprikina@tpu.ru*

**Аннотация:** В статье приведены исследования по определению условий и параметров режима селективного лазерного плавления (СЛП) композитного порошка алюминий-кремний-магний для получения образцов. Оптимальными параметрами режима, позволяющего получить образцы являются: шаг сканирования  $s = 90$  мкм, толщина порошкового слоя  $h = 25$  мкм, мощность лазера  $P = 90$  Вт, скорость сканирования луча лазера  $v = 300$  мм/с, защитная атмосфера – аргон, материал подложки – алюминий, температура подогрева  $t = 300$  °С.

**Ключевые слова:** селективное лазерное плавление (СЛП); порошок алюминий-кремний-магний; аддитивное производство; параметры режима, эксперимент.

**Abstract:** The article presents studies on determining the conditions and parameters of the mode of selective laser melting (SLM) of an aluminum-silicon-magnesium composite powder to obtain samples. The optimal parameters of the mode for obtaining samples are: scanning step  $s = 90$   $\mu\text{m}$ , powder layer thickness  $h = 25$   $\mu\text{m}$ , laser power  $P = 90$  W, laser beam scanning speed  $v = 300$  mm/s, protective atmosphere – argon, substrate material – aluminum, heating temperature  $t = 300$  °C.

**Keywords:** selective laser melting (SLP); aluminum-silicon-magnesium powder; additive manufacturing; mode parameters, experiment.

В работе описаны исследования по определению условий, режимов и параметров селективного лазерного плавления (СЛП) композитного порошка алюминий-кремний-магний для получения образцов. Выращивание образцов осуществлялось на установке селективного лазерного плавления ВАРИСКАФ-100МВС, разработанной и изготовленной в Юргинском технологическом институте (филиале) Томского политехнического университета совместно с Лабораторией физики наноструктурных биоконструктивов Института физики прочности и материаловедения СО РАН. Необходимо определить диапазон технологических параметров СЛП при которых на подложках будут сформированы образцы заданной геометрии, достаточно прочные и плотные для проведения дальнейших исследований [1, 2].

Параметры процесса СЛП обуславливаются как возможностями экспериментальной установки, так и используемым материалом. При этом параметры СЛП условно можно разделить на статические (неизменные) и динамические (изменяемые) [3–5].

Статические параметры. Так как в состав композитного порошка входят металлы, активно взаимодействующие с кислородом в атмосфере, то в качестве защитной среды процесса выбран инертный газ аргон. Основой получаемого сплава является алюминий, поэтому для наиболее полного сплавления первых слоев получаемых образцов, в качестве материала для изготовления подложек был выбран алюминий.

Литературные данные показали, что благоприятный эффект для полного сплавления частиц порошка и подложки достигается при дополнительном подогреве подложки до температуры  $t_{пл} = 300$  °С. Толщина наносимого слоя порошка ( $h_{п}$ ) определяется прежде всего средним размером частиц порошка, а так же их формой. При этом необходимо учитывать тот факт, что чем меньше толщина слоя наносимого порошка, тем точнее получится геометрия образца, и более полно будут сплавляться частицы порошка. Предварительные эксперименты показали, что минимально возможная толщина порошкового слоя, при которой наносимый слой будет формироваться равномерно и с максимальной плотной упаковкой составляет  $h_{п} = 25$  мкм. Диаметр пятна лазерного излучения определяется техническими характеристиками фокусирующей оптики и на всех экспериментах он составлял  $d_{лп} = 0,1$  мм. Расстояние между сплавляемыми треками, равного шагу сканирования порошка определяется диаметром  $d_{лп}$  и должно обеспечивать перекрытие соседних треков на 40–60 % и их сплавление. Поэтому величина шага сканирования  $S = 0,09$  мм.

К динамическим параметрам процесса СЛП относятся: режим излучения лазера; скорость сканирования лазера; мощность падающего на поверхность лазерного излучения [6–8]. Поисковые эксперименты проведены при постоянной мощности  $P = 80$  Вт или импульсной мощности лазера  $P = 100$  Вт, модуляции  $m = 5000$  Гц и при неизменных параметрах режима, а именно: шаг сканирования  $S = 90$  мкм, толщина порошкового слоя  $t = 25$  мкм и варьируемая скорость сканирования луча лазера  $V = 100, 200, 300, 400$  мм/с.

Образцы квадратной формы со стороной 10 мм построены на подложках из алюминия в предварительно нагретой до 300 °С и заполненной после предварительного вакуумирования аргоном камере. Металлографические образцы были приготовлены путем проведения стандартной механической шлифовки и полировки на алмазных пастах для получения полированного поперечного сечения

Качественная поверхностная оценка прочности сформированных образцов, проводимая при подготовке образцов механической шлифовкой показала, что образец, полученный при постоянной мощности лазера – 80 Вт, скорости сканирования лучом лазера – 300 мм/с, шаге сканирования – 90 мкм, толщине слоя порошка – 25 мкм имел наименьшую расположенность к разрушению, что косвенно указывает на более высокую прочность, в сравнении с остальными образцами. Образцы, полученные при постоянной мощности и остальных неизменных параметрах режима, качественно показали лучшую прочность, чем образцы, полученные при импульсном режиме. В процессе шлифования выкрашивались, анализ микроструктуры показал наличие в большом количестве нерасплавленного порошка. Поэтому далее принято было решение проводить эксперименты только в режиме постоянной мощности лазера.

Оптимизация параметров режима при изготовлении деталей методом селективного лазерного плавления часто требует контроля ключевых параметров процесса, включая мощность лазера  $P$ , скорость сканирования лучом лазера  $V$ , шаг сканирования  $S$  и толщина порошкового слоя  $t$ , которая создает плотность энергии  $E$  (Дж/мм<sup>3</sup>), которая определяется уравнением:  $E = P/V \cdot S \cdot t$ . Для оценки влияния скорости сканирования лазерным излучением на процесс СЛП были изготовлены плоские образцы в форме квадратов со стороной 10×10 мм и толщиной 2 мм. При постоянных параметрах режима:  $P = 90$  Вт,  $s = 90$  мкм,  $h = 25$  мкм, скорость сканирования изменялась следующим образом:  $v = 100, 200, 300, 400$  мм/с. Энерговклад, соответственно был равен: 400, 200, 133,3 и 100 Дж/мм<sup>3</sup>. В результате была получена панель образцов, рисунок 1.

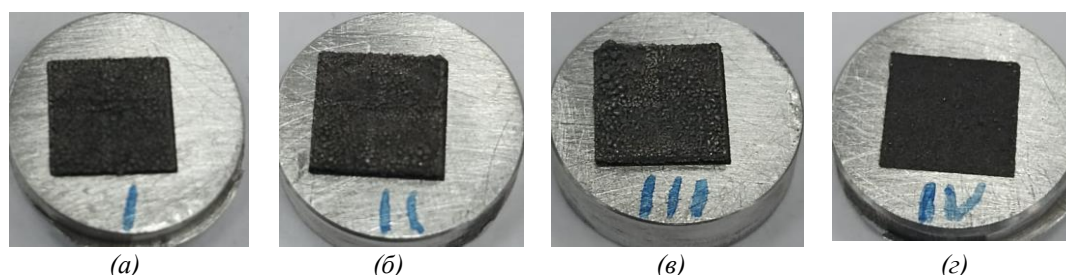


Рис. 1. Оптические изображения поверхности образцов, полученных методом СЛП из порошка после механической активации длительностью 1 час: а – образец № 1,  $E = 400$  Дж/мм<sup>3</sup>; б – образец № 2,  $E = 200$  Дж/мм<sup>3</sup>, в – образец № 3,  $E = 133,3$  Дж/мм<sup>3</sup>, г – образец № 4,  $E = 100$  Дж/мм<sup>3</sup>

Предварительный эксперимент показал, что при скорости сканирования выше 300 мм/с происходит отслоение образца от подложки, а при скорости выше 400 мм/с образцы отрываются от подложек полностью. Причиной этому служит высокая скорость движения ванны расплава, вследствие чего вновь образующиеся порции расплавленного металла не успевают разогреть подложку и сплавиться с ней.

При этом на скоростях ниже 100 мм/с происходит образование крупных капель металла на поверхности образца, что связано с перегревом ванны жидкого сплава.

Внешний вид шлифованных поверхностей сформированных образцов № 1, 2, 3 при разных увеличениях представлен в таблице 1. Можно видеть, что во всех образцах присутствует пористость. Наблюдаются закрытые поры, имеющие округлую форму, а также развитая сетка открытых взаимосвязанных пор. При крупных увеличениях в отдельных образцах наблюдались термические трещины.





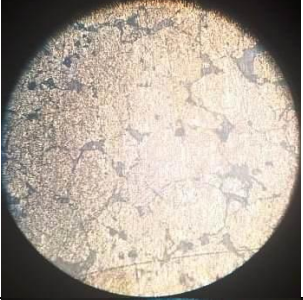

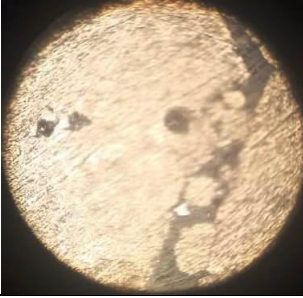
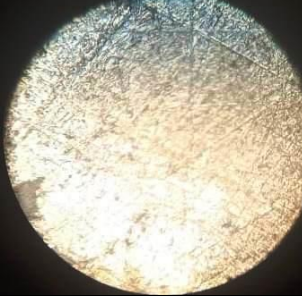
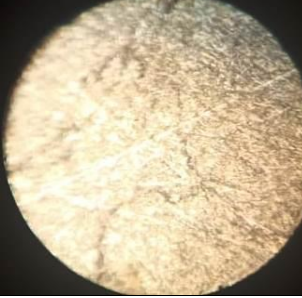
Анализ оптических изображений шлифов показывает, что наименьшую пористостью в рамках данного поискового эксперимента имеет образец, сформированный при параметрах  $P = 90$  Вт,  $v = 300$  мм/с.

**Заключение**

В результате эксперимента установлено, что снижение скорости лазерного излучения уменьшает коробление образцов из-за термических напряжений, а также происходит улучшение качества поверхности образцов, размер капель металла на поверхности существенно уменьшается. Оптимальными параметрами режима, позволяющего получить образцы являются: шаг сканирования  $s = 90$  мкм, толщина порошкового слоя  $h = 25$  мкм, мощность лазера  $P = 90$  Вт, скорость сканирования луча лазера  $v = 300$  мм/с, защитная атмосфера – аргон, материал подложки – алюминий, температура подогрева  $t = 300$  С°.

Таблица 1

*Внешний вид шлифованных поверхностей*

Увеличение	Скорость сканирования		
	$v = 100$ мм/с	$v = 200$ мм/с	$v = 300$ мм/с
×20			
×50			
×200			

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01491, <https://rscf.ru/project/22-29-01491/>

*Благодарности. Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н., профессору Ю.П. Шаркееву, к.т.н. М.А. Химич, к.т.н. В.В. Чебодаевой, Гусевой Т.С.*

*«Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН» и в Томском материаловедческом центре коллективного пользования.*

Список использованных источников:

1. Влияние режимов селективного лазерного воздействия на пористость образцов из порошков кобальта, хрома и молибдена / Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, Ю.П. Шаркеев [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 8 (105). – С. 22–28.
2. Синтез трехкомпонентного сплава на основе алюминия методом селективного лазерного плавления / Н.А. Сапрыкина, В.В. Чебодаева, А.А. Сапрыкин [и др.] // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 151–164.
3. Olakanmi E.O. A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties / E.O. Olakanmi, R.F. Cochrane, K.W. Dalgarno // Prog. Mater. Sci. – 2015. – 74. – P. 401–477.
4. Effect of heat treatment on AlSi10Mg alloy fabricated by selective laser melting: Microstructure evolution, mechanical properties and fracture mechanism / W.Li, S.Li, J.Liu // Mater. Sci. Eng. A. – 2016. – 663. – P. 116–125.
5. Damage mechanisms in selective laser melted AlSi10Mg under as built and different post-treatment conditions / L. Zhao, J.G.S. Macías, L.P. Ding [et al.] // Mater. Sci. Eng. A. – 2019. – 764. – Article 138210.
6. 3D printing of high-strength aluminium alloys / J.H. Martin, B.D. Yahata, J.M. Hundley [et al.] // Nature. – 2017. – 549. – P. 365–369.
7. Microstructure and mechanical properties of Al-12Si and Al-3.5Cu-1.5Mg-1Si bimetal fabricated by selective laser melting / P. Wang, C.S. Lao, Z.W. Chen [et al.] // J. Mater. Sci. Technol. – 2020. – 36. – P. 18–26.
8. Microstructure characterization of SLMprocessed Al-Mg-Sc-Zr alloy in the heat treated and HIPed condition / A.B. Spierings, K. Dawson, P. Dumitraschkewitz [et al.] // Addit. Manuf. – 2018. – 20. – P. 173–181.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА С ГИБКОЙ ОПОРой ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

*В.Ю. Тимофеев<sup>2,а</sup>, к.т.н., доц., П.В. Бурков<sup>1</sup>, д.т.н., проф., В.П. Бурков<sup>1</sup>, ст. преп., С.П. Буркова<sup>1</sup>, к.т.н., доц.*

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,*

*634050, г. Томск, пр. Ленина 30*

*<sup>2</sup>Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: <sup>а</sup> tv-yitpri@mail.ru*

**Аннотация.** В статье приведено исследование жесткой и гибкой опор надземных трубопроводов. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния трубопровода методом конечных элементов при воздействии на него нагрузок, вызванных последствием эксплуатации в вечной мерзлоте. Приведено обоснование преимуществ разработанной конструкции гибкой опоры перед жесткой опорой.

**Ключевые слова:** трубопроводный транспорт, напряженно-деформированное состояние, гибкая опора, численный эксперимент, осложненные условия

**Abstract:** The paper presents a study of rigid and flexible supports for above-ground pipelines. The stress-strain state of a pipeline has been investigated by the finite element method under the influence of loads caused by the consequences of operation in permafrost. The paper substantiates the advantages of the developed design of the flexible support over the rigid support.

**Keywords:** pipeline transport, strain-stress state, flexible support, numerical experiment, challenging condition.

Одним из ключевых факторов стабилизации и развития экономики РФ является стабильная и безаварийная работа трубопроводного транспорта. Смена рынков сбыта нефти и газа обуславливают необходимость строительства нового и реновацию уже существующего трубопроводного транспорта, а также дальнейшего совершенствования технологий и оборудования, обеспечивающих их доставку потребителю. Большинство месторождений нефти и газа в РФ расположены в районах Крайнего севера и Сибири, в которых осложненные условия вечной мерзлоты широко распространены.

Важнейшим фактором, определяющим эксплуатационные характеристики трубопроводов в условиях вечной мерзлоты, является их взаимодействие с окружающими грунтами. Для избежания силового, теплового, влажностного, химического, коррозионного воздействия со стороны грунта используют надземные трубопроводы на опорах. Тип применяемых опор определяется характеристиками местности и области, где они находятся, такими как сейсмичность, многолетнемерзлые грунты и т. д. При прокладке трубопровода надземным способом на опорах, окружающий грунт воздействует на трубу через опоры. Опоры трубопровода находятся в грунте и имеют с ним непосредственную жесткую связь, таким образом при любых относительных движениях грунта опоры перемещаются относительно оси трубопровода, что приводит к изгибам, большим пространственным перемещениям, провисанию участков трубы вследствие потери контакта с опорой (рисунок 1). При определенных значениях это приводит к разрушению самой магистральной трубы и его отдельных элементов [1]. Причины пространственных движений грунта могут быть разные, но в основном это протаивание или промерзание несущего грунта опор, сезонное изменение температуры окружающей среды, некачественная рекультивация грунтов при строительстве сопровождающееся морозным пучением грунта [1]. Кроме того смещение опор надземного участка магистрального нефтепровода может привести к тому, что соседние опоры потеряют контакт с трубопроводом и возникнет провисание трубы [1]. Контакт трубопровода с твердыми поверхностями, например, с жесткими скальными грунтами при переходах создает дополнительные нагрузки на стенки трубы в области контакта [2]. Свойства грунтовых оснований существенно влияют на напряженно-деформированное состояние надземного перехода. В частности, увеличение жесткости грунтового основания сопровождается постепенным уменьшением напряжений в надземном сечении перехода, а максимальный изгибающий момент в подземном сечении увеличивается [3]. Все эти негативные факторы, которые являются причиной непроектных нагрузок, предвидеть сложно. Поэтому разработка конструкций опор, которые могли бы компенсировать подвижки грунта, не передавая нагрузки на трубопровод является актуальной научно-технической задачей.



а)



б)

Рис. 1. Последствия промерзания грунта:  
а – выпучивание грунта и смещение опоры, б – поломка опоры

В данной работе предлагается исследовать и сравнить напряженно-деформированное состояние участка трубопровода с двумя типами опор. Первый тип опор это уже применяемые – жесткие опоры, и второй тип – предлагаемая конструкция гибкой опоры (рисунок 2).

Опоры представляют собой элемент конструкции в виде ложементов с диаметром, совпадающим с диаметром трубы, и выполненным из материала аналогичного материалу трубы. Жесткая опора (рисунок 2а) имеет контур поддерживаемого трубопровода, гибкая опора (рисунок 2б) имеет два стержня, на которых она закреплена. Длина каждого стержня гибкой опоры равна 200 мм, диаметр 2,5 мм. Опоры выполняются из аналогичной стали что и труба.

Для исследования используется метод конечных элементов и программное обеспечение его реализующее – SOLIDWORKS Simulation. В качестве объекта исследования принят участок трубопровода диаметром 102 мм, толщина стенки 3,5 мм, длина участка трубопровода 2400 мм (согласно ГОСТ 31443–2012), материал трубопровода сталь 20Г (предел текучести – 275 МПа, предел прочности при растяжении – 385 МПа, модуль упругости –  $2,04 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона – 0,29).

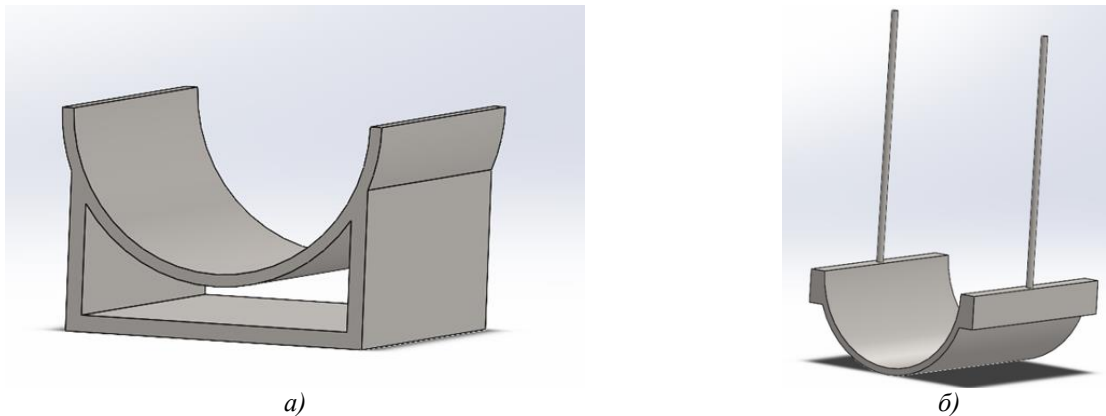


Рис. 2. Конструкции исследуемых опор:  
а – конструкция жесткой опоры, б – конструкция гибкой опоры

Для постановки задачи используем наихудший случай нагружения, когда края трубопровода смещаются по вертикали вследствие потери контакта с соседними опорами при одной действующей опоре. В таком случае нагрузка  $q_1$  будет распределена по участку трубопровода условно равномерно (рисунок 3), но точно нагрузка будет приложена на торцах (рисунок 4).

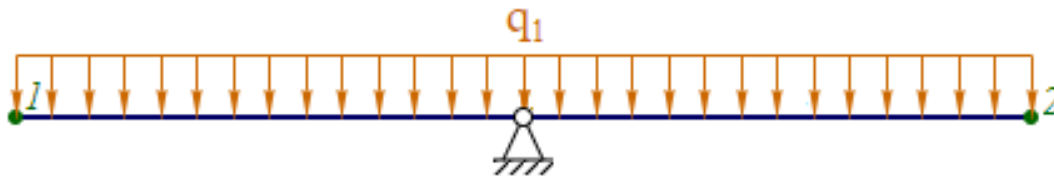


Рис. 3. Расчетная схема участка трубопровода

На центральном участке трубопровод закреплен опорой, которая не позволяет ему перемещаться вместе с крайними гранями 1 и 2 (рисунок 3), создавая тем самым напряжения изгиба в материале трубы. Для проведения численного эксперимента методом конечных элементов составим расчетную схему в SOLIDWORKS Simulation приложим нагрузки и граничные условия (рисунок 4).

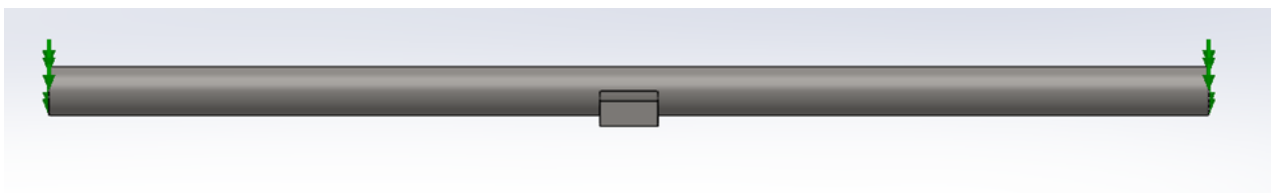


Рис. 4. Расчетная схема участка трубопровода для расчета методом конечных элементов

Для задания граничных условий будет использована функция «зафиксированная геометрия» SOLIDWORKS Simulation. Для жесткой опоры это нижнее основание, для гибкой опоры это верхние концы стержней (рисунок 5).

Задание нагрузки производится с условиями обеспечения заданного перемещения граничных участков трубопровода 1 и 2 (рисунок 3). Для этого нагрузка подбирается таким образом чтобы обеспечить перемещение участков 1 и 2 (рисунок 3) на 7 и 14 мм, после чего будут определены напряжения на опасных участках трубопровода.

На рисунке 6 представлены результаты численного моделирования, эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу, модели с жесткой опорой трубопровода.



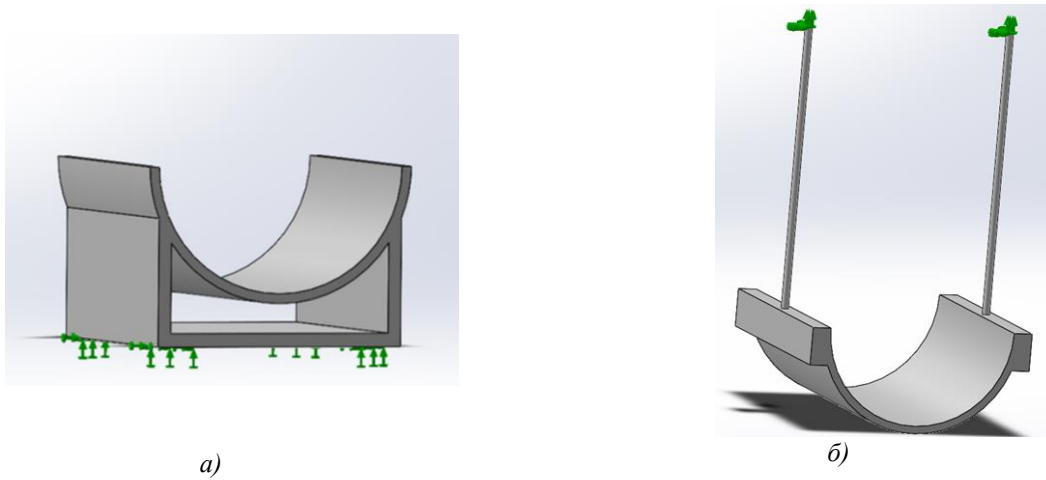


Рис. 5. Задание граничных условий :  
а – граничные условия жесткой опоры, б – граничные условия конструкции гибкой опоры

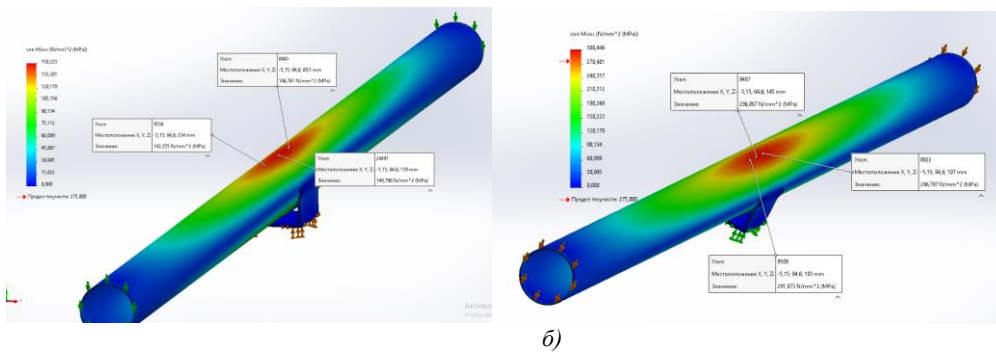


Рис. 6. Результаты численного эксперимента для жесткой опоры: а – эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу при заданном перемещении 7 мм, б – эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу при заданном перемещении 14 мм

На рисунке 7 представлены результаты численного моделирования, эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу, модели с гибкой опорой трубопровода.

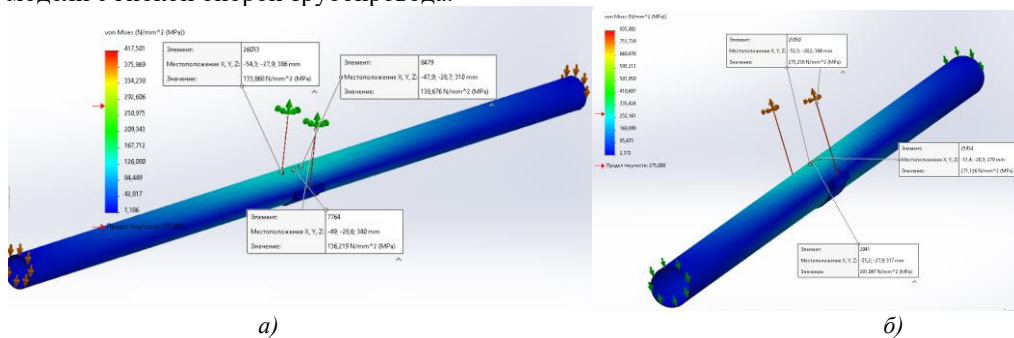


Рис. 7. Результаты численного эксперимента для гибкой опоры:  
а – эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу при заданном перемещении 7 мм,  
б – эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу при заданном перемещении 14 мм

Результаты численных экспериментов получены с помощью функции «зондирование» SOLIDWORKS Simulation и сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1

Напряжения в опасных областях нагружения при смещении 7 мм

Опора	Эквивалентное напряжение, МПа			Среднее эквивалентное напряжение, МПа
Жесткая	142	147	149	146
Гибкая	134	139	136	136,3

Таблица 2

Напряжения в опасных областях нагружения при смещении 14 мм

Опора	Эквивалентное напряжение, МПа			Среднее эквивалентное напряжение, МПа
Жесткая	296	297	292	295
Гибкая	275	281	271	275,7

Из таблиц видно, что и при смещении на 7 мм и при смещении на 14 мм средние эквивалентные напряжения по Мизесу, возникающие в трубопроводе, при гибкой опоре меньше на 6,8 %, что свидетельствует о преимуществе данной конструкции опоры при прочих равных условиях. Кроме того, при перемещении грани трубы на 7 мм и на 14 мм конструкция с гибкой опорой выдерживает заданные нагрузки и возникающие напряжения не превышают предела текучести материала, в то время как в конструкция с жесткой опорой при перемещении грани на 14 мм эквивалентные напряжения превышают предел текучести материала. Также определено что конструкция с гибкой опорой, с возможностью перемещения в сторону смещения трубы, уменьшает возникающие напряжения на верхней образующей трубы.

На основе полученных результатов были выработаны рекомендации для разработки научно обоснованной конструкции гибкой опоры:

- подбором материала стержней гибкой опоры можно регулировать разницу смещения крайних граней трубы и места контакта с опорой, что позволит управлять возникающими в трубе напряжениями;
- гибкая опора дает возможность перемещаться в сторону смещения трубы, что уменьшает на 6,8 % процента возникающие напряжения на верхней образующей трубы.

Список использованных источников:

1. Закирова Э.А., Гаррис Н.А. Как избежать выпучивания опор надземных трубопроводов в районах пучинистых грунтов / Э.А. Закирова, Н.А. Гаррис // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 15 – № 5. – С. 85–92.
2. Юлмухаметов А.А. Параметрический анализ статического изгиба трубопровода / А.А. Юлмухаметов // Труды Института механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН. – 2016. – Т. 11. – № 1. – С. 24–29. – ISSN 2542–0380.
3. Analytical model of oil pipeline overground transitions, laid in mountain areas / Andriy S. Velychkovych, Andriy V. Andrusyak, Tetiana O. [et al.] – Electronic resource. – URL: <https://doi.org/10.2516/ogst/2019039> (date of treatment 27.11.2022).
4. Analysis of buried pipelines subjected to ground surface settlement and heave / George P. Kouretzis, Dimitrios K. Karamitros, and Scott W. Sloan // Can. Geotech. – 2015. – J. № 52. – P. 1058–1071.
5. Buckling phenomenon for straight and curved pipe under pure bending / Hartono Yudo Takao Yoshikawa // Journal of Marine Science and Technology – 2015. – № 20. – P. 94–103.

#### ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕСТРОЕК ВБЛИЗИ ОБЛАСТИ СОПРЯЖЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ СДВИГОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ

А.И. Дмитриев<sup>а</sup>, д.ф.-м.н., г.н.с., А.Ю. Никонов<sup>б</sup>, к.ф.-м.н., н.с.

Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-68-26

E-mails: <sup>а</sup>[dmitr@ispms.ru](mailto:dmitr@ispms.ru); <sup>б</sup>[anickonoff@ispms.ru](mailto:anickonoff@ispms.ru)

**Аннотация:** В работе исследовано механическое поведение образцов биметалла, образованных металлами с различным типом кристаллической решётки, в условиях сдвиговой деформации. С помощью компьютерного моделирования методом молекулярной динамики анализируются механизмы перестройки атомной решётки вблизи области сопряжения двух металлов.

Обнаружено, что выявленные механизмы зависят не только от типа решетки контактирующих металлов, но и от кристаллографической ориентации зёрен относительно направления нагружения.

**Ключевые слова:** биметалл, интерфейс, сдвиговая деформация, компьютерное моделирование.

**Abstract:** In this work, the mechanical behavior of bimetal samples formed by metals with different types of crystal structure is studied under shear deformation. With the help of computer simulation by the method of molecular dynamics, the mechanisms of rearrangement of the atomic lattice near the region of conjugation of two metals are analyzed. It was found that the revealed mechanisms depend not only on the type of lattice of contacting metals, but also on the crystallographic orientation of grains relative to the direction of loading.

**Keywords:** bimetal, interface, shear deformation, computer simulation.

Введение. Развитие технологии электро-лучевого аддитивного производства (АП), когда одновременно возможно использовать несколько металлических филаментов при 3D печати, позволяет создавать изделия не только заданной геометрии и формы, но и производить полиметаллические соединения с управляемыми переходами от одного металла к другому [1]. Достоинства такой технологии очевидны, поскольку в напечатанном изделии можно направленным образом менять механические свойства отдельных участков за счёт использования для печати материала с требуемыми характеристиками. В зависимости от параметров технологии АП и требований к изделиям переход от одного материала к другому может быть резким, реализовываться через промежуточный слой из третьего материала, может быть выполнен в виде градиентного перехода, либо путём формирования многофазного слоя [2, 3].

В настоящее время дополнительно к эксперименту становится широко распространённым исследование материалов с применением методов моделирования на различных масштабах [4]. Модели, построенные на мезо- и макро-масштабах, явным образом учитывают структуру и геометрию исследуемых изделий и могут предсказать их механические свойства. Недостатком компьютерных моделей на таких масштабах является необходимость корректно описывать параметры взаимодействия между различными материалами вблизи переходного слоя (интерфейса). Одним из возможных вариантов подбора необходимых параметров является прямой расчёт с применением методов моделирования на меньшем масштабе (нано-масштабе). В качестве такого метода может быть использован, например, метод молекулярной динамики, который позволяет рассчитать прочностные характеристики чистых металлов и различных сплавов на атомном масштабе. Кроме того, данный подход позволяет исследовать закономерности развития пластической деформации в объёме материала и вблизи границ раздела, в том числе между материалами разного сорта.

Целью настоящей работы было исследование методом молекулярной динамики особенностей отклика на внешнее сдвиговое воздействие образца биметалла в области сопряжения двух металлов, отличающихся типом кристаллической решётки.

Материалы и методика эксперимента. Расчёты в рамках метода молекулярной динамики проводились с использованием программного пакета LAMMPS. В качестве объекта исследования рассматривался биметалл в форме параллелепипеда размерами 22x11x11 нм вдоль направлений X, Y и Z, соответственно. Зёрна в образце отличались типом кристаллической решётки. Рассматривались следующие комбинации пар сопряжения: ОЦК-ГЦК (биметалл А), ГЦК-ГПУ (биметалл В) и ОЦК-ГПУ (биметалл С). В качестве модельных материалов рассматривались  $\alpha$ -Fe, Cu и  $\alpha$ -Ti. Схематическое изображение образца и условия нагрузки показаны на рисунке 1. Для каждой пары металлов дополнительно варьировалась ориентация кристаллической решётки зёрен относительно границы раздела и направления нагружения. Рассматривались следующие ориентации: [100], [010] и [001] (ориентация 1); [101], [010] и [-101] (ориентация 2) и [2-1-1], [01-1] и [111] (ориентация 3) вдоль осей X, Y и Z, соответственно. Таким образом, всего рассматривалось 9 модельных образцов. Сдвиговая деформация моделировалась за счёт движения атомов нагружаемых слоёв (отмечены серым цветом на рис. 1) с постоянной скоростью  $V = 10$  м/с. Дополнительно задавалось сжатие с давлением  $P = 30$  МПа. Вдоль плоскости границы раздела (ГР) задавались периодические граничные условия. Взаимодействие между атомами в паре Fe-Cu описывалось в рамках метода погруженного атома [5], а в парах Fe-Ti и Cu-Ti с применением модифицированного метода погруженного атома [6, 7]. Для идентификации кристаллической структуры атомной решётки применялся метод анализа ближайших соседей (CNA), реализованный в программном пакете OVITO. Данный метод позволяет по ближайшему окружению атома определить в узле какой решётки (ОЦК, ГЦК или ГПУ) он расположен.

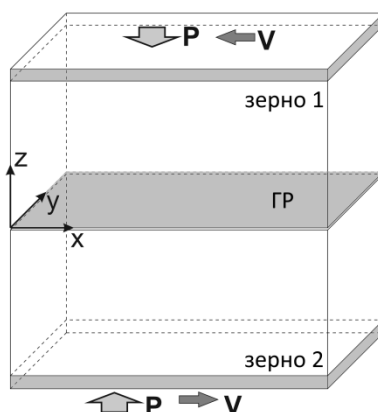


Рис. 1. Схематическое изображение моделируемого образца и условий нагружения

Результаты и их обсуждение. Анализ изменения структуры под действием сдвиговой деформации вблизи границы раздела в образцах A1, A2 и A3 (цифра обозначает указанную выше ориентацию решётки) показал, что сдвиг в образцах A1 и A3 происходит вдоль ГР металлов. При этом нарушение упорядоченной структуры кристаллической решётки отмечается только в двух атомных слоях кристаллита меди, где атомы частично встраиваются в решётку железа (рис. 2а и 2в). Внедрения атомов железа в решётку меди не наблюдается. Подобное поведение можно видеть и в образце A2, однако в этом случае только один атомный слой меди выстраивается в ОЦК решётку вблизи ГР (рис. 2б). Таким образом, сдвиговая деформация для пары Fe-Cu реализуется за счёт проскальзывания между атомными слоями меди, имеющими ОЦК и ГЦК структуры.

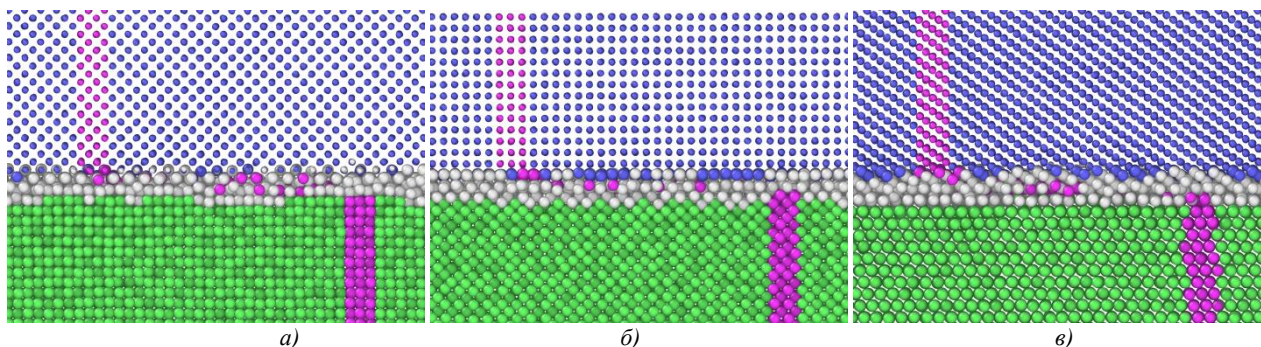


Рис. 2. Фрагмент структуры биметалла Fe-Cu при деформации  $\epsilon \approx 0,23$

Крупными шариками отмечены атомы меди, мелкими – железа. Здесь и далее цветом отмечены атомные конфигурации с различными типами кристаллической структуры, определёнными согласно СНА анализу: синим – ОЦК, зелёным – ГЦК, красным – ГПУ, серым – остальные (неидентифицируемые). Фиолетовым цветом отмечены атомы, до начала нагружения находившиеся в одной плоскости

Отличное от предыдущей пары металлов деформационное поведение при моделировании сдвиговой деформации наблюдается в биметаллах Cu-Ti (биметалл В). Так, в образце В1 относительное смещение двух кристаллитов реализуется внутри зерна титана между первым по отношению к ГР и вторым атомными слоями решётки титана, лежащими в базальных плоскостях (0001). Как видно на рис. 3а, граничный слой атомов титана смещается вместе с атомами зерна меди (положения атомов, помеченные синим, в решётке меди и атомном слое титана совпадают), в то время как остальные атомные слои титана смещаются как целое без перестройки атомной структуры. Подобным же образом реализуется сдвиг и в образце В3, однако в этом случае скольжение происходит строго вдоль плоскости сопряжения двух металлов. Кристаллит титана в образце В3 сохраняет свою целостность (рис. 2в). Существенно иным является деформационное поведение образца В2, для которого сдвиговая деформация реализуется в решётке титана в приграничной с медью области за счёт разупорядочения структуры и образования аморфно-подобного состояния вблизи плоскости интерфейса (рис. 3б).

Подобным образом развивается скольжение и в биметаллах Fe-Ti (биметалл С). Относительное проскальзывание в образце С1, как и в образце В1, реализуется по базальной плоскости кристаллита титана.

Однако, в отличие от пары Cu-Ti, атомы приграничного слоя титана в образце С1 встраиваются в решётку железа, и скольжение реализуется между плоскостями титана, представляющими ОЦК и ГПУ структуры (рис. 4а). Для двух других ориентаций решёток (образцы С2 и С3) в процессе сдвига вблизи границы раздела двух металлов формируется слой с разупорядоченной структурой (рис. 4б и 4в). Отличие для образцов С2 и С3 заключается в составе и толщине этого слоя. Так, для образца С2 толщина разупорядоченного слоя достигает 4 межплоскостных расстояния, а его состав – это атомы титана и железа в соотношении 2:1. Для образца С3 разупорядоченный слой преимущественно состоит из атомов титана, а его толщина не превышает  $2\div 3$  межплоскостных расстояния (рис. 4в).

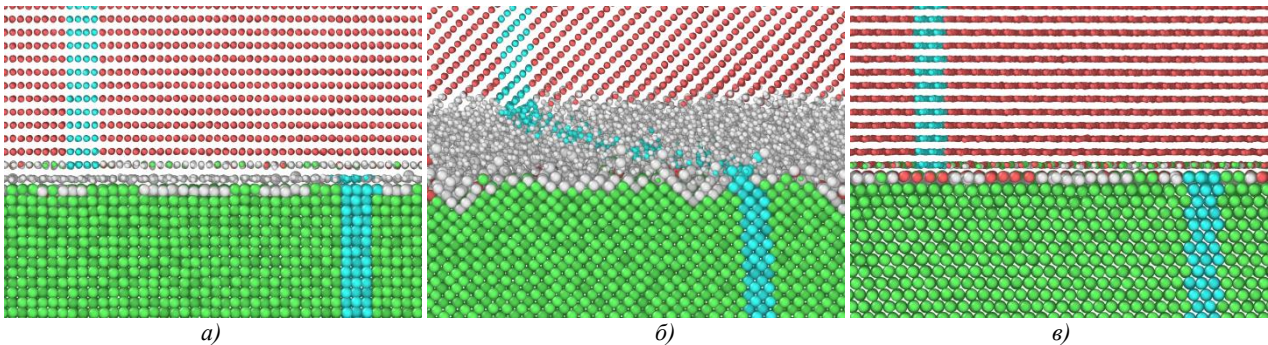


Рис. 3. Фрагмент структуры биметалла Cu-Ti при деформации  $\epsilon \approx 0,23$   
Цветом обозначены структуры согласно СНА, крупными шариками отмечены атомы меди, мелкими – титана.  
Голубым цветом отмечены атомы, до начала нагружения находившиеся в одной плоскости

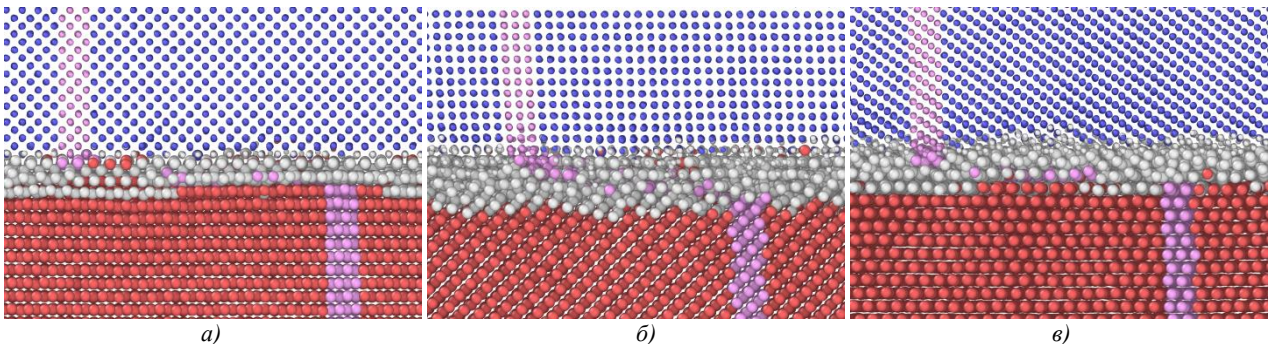


Рис. 4. Фрагмент структуры биметалла Fe-Ti при деформации  $\epsilon \approx 0,23$   
Цветом обозначены структуры согласно СНА, крупными шариками отмечены атомы титана, мелкими – железа.  
Розовым цветом отмечены атомы, до начала нагружения находившиеся в одной плоскости

На рисунке 5 приведены зависимости сдвиговых напряжений от деформации для всех 9 образцов. Можно видеть, что величина сдвигового напряжения тем выше, чем более разупорядоченная структура образуется в области границ раздела двух металлов в ходе сдвигового нагружения. Наибольшая разница для одной пары металлов наблюдается в случае комбинации ГЦК-ГПУ. Так для образца В2, когда в области интерфейса образуется аморфно-подобная прослойка, величина сдвигового напряжения достигает 2.5 ГПа, в то время как для двух других ориентацией той же пары металлов (образцы В1 и В3) максимальные значения сдвиговых напряжений на установившемся режиме скольжения близки к значениям  $0,1\div 0,3$  ГПа. При этом, если в образце В3 скольжение является ламинарным и без особенностей в исследуемой величине, то в образце В2 относительное проскальзывание сопровождается небольшими осцилляциями сдвигового напряжения, обусловленными сдвигами между атомными слоями титана. Единичный акт сдвига в этом случае происходит на расстояние, равное вектору трансляции решётки в направлении оси X, что разгружает деформацию решётки и снимает возникающие в образце напряжения. Начальный пик зависимости для такого образца, по-видимому, связан с преодолением потенциального барьера, необходимого для реализации первоначального сдвига между первым и вторым, по отношению к интерфейсу, атомными слоями титана (рис. 5б).

Отсутствие начального роста напряжений на кривой для образца В3 обусловлено особенностями механизма сдвига, реализующегося непосредственно по границе раздела двух металлов.

Подобное различие в значениях сдвиговых напряжений, но в меньшей степени, наблюдается и для пары металлов Fe-Cu (рис. 5а). Так, для образцов А1 и А3 величина сдвиговых напряжений на установившемся режиме скольжения варьируется в диапазоне  $1 \div 1,5$  ГПа, в то время, как для образца А2, когда только один атомный слой меди выстраивается в ОЦК решётку вблизи границы раздела, величина сдвиговых напряжений не превышает 0,5 ГПа. Небольшие осцилляции исследуемой величины в этом случае присутствуют на всех трёх зависимостях и имеют примерно одинаковый масштаб.

Как показали результаты моделирования, наибольшее влияние на величину сдвигового напряжения кристаллографическая ориентация оказывает в случае сопряжения ОЦК и ГПУ металлов. В этом случае каждый из образцов характеризуется своим уровнем напряжений при установившемся режиме проскальзывания, среднее значение которого определяется степенью разупорядочения структуры в области интерфейса. Наибольшее сопротивление относительно проскальзыванию (4 ГПа) наблюдается для образца С2. Наименьшее значение (1 ГПа) наблюдается для образца С1. Образец С3 демонстрирует средний уровень сдвигового напряжения при проскальзывании на уровне 2,6 ГПа. Во всех трёх образцах биметалла Fe-Ti выход на установившийся режим скольжения, связанный с формированием вблизи интерфейса слоя с разупорядоченной структурой, приводит к формированию пика напряжений. Величина пика возрастает по мере роста среднего уровня напряжений. Это объясняется тем, что на формирование более широкого пограничного слоя необходимо затратить большую первоначальную энергию.

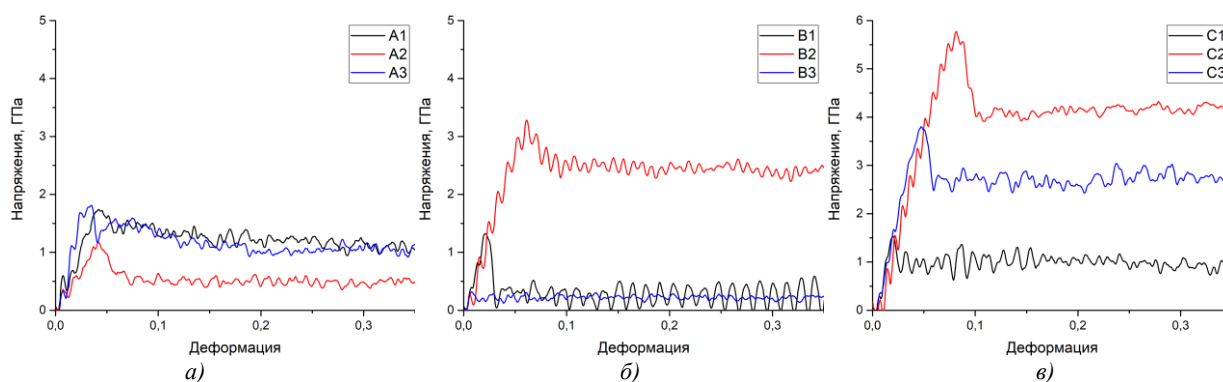


Рис. 5. Диаграммы нагружения для девяти рассмотренных образцов

Из представленных результатов можно сделать следующие выводы.

В работе численно исследованы основные закономерности развития процесса пластического деформирования вблизи границы раздела между ОЦК/ГЦК/ГПУ металлами в условиях сдвига вдоль плоскости сопряжения. Показано, что сдвиговая деформация происходит либо вблизи ГР в объёме одного из материалов, либо непосредственно по ГР. Формирование интерфейсного слоя, который состоял бы из атомов обоих материалов, т.е. перемешивание, является частным случаем и зависит от типов решеток контактирующих металлов и их кристаллографической ориентации по отношению к нагрузке.

Получаемые при этом зависимости «напряжение – деформация» могут быть использованы в качестве параметров, определяющих прочностные свойства композиционного материала в численных моделях компьютерных методов большего масштаба.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006.*

Список использованных источников:

1. Bandyopadhyay A. Additive manufacturing of multi-material structures / A. Bandyopadhyay, B. Heer // Mater. Sci. Eng. R Reports. – 2018. – Vol. 129. – P. 1–16.
2. Gasper A.N.D., Catchpole-Smith S., Clare A.T. In-situ synthesis of titanium aluminides by direct metal deposition / A.N.D. Gasper, S. Catchpole-Smith, A.T. Clare // J. Mater. Process. Technol. – 2017. – Vol. 239. – P. 230–239.
3. Li F. Microstructural study of MMC layers produced by combining wire and coaxial WC powder feeding in laser direct metal deposition / F. Li [et al.] // Opt. Laser Technol. – 2016. – Vol. 77. – P. 134–143.

4. Gu H. Multi-physics modelling of molten pool development and track formation in multi-track, multi-layer and multi-material selective laser melting / H. Gu [et al.] // Int. J. Heat Mass Transf. – 2020. – Vol. 151. – P. 119458.
5. Bonny G. Ternary Fe–Cu–Ni many-body potential to model reactor pressure vessel steels: First validation by simulated thermal annealing / G. Bonny, [et al.] // Philos. Mag. – 2009. – Vol. 89. – № 34–36. – P. 3531–3546.
6. Miraz A.S.M. Development and application of interatomic potentials to study the stability and shear strength of Ti/TiN and Cu/TiN interfaces / A.S.M. Miraz [et al.] // Mater. Des. – 2020. – Vol. 196. – P. 109123.
7. Sa I., Lee B. Modified embedded-atom method interatomic potentials for the Fe–Nb and Fe–Ti binary systems / I. Sa, B. Lee // Scr. Mater. – 2008. – Vol. 59. – № 6. – P. 595–598.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ TiC НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ КОМПОЗИТА Ni<sub>3</sub>Al-TiC ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СВС-КОМПАКТИРОВАНИЯ

К.О. Акимов<sup>а</sup>, к.т.н., м.н.с., К.В. Иванов, д.ф.-м.н., в.н.с., М.Г. Фигурко, инженер

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
634055, г. Томск, пр. Академический 2/4

E-mail: <sup>а</sup>akimov\_ko@ispms.ru

**Аннотация:** В работе исследованы фазовый состав, структура и твердость Ni<sub>3</sub>Al-TiC, полученного методом СВС-компактирования. Содержание TiC варьировалось в интервале от 0 до 30 об. %. Установлено, что добавка частиц TiC до 10 об. % практически не влияет на синтез интерметаллида Ni<sub>3</sub>Al. Частицы TiC располагались кластерами и по отдельности. Каждая частица, в том числе и в кластерах, была окружена материалом интерметаллической матрицы. Обнаружено увеличение твердости композита с увеличением содержания TiC до 2 раз по сравнению с нелегированным Ni<sub>3</sub>Al. Увеличение содержания TiC до 30 об. % приводит к появлению непрореагировавшего никеля в интерметаллической матрице. Частицы TiC примыкают друг к другу в кластерах и между ними имеется свободный объем. Установлено, что синтез композита Ni<sub>3</sub>Al-TiC в условиях теплового взрыва удовлетворительно протекает при доле карбида титана в исходной порошковой смеси 10 об. % и менее.

**Ключевые слова:** Ni<sub>3</sub>Al, карбид титана, СВС-компактирование, твердость, структура

**Abstract:** The phase composition, structure, and hardness of Ni<sub>3</sub>Al-TiC obtained by SHS-compaction have been studied in this work. The content of TiC varied in the range from 0 to 30 vol. %. It has been established that the addition of TiC particles up to 10 vol. % practically does not affect the synthesis of Ni<sub>3</sub>Al intermetallide. The TiC particles were arranged in clusters and separately. Each particle, including those in clusters, was surrounded by an intermetallic matrix material. An increase in the hardness of the composite with an increase in the TiC content up to 2 times compared to unalloyed Ni<sub>3</sub>Al was found. Increasing the content of TiC to 30 vol. % leads to the appearance of unreacted nickel in the intermetallic matrix. The TiC particles are adjacent to each other in clusters and there is a free volume between them. It has been established that the synthesis of the Ni<sub>3</sub>Al-TiC composite under thermal explosion conditions proceeds satisfactorily when the proportion of titanium carbide in the initial powder mixture is 10 vol. % or less.

**Keywords:** Ni<sub>3</sub>Al, titanium carbide, SHS-compaction, hardness, structure

Введение

Интерметаллид Ni<sub>3</sub>Al благодаря своим уникальным свойствам (низкая плотность, аномальная температурная зависимость прочностных свойств, высокая коррозионная стойкость) является востребованным материалом для деталей и конструкций, эксплуатируемых в экстремальных условиях высокой температур и давлений. Однако существует проблема склонности поликристаллического Ni<sub>3</sub>Al к хрупкому разрушению при комнатной температуре, что ограничивает его практическое применение. В настоящее время решением данной проблемы является добавление микрообъемов бора, что значительно позволяет повысить пластичность Ni<sub>3</sub>Al [1]. Помимо этого, одним из способов повышения механических и триботехнических свойств Ni<sub>3</sub>Al при высоких температурах находится в легировании интерметаллида частицами тугоплавких соединений, например, карбида титана (TiC) [2–4]. Актуальным является исследование возможности повышения износостойкости деталей и покрытий из композитов с матрицей Ni<sub>3</sub>Al. С этой целью получают керметы, в которых основной фазой является карбид вольфрама или титана, а Ni<sub>3</sub>Al является связующим с содержанием его до 40 % [5–7] для замены широко распространенных сплавов WC-Co.

Получение данных материалов проводится методами порошковой металлургии, в том числе вакуумным спеканием [8, 9], горячим прессованием [8], СВС-компактированием [2-7] и другими. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез благодаря простоте и высокой скорости является привлекательным методом получения композитов с матрицей из Ni<sub>3</sub>Al. В качестве объекта исследования особый интерес представляет композит Ni<sub>3</sub>Al-TiC в связи с тем, что он обладает высокой температурой плавления, низкой плотностью, и высокой твердостью.

К настоящему моменту в литературе имеются работы, в которых осуществлен СВС композита  $Ni_3Al-TiC$  с различным содержанием карбидной фазы [9]. Целью настоящей работы являлось установление закономерностей формирования структуры, и твердости композита  $Ni_3Al-TiC$  с различным содержанием карбидной фазы, полученного методом СВС-компактирования.

#### Материал и методика эксперимента

Композит был изготовлен методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза из порошковой смеси Ni (размер частиц ~1 мкм), Al (размер частиц ~4 мкм) и TiC (размер частиц ~3 мкм). Порошковую смесь перемешивали в вибросмесителе с последующей гомогенизацией для получения более однородной смеси. Затем исходную порошковую смесь помещали в цилиндрическую стальную пресс-форму с внутренним диаметром 58 мм. Смесь непрерывно нагревали до 400 °С с помощью индукционного нагревателя и затем выдерживали в течение 5 минут. После этого смесь нагревали со скоростью 10 °С/мин до начала реакции синтеза. Через секунду после начала реакции смесь сжималась и деформировалась в процессе синтеза. Образцы для РЭМ, рентгеноструктурного анализа (РФА) и измерения твердости вырезали из синтезированных композитов  $Ni_3Al-TiC$  на электроэрозионном проволочном отрезном станке. Затем образцы шлифовали и полировали наждачной бумагой. Финальную полировку проводили с использованием суспензии оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) с размером абразива 0,3 мкм. РЭМ-исследования проводились на микроскопе Carl Zeiss EVO-50 при ускоренном напряжении 20 кВ. Элементный состав образцов измеряли методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX) с использованием детектора X-act и программного обеспечения INCA. Фазовый состав поверхностного слоя определяли методом рентгеновской дифракции (РФА) на дифрактометре ДРОН-8 с Cu K $\alpha$ -излучением (длина волны  $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$ ) в интервале углов от 10 до 130°. Массовую долю фаз оценивали по интенсивности пиков.

#### Результаты

Результаты рентгенофазового анализа, полученные для образца без добавления TiC демонстрируют наличие сильных пиков интерметаллида  $Ni_3Al$ , и двух слабых пиков относящиеся к интерметаллиду NiAl (рис. 1а). Выявлено, что добавление 10 об. % TiC не приводит к дополнительному образованию вторичных фаз системы Ni-Al (рис. 1б). В свою очередь для образца, полученного с добавлением 30 об. % TiC наблюдаются пики, соответствующие чистому никелю (рис. 1в).

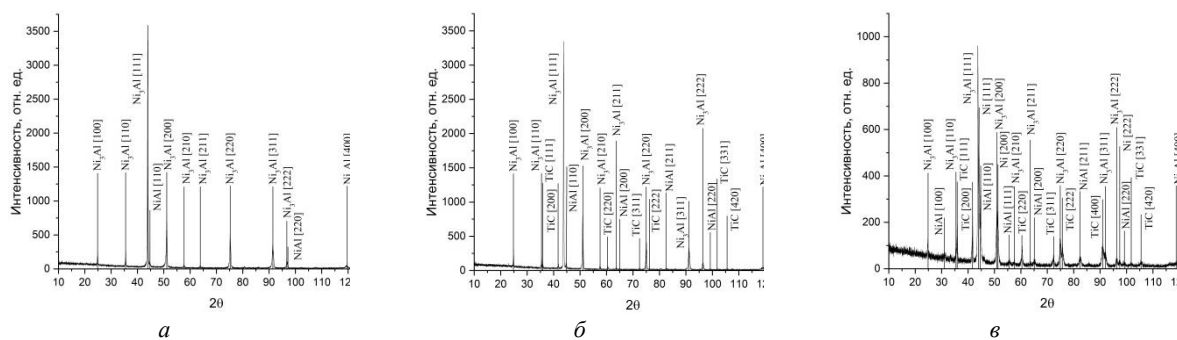


Рис. 1. Рентгенограммы образцов, полученный методом СВС-компактирования, с различным содержанием TiC (об.%): а – 0 %, б – 10 %, в – 30 %

Результаты полуколичественного расчета, выполненного на основании данных об интегральной интенсивности пиков, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание фаз (об. %) в образцах  $Ni_3Al$  и композитах  $Ni_3Al-TiC$ , полученных методом СВС-компактирования

Образец	$Ni_3Al$	NiAl	TiC	Ni
( $Ni_3Al+0\%TiC$ )	96	4		
( $Ni_3Al+10\%TiC$ )	87	3	10	
( $Ni_3Al+30\%TiC$ )	39	16	29	16



Видно, что для образца, полученного без добавления TiC, доля интерметаллида Ni<sub>3</sub>Al составляет 96 об. %, NiAl – 4 об. %. Таким образом, в отсутствие карбида титана синтез интерметаллида в использованных условиях происходит практически полностью. Добавка в исходную порошковую смесь карбида титана количестве 10 об. % практически не влияет на полноту прохождения синтеза, почти весь материал матрицы представлен интерметаллидом Ni<sub>3</sub>Al, а содержание фазы NiAl в ней незначительное, максимум 3 об. %. Увеличение содержания в порошковой смеси карбида титана до 30 об. % резко меняет соотношение фаз в синтезированном компакте: доля интерметаллида Ni<sub>3</sub>Al снижается до 39 об. %, а NiAl вырастает до 16 об. %. В системе остается много никеля, непрореагировавшего с алюминием – до 16 об. %. Таким образом, наличие в порошковой смеси инертной составляющей (карбида титана) в количестве 30 об. % препятствует полному прохождению реакции синтеза.

В результате анализа структуры образца, синтезированного без добавления TiC, методом РЭМ были обнаружены дисперсные частицы, проявляющие темный контраст. Анализ энергетического спектра рентгеновского излучения, полученного от частиц, указывает на повышенное содержание кислорода и алюминия (рис. 2б), что позволяет идентифицировать указанные частицы как оксид алюминия. Оксид алюминия всегда присутствует на поверхности частиц порошка алюминия, в процессе синтеза он не вступает в реакции, поэтому сохраняется в синтезированном материале. При этом средний элементный состав материала соответствует фазе Ni<sub>3</sub>Al (рис. 2в). Однако на изображениях видны области с более темным контрастом, чем основная площадь шлифа. Микрорентгеноспектральный анализ показывает обогащение данных областей по алюминию (до 35 ат. % Al) по сравнению с основным материалом (25 ат. % Al) (рис. 2д).

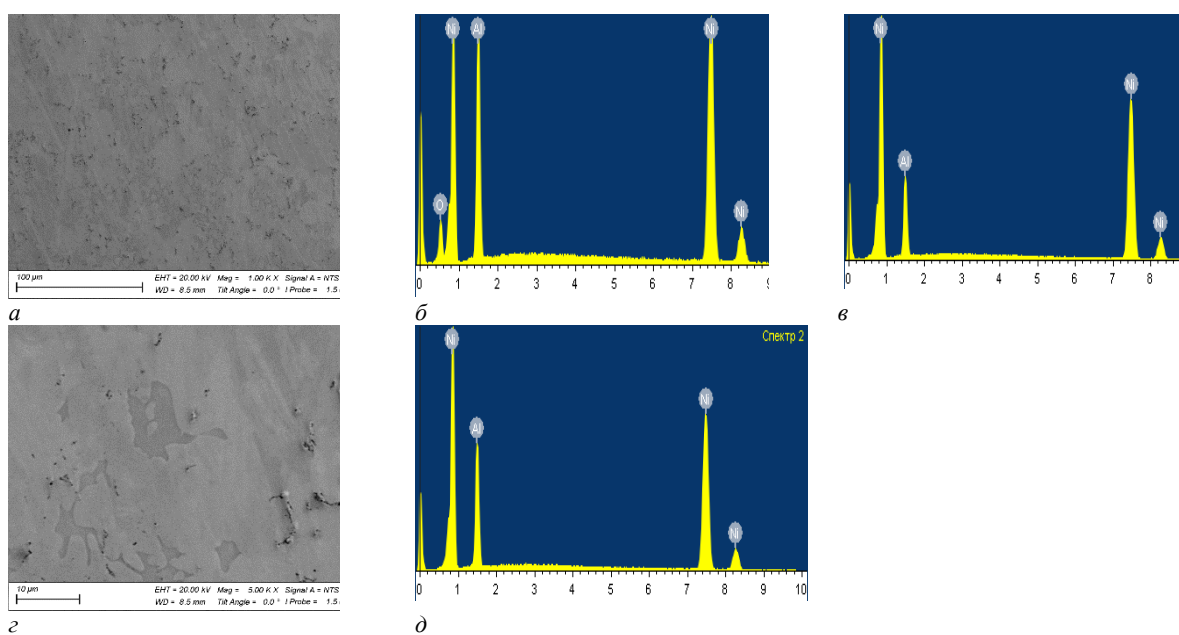


Рис. 2. РЭМ-изображения (а, г) и спектры ЭДС (б, в, д), полученные для нелегированного Ni<sub>3</sub>Al

Увеличение содержания карбида титана в порошковой смеси до 10 об. % привело к образованию в структуре материала отдельных грубых кластеров частиц карбида титана размером до нескольких сотен микрон (рис. 3а). Микроанализ с области, не включающей грубый кластер, показывает увеличение концентрации титана и углерода до 5 и 14 ат. %. Очевидно, что в грубых кластерах концентрация титана и углерода резко возрастает, поэтому вне кластеров концентрация снижена по сравнению со значением, введенным в порошковую смесь. Внутри кластера концентрация TiC достигает до 30 ат. % для обоих материалов.

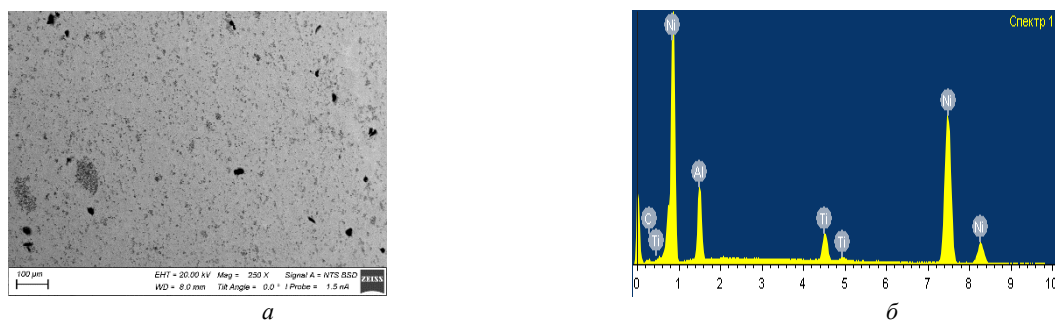


Рис. 3. РЭМ-изображение (а) и спектр ЭДС (б), полученные для композита  $Ni_3Al-TiC$  (10 об. %)

Для образца композита, полученного с добавлением 30 об. %  $TiC$  обнаружено изменение морфологии грубых кластеров, выраженное скоплением частиц  $TiC$  без разделения интерметаллическим связующим, что может оказывать разупрочняющее действие (рис. 4а). На участках между частицами области с самым светлым контрастом демонстрируют содержание никеля до 96 ат. %, самые темные – с соотношением никеля к алюминию 53:46 ат. % (рис 4б). Таким образом, в указанном материале значительная часть никеля не прореагировала с алюминием.

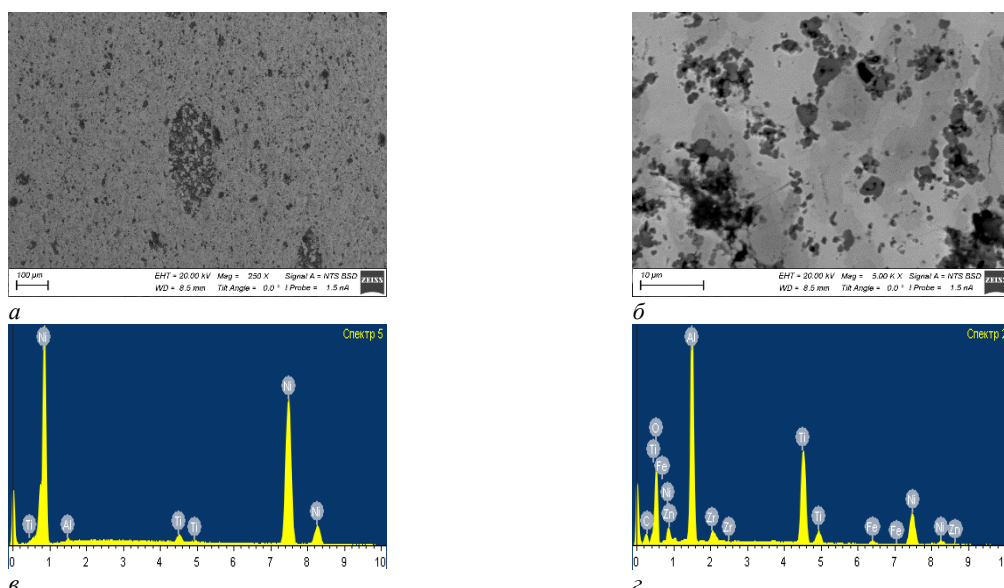


Рис. 4. РЭМ-изображения (а, б) и спектры ЭДС (в, г), полученные для композита  $Ni_3Al-TiC$  (30 об. %)

Зависимость твердости синтезированных образцов от объемного содержания карбида титана приведена на рис. 5. Видно, что добавление 10 об. %  $TiC$  приводит к увеличению твердости на 75 % до 1360 МПа по сравнению с нелегированным  $Ni_3Al$ . При увеличении в порошковой смеси содержания карбида титана до 30 об. % происходит незначительное увеличение твердости до 1560 МПа, сопровождающееся увеличением разброса значений твердости (рис. 5). Основной причиной увеличения разброса, возможно, является отсутствие сплошности в крупных кластерах частиц карбида титана. Анализ показал, что отпечатки, попавшие в область крупных кластеров частиц  $TiC$ , соответствуют твердости на 30 % ниже, чем среднее по образцу значение твердости. Другой причиной увеличения разброса значений твердости является наличие областей менее твердого никеля.

Таким образом, СВС-компактирование позволяет формировать практически двухфазный композит  $Ni_3Al-TiC$  из порошковой смеси никеля, алюминия и карбида титана при содержании карбида титана в смеси до 10 об. %. При превышении указанного значения в композите растет доля непрореагировавшего никеля и интерметаллидной фазы  $NiAl$ .

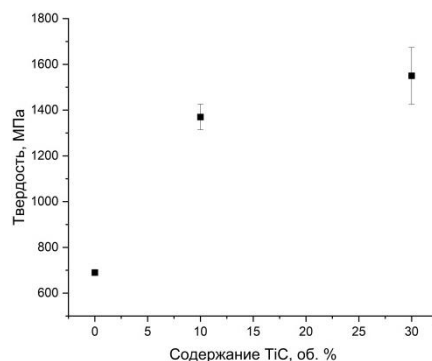


Рис. 5. Зависимость твердости композита  $Ni_3Al-TiC$  от содержания  $TiC$

#### Выводы

1. Проведенный синтез композита  $Ni_3Al-TiC$  методом СВС-компактирования с содержанием карбида титана в порошковой смеси от 0 до 30 об. % показал, что часть частиц карбида титана в структуре композита располагается в кластерах размером несколько сотен микрон, другая равномерна распределена в интерметаллидной матрице.

2. Синтез интерметаллида  $Ni_3Al$  происходит практически полностью при содержании карбида титана в порошковой смеси до 10 об. %. При увеличении объемной доли  $TiC$  до 30 об. % вместе с интерметаллидом  $Ni_3Al$  в матрице присутствует значительная доля интерметаллида  $NiAl$  и непрореагировавшего никеля.

3. Твердость композита  $Ni_3Al-TiC$  значительно возрастает при увеличении объемной доли  $TiC$  от 0 до 10 об. %. При увеличении объемной доли  $TiC$  от 10 до 30 об. % наблюдается значительный разброс значений твердости, вызванный наличием крупных кластеров  $TiC$  и областей, содержащих непрореагировавший никель.

#### Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-29-00673, <https://rscf.ru/project/23-29-00673/>.

#### Список использованных источников:

1. Liu C. Effect of boron on grain-boundaries in  $Ni_3Al$  / C. Liu, C. White, J. Horton // Acta Metallurgica. – 1985. – Vol. 33 (2). – P. 213–229.
2. Hujek P. Application of SHS in the Manufacture of  $(NiAl/Ni_3Al)/TiB_2$  Composite / P. Hujek, I Sulima, L. Jaworska // Metall Mater Trans A. – 2019. – Vol. 50. – P. 3724–3735.
3. Sheng L.Y. Investigation on microstructure and wear behavior of the  $NiAl-TiC-Al_2O_3$  composite fabricated by self-propagation high-temperature synthesis with extrusion / L.Y. Sheng, F. Yang, T.F.Xi, [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2013. – Vol. 554. – P. 182–188.
4. Microstructure evolution and mechanical properties of  $Ni_3Al/Al_2O_3$  composite during self-propagation high-temperature synthesis and hot extrusion / L.Y. Sheng [et al.] // Materials Science and Engineering: A. – 2012. – Vol. 555. – P. 131–138.
5. Gaier M. The effects of graphene nano-platelet additions on the sliding wear of  $TiC-Ni_3Al$  cermets / M. Gaier, Z.N. Farhat, K.P. Plucknett // Tribology International. – 2019. – Vol. 130. – P. 119–132.
6. The influence of intermetallic ordering on wear and indentation properties of  $TiC-Ni_3Al$  cermets / M. Gaier, [et al.] // Wear. – 2019. – Vol. 426–427. – P. 390–400.
7. Stewart T.L., Plucknett K.P. The sliding wear of  $TiC$  and  $Ti(C,N)$  cermets prepared with a stoichiometric  $Ni_3Al$  binder / T.L. Stewart, K.P. Plucknett // Wear. – 2014. – Vol. 318. – P. 153–167.
8. Ceramic composites with a ductile  $Ni_3Al$  binder phase / Tiegs T.N. [et al.] // Materials Science and Engineering: A. – 1996. – Vol. 209 (1–2). – P. 243–247.
9.  $TiC/Ni_3Al$  Composites Manufactured by Self-Propagating High-Temperature Synthesis and Hot Isostatic Pressing / J. Keskinen [et al.] // Journal of Materials Synthesis and Processing. – 1999. – Vol. 7. – P. 253–258.

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ТИТАНОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИТА С ОКСИДНЫМИ И КАРБИДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ**

*В.В. Коржова<sup>2</sup>, к.т.н., н.с., Е.Н. Коростелева<sup>1,2</sup>, к.т.н., доц., О.Е. Петренко<sup>1а</sup>, магистрант,*

*<sup>1</sup>Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

*634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, (3822) 492-771*

*E-mail: <sup>а</sup>elenak@tpu.ru*

**Аннотация:** В работе представлены результаты вакуумного спекания многокомпонентных порошковых составов на основе титана с добавлением реагирующих компонентов Al, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и C. Проанализированы возможные физико-химические стадии, сопутствующие спеканию в условиях регулируемого нагрева порошковых смесей Ti+Al+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+C, приготовленных в разных режимах. Описаны основные факторы, имеющие место на уровне межчастичных контактов и влияющие на последовательность стадий фазообразования. Установлено, что важную роль играет способ смешивания, который определяет стадийность процессов взаимодействия компонентов, что в свою очередь отражается в формировании финального структурно-фазового состояния композиций.

**Ключевые слова:** металлматричные композиты, реакционное спекание, стадии фазообразования, оксиды, сложные интерметаллиды, реакции восстановления

**Abstract:** The results of vacuum sintering of multicomponent powder compositions based on titanium with the addition of reactive components Al, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and C were presented in this study. Possible physicochemical stages accompanying sintering under controlled heating conditions of Ti+Al+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+C powder mixtures prepared in different modes were analyzed. The main factors that take place at the level of interparticle contacts and affect the sequence of stages of phase formation were described. It has been established that the method of mixing plays an important role, which determines the staging of the processes of interaction between the components that in turn is reflected in the formation of the final structural-phase state of the composites.

**Keywords:** metal matrix composites, reaction sintering, phase formation stages, oxides, complex intermetallides, reduction reactions

**Введение.** В рамках расширения требований к композиционным материалам возрастает запрос к использованию более разнообразных по качеству и количеству компонентов составов, где во главе угла стоял вопрос не только повышения механических свойств, но и соответствия другим физико-химическим критериям (химическая устойчивость, электрофизические свойства, термостойкость и т. д.). Поэтому все большую популярность приобретают композиты, сочетающие в себе свойства как металлов, так и керамических материалов [1–4]. Композиты с титановой матрицей востребованы в широком спектре отраслей, включая машиностроение, транспорт, аэрокосмическую технику, энергетику, химические и биотехнологии, в том числе медицинское материаловедение [5–7].

Уникальность титановых композитов заключается в том, что благодаря своей относительно низкой плотности, высокой прочности и коррозионной устойчивости, они успешно используются при проектировании различных изделий, деталей, узлов и конструкций. Другим привлекательным свойством является возможность использования большого количества комбинаций дополнительных компонентов в виде как простых элементов, так и соединений, которые хорошо связываются с титаном, что существенно повышает его функциональные и физико-механические характеристики. Это позволяет в зависимости от области применения, создавать новые группы композитов на основе титана с различными тугоплавкими и твердыми фазами-включениями. Среди таких фаз особый интерес представляют оксидные соединения, однородно распределенные в матрице и характеризующиеся высокой степенью адгезии к титановой матрице. Использование реакций восстановления металлов из оксидов с образованием других оксидов в области СВС довольно распространено [4–9]. Также широко исследуются составы, содержащие углерод как карбидообразующую фазу. Проблема заключается в том, что к настоящему времени пока затруднительно добиться приемлемой адгезии между оксидной фазой и титановой матрицей при использовании традиционных порошковых технологий получения композитов.

Наиболее ярким примером порошковой композиции с интенсивно реагирующими компонентами является система на основе титана, где дополнительно используют алюминий. С другой стороны, система «алюминий-оксид железа» относится к одной из самых распространенных комбинаций в реакциях восстановления (металлотермии). Очевидно, что если рассматривать композицию «титан-алюминий-оксид железа-углерод» в условиях вакуумного нагрева, то возникнет проблема оценки возможных реакций не только в количественном плане, но и даже качественно.

В данном случае привязка к традиционным диаграммам состояния не работает, и фактически, экспериментально после реакционного спекания в композите Ti-Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C может наблюдаться непредсказуемые группы фаз и их количественное сочетание.

Актуальность исследования связана с изучением роли неинертного оксидного компонента в порошковой смеси на основе интерметаллидообразующей титан-алюминиевой основы для синтеза металлокерамического композита. Несмотря на наличие работ в этой области, остается еще много вопросов относительно протекания реакционных процессов как с экспериментальной, так и теоретической точки зрения. В связи с этим экспериментальные исследования реакционного спекания порошковых материалов системы Ti-Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C представляют определенный научный интерес.

Материалы и методика эксперимента. В качестве объекта исследования была рассмотрена система Ti – Fe – Al – O – C, где кислород представлен в оксиде Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Были приготовлены смеси из порошков титана (ТПП8, <125-160 мкм), алюминия (ПА-4, <100 мкм), сажи (углерода П-803, <3 мкм) и оксида железа (ЧДА, <120 мкм). Соотношение компонентов было ориентировано на формирование определенных расчетных фаз согласно возможным протекающим реакциям в исследуемых системах элементов, включая сопутствующие реакции металлотермии. Поскольку в порошковых смесях присутствуют оксиды, то при расчетах составов учитывали молярные соотношения компонентов, обеспечивающие реакцию восстановления: Al+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → Fe+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Как известно, для полной реализации реакции восстановления необходимо следующее количественное соотношение реагентов (мол.): 2/3Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 4/3Al = 2/3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 4/3 Fe. Суммарное количество этих реагентов в общей массе порошковой смеси соответствовало возможности формирования оксидной фазы в количестве, не превышающем 10 об. %. Другим условием расчета компонентов было ориентация на соотношение титана и железа, близкое к их эвтектическому соотношению Ti:Fe=68:32 (в вес. %) согласно равновесной диаграмме состояния системы Ti – Fe. Соотношение компонентов (вес. %) в смесях приведено в таблице 1.

Таблица 1

Состав порошковых смесей

Целевые фазовые составы, предполагаемые после спекания	Порошковые компоненты, вес. %			
	Ti	Al	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C
(Ti-Fe) + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiC	78,2	5,3	15,7	0,8

Смешивание порошков осуществляли в двух вариантах, используя стационарный режим в аксиальном смесителе и динамический режим в активаторе. В первом случае проводили совместное смешивание компонентов в смесителе в течение 4 часов. Во втором варианте режим смешивания разбивали на два этапа: а) предварительная активация оксида железа с алюминием, б) затем добавление к этой смеси титана и сажи с последующим простым смешиванием в аксиальном смесителе. Образцы из полученных порошковых смесей прессовали с использованием цилиндрической прессформы с плавающим пуансоном высотой 10–15 мм и диаметром 10 мм. Начальная (исходная) пористость прессовок составляла 23–27 %. Спекание образцов проводили в вакуумной печи СНВЭ-1.3.1/16 в условиях регулируемого нагрева со скоростью приращения температуры 3–5 °/мин. Выдержка составляла 60 минут при температурах 1150 и 1250 °С. Для оценки формируемого структурно-фазового состояния были проведены структурные исследования и рассчитаны изменения пористости и объема в зависимости от состава порошковых композиций.

Результаты и их обсуждение. Используемые варианты смешивания четырехкомпонентных смесей Ti-Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C по-разному оказали влияние на спекаемость и формируемую структуру прессовок из них. Эта разница очень хорошо видна при сравнении микроструктур спеченных образцов из смеси Ti+Al+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+C, приготовленной разными способами (рис.1 и 2). В первом варианте одновременного смешивания всех компонентов несмотря на условия регулируемого нагрева, формируются протяженные локальные зоны интенсивного взаимодействия с протеканием возможных экзотермических реакций. В результате, в объеме прессовки образуются существенные объемы вторичных пор на месте реагентов, продукты взаимодействия которых перешли в твердорастворное состояние с соседней фазой.

Согласно результатам РСА, в спеченных образцах из смеси  $Ti+Al+Fe_2O_3+C$ , полученной простым одновременным смешиванием всех компонентов, основной фазой, как и следовало ожидать, является твердый раствор на основе  $\alpha$ -титана (60–63 об. %). Другие исходные компоненты могут быть представлены в виде фаз  $TiFeAl$  (15–18 об. %),  $TiFe$  (2–4 об. %) или  $FeO$  (18–9 об. %). Не исключен нестехиометрический карбид титана (до 10 об.%), но его линии интенсивности на дифрактограмме близки к линиям оксида железа  $FeO$ , поэтому количество оксида железа может колебаться в зависимости от наличия карбида титана.

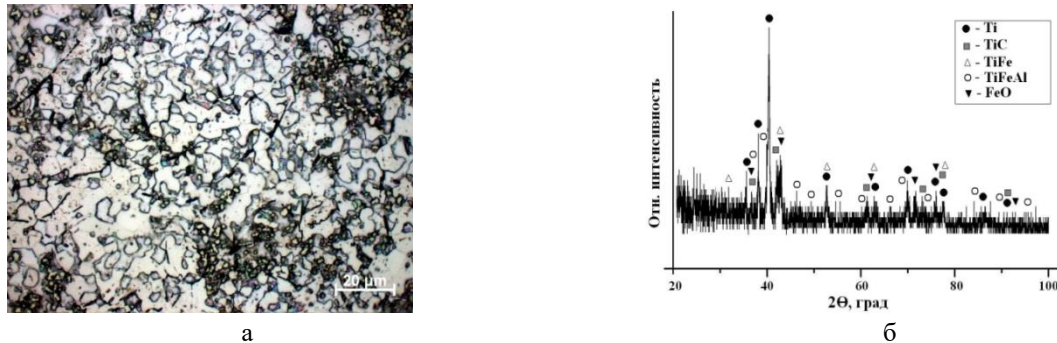


Рис. 1. Микроструктура (а) и рентгенограмма (б) спеченных при 1150 °С образцов из порошковой смеси  $Ti+Al+Fe_2O_3+C$  (стандартное совместное смешивание компонентов)

Использование двухэтапного раздельного смешивания компонентов с использованием механоактивации приводит к формированию другого фазового состава и зеренной структуры (рис.2.). В отличие от предыдущего варианта, вторичная пористость распределена более равномерно, что показывает более однородный характер распределения локальных зон контактного взаимодействия реагентов. Предварительная механоактивация пары  $(Al+Fe_2O_3)$  обеспечила гарантированный синтез корунда  $Al_2O_3$ , который после второго этапа смешивания в присутствии углерода смог сохраниться в спеченной структуре (до 25 об. %), не растворившись в титановой матрице. Объем самой титановой матрицы (вернее, разбавленного твердого раствора на его основе) составляет порядка 61 об. %. РСА также фиксирует наличие синтезированного в условиях спекания нестехиометрического карбида титана (12 об.%) и малозаметные рефлексы интерметаллида  $TiFe$  (до 1 об. %).

Многоуровневость протекания реакций в этой 4-компонентной смеси в зависимости от способа смешивания отражается на объемных дилатациях (изменениях) прессовок в процессе спекания (таблица 2).



Рис. 2. Микроструктура (а) и рентгенограмма (б) спеченных образцов из порошковой смеси  $Ti+Al+Fe_2O_3+C$ , приготовленной двухэтапным способом; (а) микроструктура спеченных образцов при 1150 °С; (б) спеченные образцы при температурах: 1 – 1150 °С; 2 – 1250 °С

Так как образцы из смеси, приготовленной по второму варианту продемонстрировали наибольшее уплотнение при 1150 °С спекания, то было исследовано их поведение при более высокой температуре с возможностью достижения минимальной пористости при сохранении формы прессовок. Результаты сравнения поведения образцов из смеси  $Ti+Al+C+Fe_2O_3$  (II) в условиях вакуумного спекания при разных температурах приведены на рис.3. Помимо уменьшения объема, также произошло существенное сокращение остаточной пористости, снизив первоначальное значение прессовок с 26 % до 5–8 % пористости.

Объемные изменения спеченных при 1150°C прессовок из порошковых смесей Ti+Al+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+C

Состав	Вариант смешивания	Относительное изменение объема (усадка), %
Ti+Al+C+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	I	образцы при спекании сократились в диаметре (на 9%), но значительно поднялись в высоту (до 35 %), что привело к общему значению отрицательной усадки (роста) в % около – 16,0 %
	II	14,4

Сравнение результатов РСА также показывает влияние температуры спекания на формирование окончательного структурно-фазового состояния порошковой композиции с двухэтапным смешиванием (рис.2). С повышением температуры качественный фазовый состав радикально не меняется, то есть, основные реакции реализовались еще на стадии достижения температуры спекания до 1150 °С. С другой стороны, повышение температуры привело к количественному перераспределению фаз, увеличив долю нестехиометрического титана.

Таким образом, представленные результаты исследования показывают, что процедура смешивания определенных типов компонентов имеет существенное значение при формировании структуры и фазового состава. Взаимодействующие компоненты сильно зависят от характера распределения своих элементов в общем объеме смеси и последовательности стадий их реакционно-диффузионного взаимодействия. С другой стороны, анализ поведения таких порошковых систем при спекании позволяет определить возможный приоритет за той или иной реакцией между компонентами.

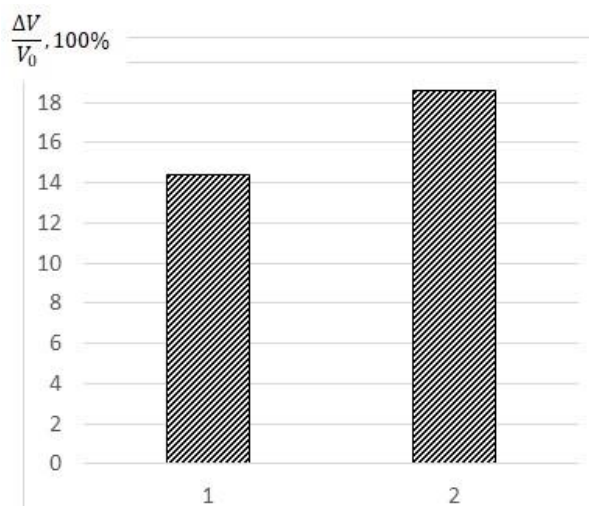


Рис. 3. Относительное изменение объема (усадка) прессовок из порошковой смеси Ti+Al+C+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (II) при разных температурах спекания: 1 – 1150 °С; 2 – 1250 °С

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0005.

Список использованных источников:

1. Titanium-based matrix composites reinforced with particulate, microstructure, and mechanical properties using spark plasma sintering technique: a review/ O.E. Falodun, B.A. Obadele, S.R. Oke [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – 102. – P. 1689–1701. – URL : <https://doi.org/10.1007/s00170-018-03281-x> (дата обращения 22.03.2023).
2. A novel fabrication method for TiC–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Fe functional material under centrifugal acceleration / R. Mahmoodian, M.A. Hassan, R.G. Rahbari [et al.] // Composites: Part B. – 2013. – V. 50. – P. 187–192.
3. Cai Z.H. Sintering behaviour and microstructures of Ti(Al,O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ti<sub>3</sub>Al(O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiAl(O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in situ composites / Z.H. Cai, D.L. Zhang // Materials Science and Engineering A. – 2006. – V. 419. – P. 310–317.
4. Яценко И.В. Получение композита TiC + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + AlFe из гранулированной шихты методом СВС / И.В. Яценко, А.Р. Самборук, Е.А. Кузнец // Современные материалы, техника и технологии. – 2016. – № 3 (6). – С. 149–153.

5. Energy efficiency during conventional and novel sintering processes : the case of Ti–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiC composites / C. Musa, R. Licheri, A.M. Locci [et al.] // Journal of Cleaner Production. – 2009. – V. 17. – P. 877–882.
6. Spark plasma sintering of Al-Ti-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite, ICMPC-2019 / S.R. Oke, O.E. Falodun, B.G. Motsa // Materials Today: Proceedings. – 2019. – V. 18. – P. 3946–3951.
7. Rafiei M. Kinetic analysis of thermite reaction in Al–Ti–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system to produce (Fe,Ti)<sub>3</sub>Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite / M. Rafiei, M.H. Enayati, F. Karimzadeh // Powder Technology. – 2014. – V. 253. – P. 553–560.
8. Горение порошковой смеси Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-Al-C в режиме СВС и структура образующихся продуктов / В.П. Кобяков, В.Д. Зозуля, М.А. Сичинава // ФГВ. – 2005. – Т. 41. – № 4. – С.60–66.
9. Effect of Heat Release Conditions on the Phase Composition of the Combustion Products of a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>/Al/C Thermite Mixture / V.P. Kobayakov, D.Yu. Kovalev // Combustion, Explosion, and Shock Waves. – 2008. – V. 44. – №. 4. –P. 405–409.

### ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУЖКИ

*М.А. Корчуганова<sup>а</sup> к.т.н., доц., Е.Ф. Мирзоянов<sup>б</sup>, магистрант  
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»  
630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20 тел. (383) 346- 08- 43  
E-mail: <sup>а</sup>mirzojanov@yandex.ru, <sup>б</sup>korchuganova@corp.nstu.ru*

**Аннотация:** В данной статье дан аналитический обзор наиболее известных моделей стружкообразования, а также исследуются вопросы стружкодробления как процесса тесно связанного с формированием стружки отвечающий требованиям технологичности процесса обработки деталей резанием, а также вопросам безопасности производства. Представлена компактная модель стружкообразования может послужить как для дальнейшего исследования, так и фундаментом для проектирования нового вида пластин для режущего инструмента.

**Ключевые слова:** модель стружкообразования, стружкодробление, процесс резания, режущий инструмент.

**Abstract:** This article provides an analytical overview of the most well-known chip formation models, as well as examines the issues of chip crushing as a process closely related to chip formation that meets the requirements of the manufacturability of the process of machining parts by cutting, as well as production safety issues. A compact model of chip formation is presented that can serve both for further research and as a foundation for designing a new type of plates for cutting tools.

**Keyword:** chip formation, chip breaking, cutting process, cutting tool.

Введение

Эффективность и качество обработки деталей резанием непосредственно зависит от вида стружки сходящей с инструмента. Так как в современном машиностроении все больше используются автоматизированные системы механической обработки и контроля продукции, а также смены инструмента и транспортировки отходов производства, то процесс формирования стружки должен быть стабильным и прогнозируемым, чтобы избежать аварийных ситуаций и нарушений технологического процесса.

С целью решения проблемы стабильного и прогнозируемого стружкообразования, применяется разные методы моделирования процессов резания. Наиболее популярные модели процессов резания, это математические и кинематические. В последнее время набирает популярность имитационное моделирование, которое также относится к виду математического моделирования и производится с помощью программных пакетов (ANSYS) используемых метод конечных элементов (МКЭ) [6].

Труды по математическому моделированию процессов стружкообразования с определением всех параметров включая силы резания проводились автором [2, 3] в МГТУ имени Баумана, и имеют большое значение для анализа и дальнейшего изучения этих процессов.

Процесс формирования стружки детально был изучен основоположником теории резания, русским учеными Тиме И.А., которым были выделены три основных вида стружек. Это сливная стружка, стружка скалывания, стружка надлома [1, 5]. Установлено экспериментально, что для стабильности процесса обработки металла резанием необходимо формирование сливной стружки отрезками небольшой длины [5]. Для этого нужно также изучить процесс дробления (ломания) стружки. Вид стружки получаемой в результате обработки детали зависит в основном от таких параметров как свойство материала, режимы резания, а также геометрии режущего инструмента. Явления связанные с образованием стружки также тесно связаны с изменением контактных процессов, происходящих на передней поверхности инструмента [4].



Множество экспериментальных исследований и производственный опыт показал, что оптимизация геометрических параметров режущего инструмента и режимов резания позволяет получить стабильную стружку и продлить работоспособность инструмента в процессе обработки.

Изменение геометрии инструмента, происходящая по причине износа или скалывание режущей кромки пластины резца, а также неоднородность химического состава материала являются основными причинами нестабильности процесса стружкообразования.

Детали процесса стружкообразования

Данная модель формирования стружки [2, 3] относится к динамическим математическим моделям и в этой модели предложено использовать следующие параметры: эффективная толщина среза, эффективная ширина и площадь срезаемого слоя.

Одной из важных характеристик стружки является угол ее схода на передней поверхности резца [2, 3] этот угол определяется в плоскости передней грани резца между направлением схода стружки и следом главной секущей плоскости (ГОСТ 25762–83). На рис. 1 представлена схема расчета угла схода стружки по передней поверхности СМП резца [2].

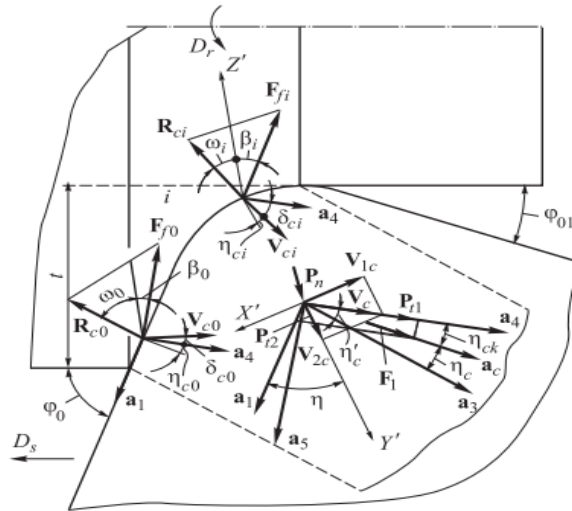


Рис.1. Схема расчета угла схода стружки и сил резания на передней поверхности СМП [2]

Направляющие векторы, это вектор  $a_1$  – направление прямолинейной части главной режущей кромки,  $a_4$  – вектор схода стружки по передней поверхности в начальный момент времени, главный угол в плане  $\varphi_0$  и вспомогательный угол  $\varphi_{01}$  (рис.1)

Согласно представленной схеме значение угла схода стружки на участке режущей кромки [2]:

$$\tan \eta_{ci} = \tan \lambda_i \cos \gamma_i, \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  – угол наклона кромки,  $\gamma_i$  – передний угол на участке [2]

Таким образом, выражение для расчета угла схода стружки по передней поверхности [2]:

$$\eta_c = \eta'_c + \eta_{ck} = \eta - \left( \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{v_{1c}}{v_{2c}} \right) + \eta_{ck}, \quad (2)$$

где  $v_{1c}$ ,  $v_{2c}$  – проекции вектора скорости схода на координатные оси  $X'$ ,  $Y'$ ;

$\eta_{ck}$  – угол учитывающий изменение направления движения стружки под действием сил на передней поверхности инструмента.

Углы схода стружки по участкам:

1. На прямолинейном участке главной режущей кромки [2]:

$$\eta_{c0} = \arctg(\tan \lambda_0 \cos \gamma_0).$$

2. На радиусной части главной режущей кромки [2]:

$$\eta_{ci} = \operatorname{arctg}(\tan \lambda_i \cos \gamma_i).$$

При больших значениях подачи таким же образом рассчитывают и углы схода стружки для вспомогательной режущей кромки [2].

Так как пластина СМП в данном случае имеет радиус при вершине, т. е. криволинейную поверхность, то имеет место случай несвободное резания, при котором сечение срезаемого слоя характеризуется переменным значением толщины срезаемого слоя вдоль режущей кромки.

Выражение для нахождения величины среднего угла сдвига которое прошло проверку при решении многих задач механики резания, скорректировано с учетом влияния скорости резания и материала и имеет окончательный вид [3]:

$$\beta = \operatorname{arccctg}[(K_L - \sin \gamma) / \cos \gamma], \quad (3)$$

где  $K_L$  – коэффициент укорочения стружки [3]:

$$K_L = (\cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \beta' + \sin \gamma) \cdot k_2, \quad (4)$$

где  $k_2$  учитывает влияние обрабатываемого материала [3].

Основные факторы влияющие на направление движения стружки, это главный угол в плане ( $\varphi$ ), передний угол ( $\gamma$ ) и угол наклона режущей кромки ( $\lambda$ ) [5]. Так же утверждается, что в окончательном виде стружка формируется в несколько этапов:

1. Образование стружки
2. Движение по передней поверхности инструмента в пределах длины контакта
3. Процесс завивания в вертикальной или горизонтальной плоскости
4. Естественное или искусственное ломание (дробление) стружки.

Сложность процесса ломания или дробления стружки заключается в физических свойствах материала стружки, отличающиеся от основного (исходного) [5]. Существуют две причины ломания стружки: в процессе разгибания при встрече с препятствием и под действием силы тяжести. Изобретение и внедрение стружколомающих порошков (стружколомов) на СМП резцов полностью не решило проблему дробления стружки.

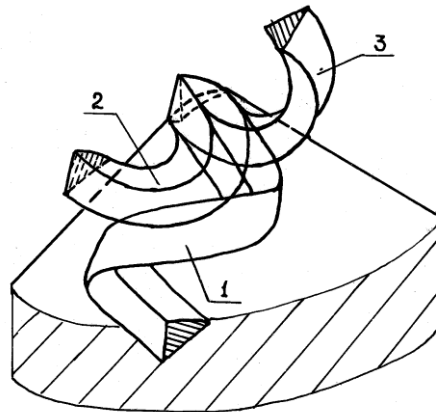


Рис. 2. Схемы завивания стружки [5]

На рисунке 2 показаны схемы завивания стружки в общем случае это вариант 1, в плоскости передней грани резца 2, вариант 3 в секущей плоскости схода стружки [5].

Утверждение, что при несвободном резании существуют предпосылки к завиванию стружки в трех взаимно перпендикулярных осях описано автором [7]. Так проблема прогнозирования образования стружки заданной формы ведет к созданию моделей стружкообразования и стружколомания.

Рассмотрим пример кинематической модель формирования и завивания стружки. Основные геометрические параметры стружки [8], которые определяют ее пространственную форму, является внешний радиус  $R$ , шаг спирали  $P$ , угол наклона поперечного сечения стружки к оси ее спирали  $\theta$  (рис.2).

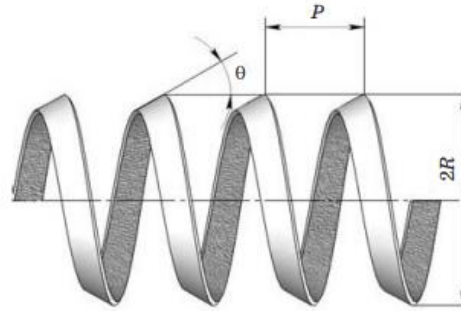


Рис. 3. Геометрические параметры стружки [8]

Основная особенность данной модели формирования стружки с переменными условиями является ее завивание в трех координатных плоскостях. Стружка, сходя под разными углами при перемещении по поверхности переменного профиля может принимать разную форму. Суммарный вектор вращательного движения имеет вид [8]:

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_u + \vec{\omega}_s + \vec{\omega}_l, \quad (5)$$

его модуль определяется как [8]:

$$|\vec{\omega}| = \sqrt{|\vec{\omega}_u|^2 + |\vec{\omega}_l|^2 + |\vec{\omega}_s|^2}. \quad (6)$$

Величины  $\vec{\omega}_u$ ,  $\vec{\omega}_l$ ,  $\vec{\omega}_s$  это вращательные движения в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 4) [8].

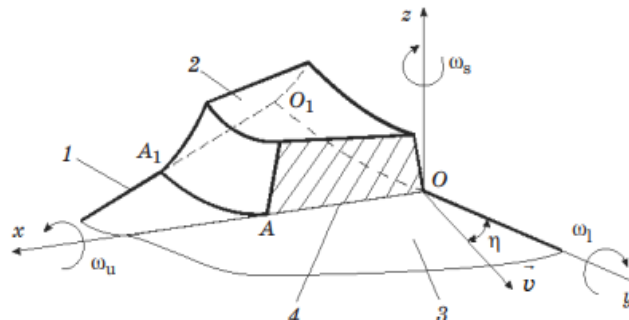


Рис. 4. Формирование стружки при резании инструментом с передней поверхностью переменного профиля [8]

На рис. 4 показаны: 1 – главная режущая кромка, 2 – стружка, 3 – инструмент, 4 – линия ( $OA$ ) отделения стружки от передней поверхности.

Величины  $\vec{\omega}_u$ ,  $\vec{\omega}_l$ ,  $\vec{\omega}_s$  соответственно равны [8]:

$$|\vec{\omega}_u| = \frac{|\vec{v}| \cos \eta}{R_u}; \quad (7)$$

$$|\vec{\omega}_s| = \frac{|\vec{v}|}{R_s}, \quad (8)$$

$|\vec{v}|$  – скорость стружки,  $\eta$  – угол схода стружки,  $R_u$  – радиус завивания в вертикальной плоскости,  $R_s$  – радиус завивания бокового.

зависимость для определения вращения стружки в плоскости поперечного сечения:

$$|\vec{\omega}_l| = \frac{|\vec{v}| \tan \rho (R_s - b_2)}{R_s R_l} . \quad (9)$$

Здесь  $R_l$  – радиус завивания в плоскости поперечного сечения,  $b_2$  – ширина стружки,  $\rho$  – изменение переднего угла схода стружки. Если инструмент имеет постоянный профиль поверхности, то  $\rho=0$  и вращение  $\omega_l$  не происходит.

Таким образом делается вывод автором [8], что если передняя поверхность режущей пластины резца не будет имеет сложную профильную поверхность, то завивание стружки не будет происходить во всех трех плоскостях, что отрицательно сказывается на процессе дробления стружки. А значит криволинейная передняя поверхность значительно расширяет возможности стабильного завивания и дробления стружки.

Одна из самых ранних работ [9] так же утверждала, что если резание производится инструментом с криволинейной передней поверхностью, то тогда стружка завивается в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Но природа вращательных движений признается единой.

Модель формирования и дробления стружки

На рисунке 4 представлена схема формирования и дробления стружки, отвечающая требованиям технологичности и безопасности процесса резания металла. При врезании пластины резца в тело заготовки стружка в начальный момент времени двигается вдоль вектора  $a_4$  (вектор схода стружки по передней поверхности) до того момента пока не упрется в препятствие в точке  $A$  (соответствует длине  $l$ ), в этой точке стружка начинает завиваться и под действием центробежных сил, меняет свое направление. Дальше она движется по направлению вектора  $a_1$  примерно до точки  $B$  (соответствует отрезку  $L$ ) где происходит слом (дробление) в результате смещения центра тяжести стружки относительно оси вращения спирали.

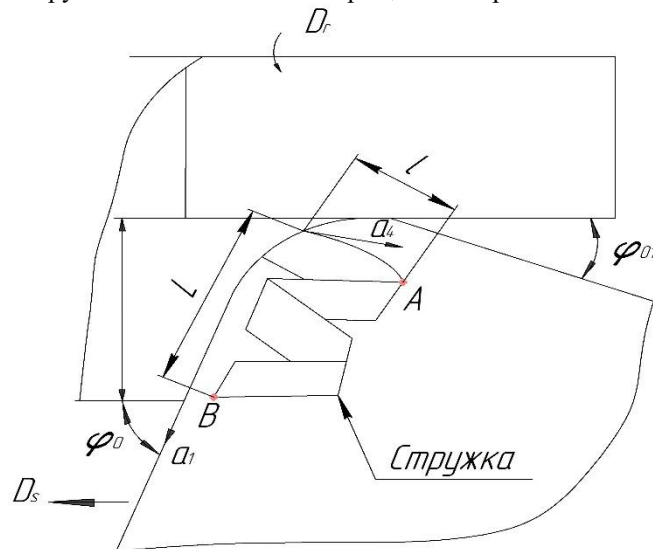


Рис. 4. Схема формирования и дробления стружки

На схеме показаны: главный угол в плане  $\varphi_0$ , вспомогательный угол  $\varphi_{01}$ , направлением подачи  $D_s$ . В случае неустойчивости процесса резания в точке  $B$  не происходит слом (дробление) стружки, что может приводить к наматыванию стружки на инструмент либо заготовку. Поэтому условие дробление стружки в точках  $A$  и  $B$  является необходимым и главной реализацией этого являются фактор препятствия в виде уступов на пути схода и движения стружки. Одно из главных условий:  $l < L$ .  $a$  – толщина среза, зависящая от радиуса пластины,  $b$  – ширина стружки. Разрушение витка стружки при экспериментах показало, что оно происходит под действием силовой реакции со стороны препятствий.

При этом в месте контакта стружки с препятствием происходит торможение стружки. Изменении скорости разных слоев стружки и образование новых приводит к деформации витка стружки. Условие для дробления стружки, это когда деформация больше предельной для данного материала, т. е.

$$\varepsilon_{max} \geq \varepsilon_{ст.}, \quad (10)$$

где  $\varepsilon_{max}$  – максимальная деформация,  $\varepsilon_{ст.}$  – предельная деформация для материала стружки

#### Вывод

Обзор проблемы стружкообразования и стружкодробления показал, что данный вопрос полностью не исчерпан. Существуют неординарные способы исследования данного процесса с дальнейшим проектированием пластин для режущего инструмента способного обеспечить стабильность процесса формирования стружки. Представленная модель значительно упрощает расчеты параметров стружкообразования.

#### Список использованных источников:

1. Грановский Г.И. Резание металлов: учебник для машиностроительных вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. Грубый С.В. Расчетные параметры стружкообразования при несвободном косоугольном резании пластичных материалов / С.В. Грубый // Расчет и конструирование машин. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. МГТУ им. Баумана. – 2017. – № 1. – С. 4–15.
3. Грубый С.В. Расчет параметров стружкообразования и сил резания пластичных материалов / С.В. Грубый // Машины и Установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Баумана. Электрон. журн. – 2017. – № 01. – С. 25–37.
4. Зорев Н.Н. Развитие науки о резании металлов / Н.Н. Зорев, Г.И. Грановский, М.Н. Ларин [и др.]; Коллектив авторов. – М., Машиностроение, 1967. – 414 с.
5. Корчуганова М.А. Исследование условий эффективного стружколомания при переменных режимах резания резцами с СМП: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / М.А. Корчуганова. – Юрга, 2000. – 200 с.
6. Криворучко Д.В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залогова / Сумы: Университетская книга, 2012. – 496 с.
7. Михайлов С.В. Развитие теории формообразования и дробления стружки с целью повышения эффективности механической обработки пластичных материалов: дис. ... док. наук: 05.03.01 / С.В. Михайлов. – Кострома, 2006. – 451 с.
8. Олейник А.П. Кинематическая модель пространственного завивания стружки при резании инструментом с передней поверхностью переменного профиля / А.П. Олейник // Металлообработка, 2016. – № 1 (96). – С. 2–8.
9. Nakayama K. Basic rules on the form of chip in metal cutting / K. Nakayama, M. Ogawa // CIRP Ann., 1978. – 27. – № 1. – С. 17–21.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЕЙ ИЗ АБС-ПЛАСТИКА, ПОЛУЧЕННЫХ 3D-ПЕЧАТЬЮ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ

*А.В. Балашов<sup>а</sup>, к.т.н., доц., Е.Е. Щеткина, студент, Е.И. Юрова, студент,  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д.46, тел. (3852)–29-08-94  
E-mail: <sup>а</sup>bavagtu@mail.ru*

**Аннотация:** В статье рассмотрена технология 3D-печати экструзионным методом. Описаны исследования на определение зависимостей влияния структуры напечатанных образцов на удельный вес и предел прочности на ударную вязкость.

**Ключевые слова:** Аддитивные технологии, экструзионный метод печати, АБС пластик, ударная вязкость.

**Abstract:** The article discusses the technology of 3D printing by the FDM method. Studies are described to determine the dependences of the influence of the structure of printed samples on specific gravity and tensile strength on impact strength. The revealed dependence of the impact strength on the filling of the sample material can be used in the design of products, the details of which are obtained by 3D printing using FDM technology from PETG plastic.

**Keywords:** Additive technologies, FDM method, ABS plastic, impact strength.

В настоящее время в различных организациях находит широкое применение аддитивные технологии. Одним из распространенных методов печати, является экструзионный метод. Для проектирования изделий необходимо обладать знаниями по прочностным характеристикам материалов, из которых изготовлены детали [1–4]. Однако сведения о прочности деталей, полученных экструзионным методом из АБС пластика отсутствуют. Поэтому исследования направленные на выявление зависимости прочности изделий из АБС пластика от режимов печати экструзионным методом являются актуальными.

Экспериментальные образцы напечатаны на 3D принтере MakerBotReplicator 2X (рисунок 1) из пластика АБС при следующих режимах печати: температура экструдера – 235 °С; скорость печати 70 мм/с; коэффициент подачи пластика – 0,93; диаметр сопла экструдера – 0,8 мм; ширина нити – 0,96 мм; высота слоев – 0,4 мм; температура стола первого слоя – 70 °С; температура стола остальных слоев – 70 °С

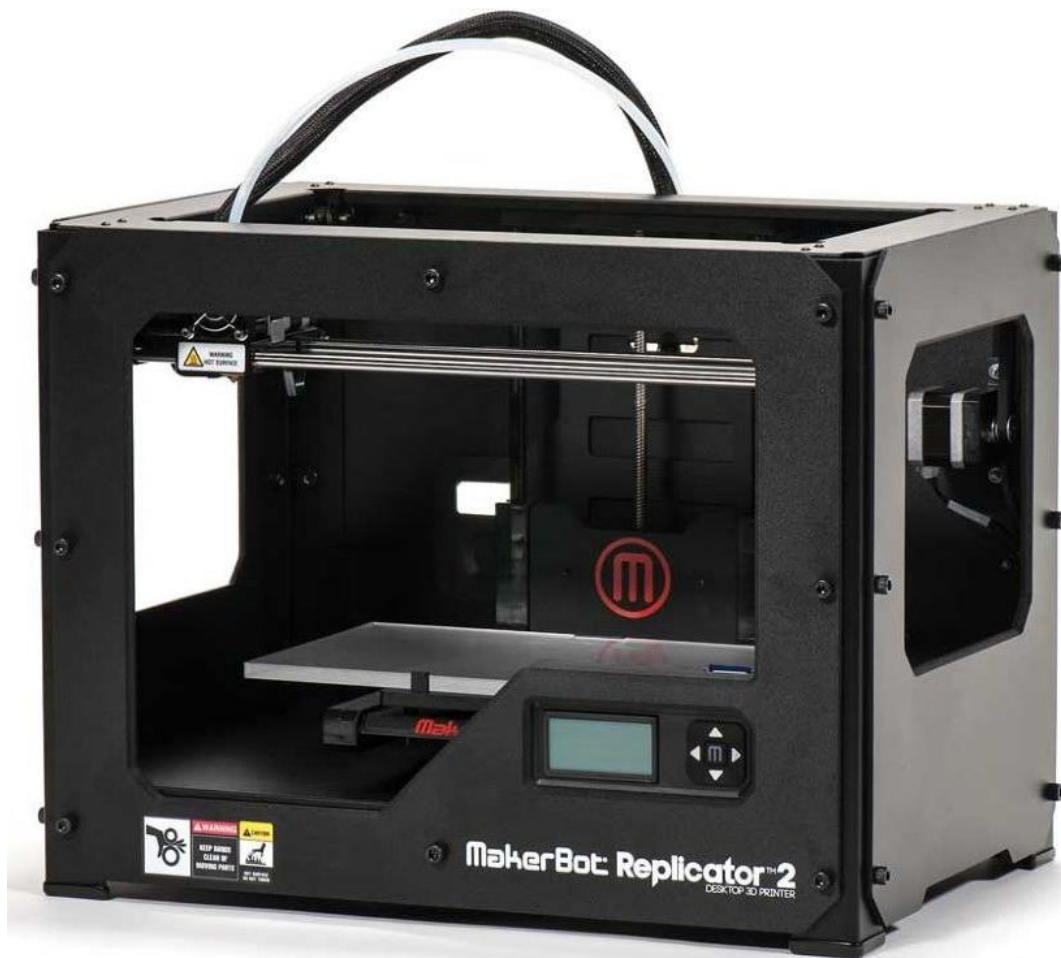


Рис. 1. 3D принтер MakerBot Replicator 2X

Испытание образцов на ударную вязкость осуществлялось на копре МК 300 (рисунок 2).

Экспериментальные исследования по ГОСТ 4647–2015 реализовывались на напечатанных образцах первого типа без надреза

Экспериментальные образцы (рисунок 3) сформированы внутренним заполнением материала 5, 25, 50, 70 и 100 % с толщиной слоя по контуру – 1 мм. Размеры образцов: 15x10x120 мм.



Рис. 2. Копёр МК 300

Экспериментальные образцы испытывались на ударную вязкость на копре МК 300 с маятником массой 15 кг, с ударом в ребро.



Рис. 3. Экспериментальные образцы

Результаты обработки экспериментальных данных представлены в таблице 1 и на рисунке 4.

Таблица 4

Ударная вязкость

Заполнение, %	5	25	50	75	100
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	246,92	344,24	446,23	500,22	525,40

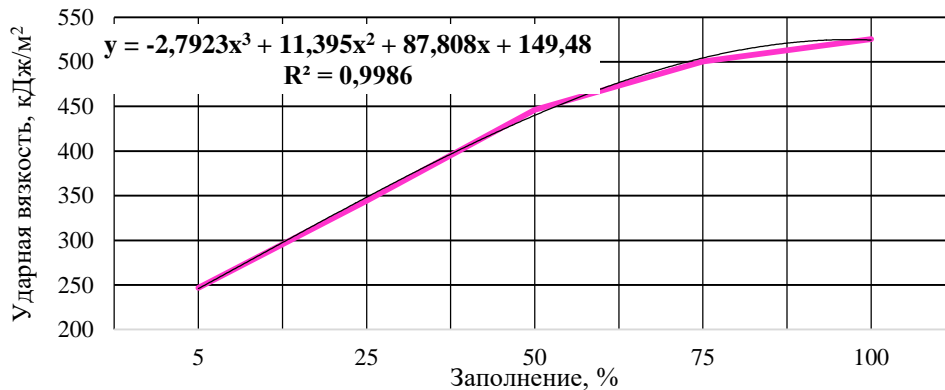


Рис. 4. Зависимость прочности на ударную вязкость экспериментального образца от заполнения материалом образца

Зависимость влияния процента заполнения материалом образца,  $Q$ , предел прочности по ударной вязкости,  $U$ , описывается уравнением 1.

$$U = -2,792Q^3 + 11,39Q^2 + 87,80Q + 149,4 \quad (1)$$

Заключение:

Выявлена структура напечатанных образцов, определён их удельный вес, проведены испытания образцов из АБС пластика на предел прочности по ударной вязкости.

Выявленная зависимость предела прочности на ударную вязкость от заполнения материалом образца может использоваться при проектировании изделий, детали которых получены 3D печатью экструзионным методом технологии из АБС пластика.

Список использованных источников:

1. Балашов А.В. Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью / А.В. Балашов, М.И. Маркова. – Текст: электронный // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1. – URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5618](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5618). (дата обращения: 05.04.2023).
2. К вопросу повышения прочности и точности геометрических характеристик зубчатых колес, изготовленных посредством 3D-печати / В.И. Глухов, Л.Г. Варепо, И.В. Нагорнова, Ф.А. Доронин // Известия ТулГУ. – 2019. – Вып. 6. – С. 322–331.
3. Исследование свойств изделий, полученных 3D-печатью / А.В. Балашов, С.В. Белоплотов, С.О. Малышев, Е.А. и др. // Актуальные проблемы машиностроения. – 2017. – Том 4. – № 2. – С. 120–126.
4. Исследование прочности изделий, полученных методом 3D-печати / А.В. Балашов, А.О. Черданцев, А.А. Новиковский, С.В. Ананьин [и др.] // Ползуновский Вестник. – 2016. – №2. – С. 61–64.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Гаваев, к.т.н., В.Е. Максимов<sup>а</sup> студент

Тюменский индустриальный университет

625000, г. Тюмень, ул. Володарского 38

E-mail: <sup>а</sup>maximovvadik@gmail

**Аннотация.** В статье рассматривается изменение свойств детали в зависимости от материала при её изготовлении с помощью математической симуляции программы SOLIDWORKS.

**Ключевые слова:** свойства, обработка, материал, нагрузки, изготовление.

**Abstract:** The article discusses the change in the properties of a part depending on the material during its manufacture using a mathematical simulation of the SOLID WORKS program.

**Keyword:** Properties, processing, material, loads, manufacture.



Для достижения повышения оптимизации и качества обработки деталей в машиностроении используют различные методы. Каждый технологический процесс обработки, опирается на техническое требование (ТТ), в котором прописаны необходимые параметры изделия. Техническое требование, указано на чертеже. Обычно в ТТ входят такие пункты как: шероховатость, припуск и допуск поверхности. Бывает такое, что в ТТ есть особые примечания, например: допускается замена материала на другой, допускается замена покрытия на другое и т. д. Исходя из ТТ можно сказать, что каждый технологический процесс индивидуален.

В статье рассматривается пример, когда в особых примечаниях допускается замена материала, латунь на нержавеющую сталь. Каждый материал обладает определёнными механическими свойствами и химическим составом. Для математического моделирования поведения детали при обработке будет использоваться программа SOLID WORKS. По результатам исследований необходимо произвести выбор оптимального материала для детали «Барабан» (рис.1).

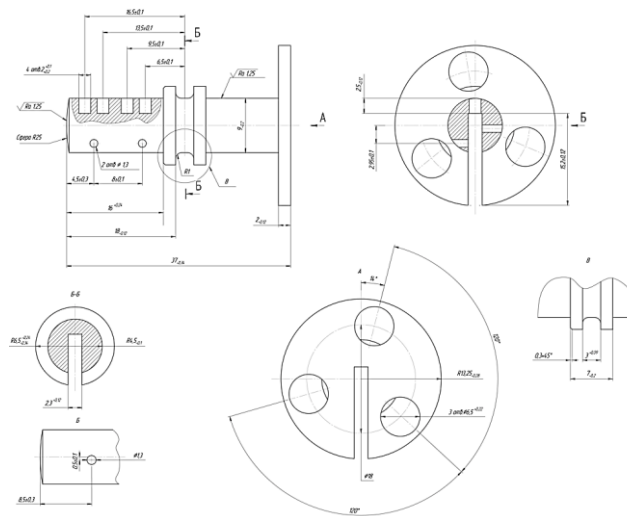


Рис. 1. Деталь «Барабан»

В ходе исследований рассматриваются изменения механических свойств у детали с разным материалом. На рисунке 2 зелеными стрелками представлено обозначение закрепления детали в пальцевые зажимы, а красными стрелками вращательный момент при обработке.

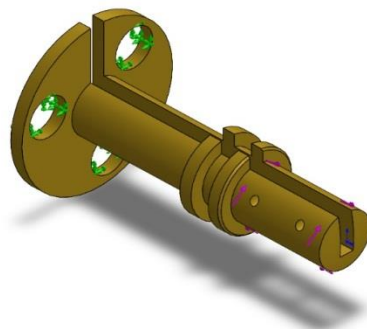


Рис. 2. Статическое исследование детали «барабан», материал «латунь ЛС 59»

Таблица 1

Результаты исследований материала «Латунь ЛС59»

Имя параметра	Тип параметра	Мин. значение	Макс. значение
Напряжение	VON: Напряжение Von Mises	2,339e+05 Н/м <sup>2</sup> Узел: 1073	1,541e+09Н/м <sup>2</sup> Узел: 78121
Перемещение	URES: Результирующее перемещение	0,000e+00mm Узел: 1144	8,694e-01mm Узел: 85612
Деформация	ESTRN: Эквивалентная деформация	1,033e-06 Элемент: 27984	1,085e-02 Элемент: 23991

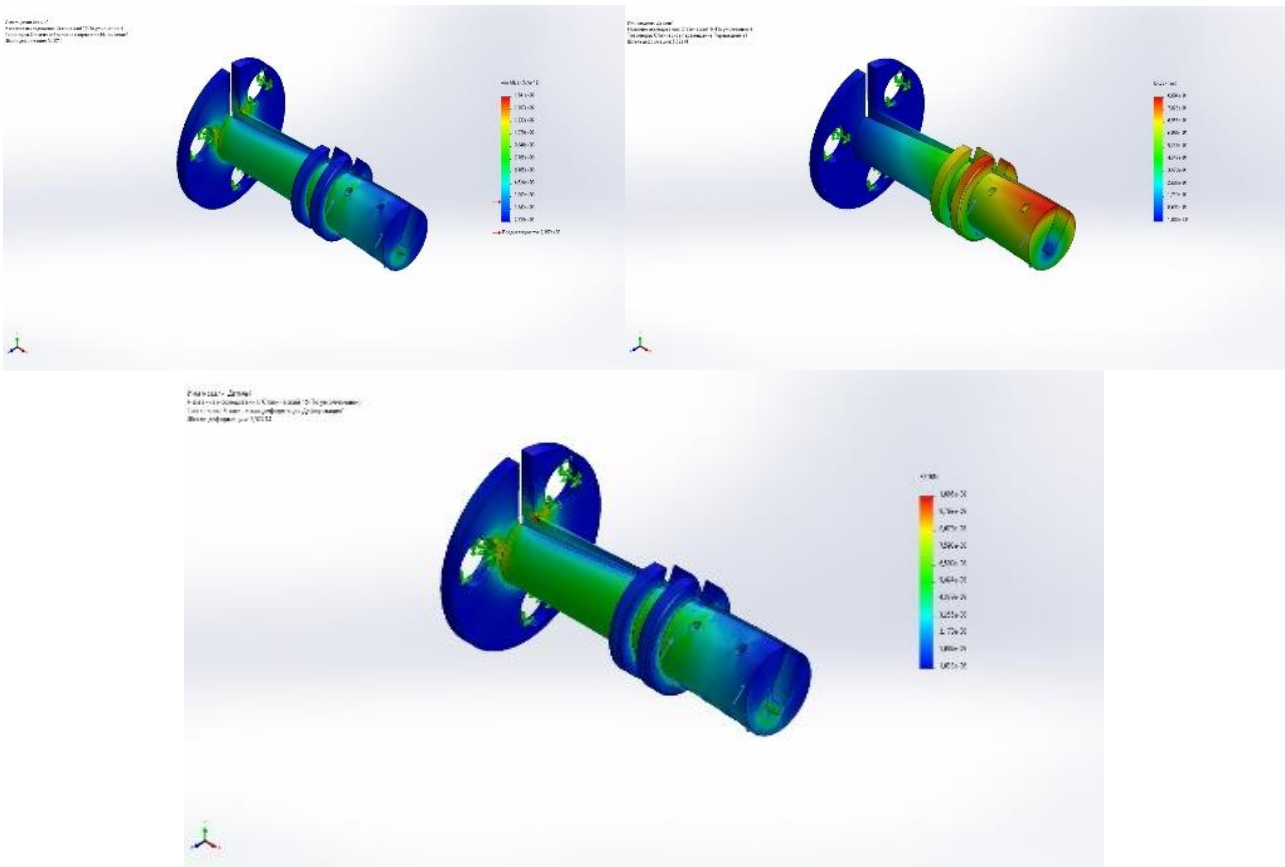


Рис. 3. Визуализация результатов материала «Латунь ЛС59»

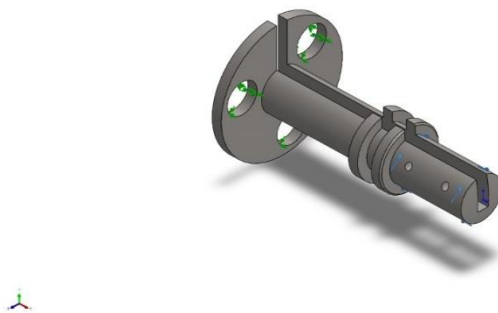


Рис. 4. Статическое исследование детали «барабан», материал «нержавеющая сталь AISI 304»

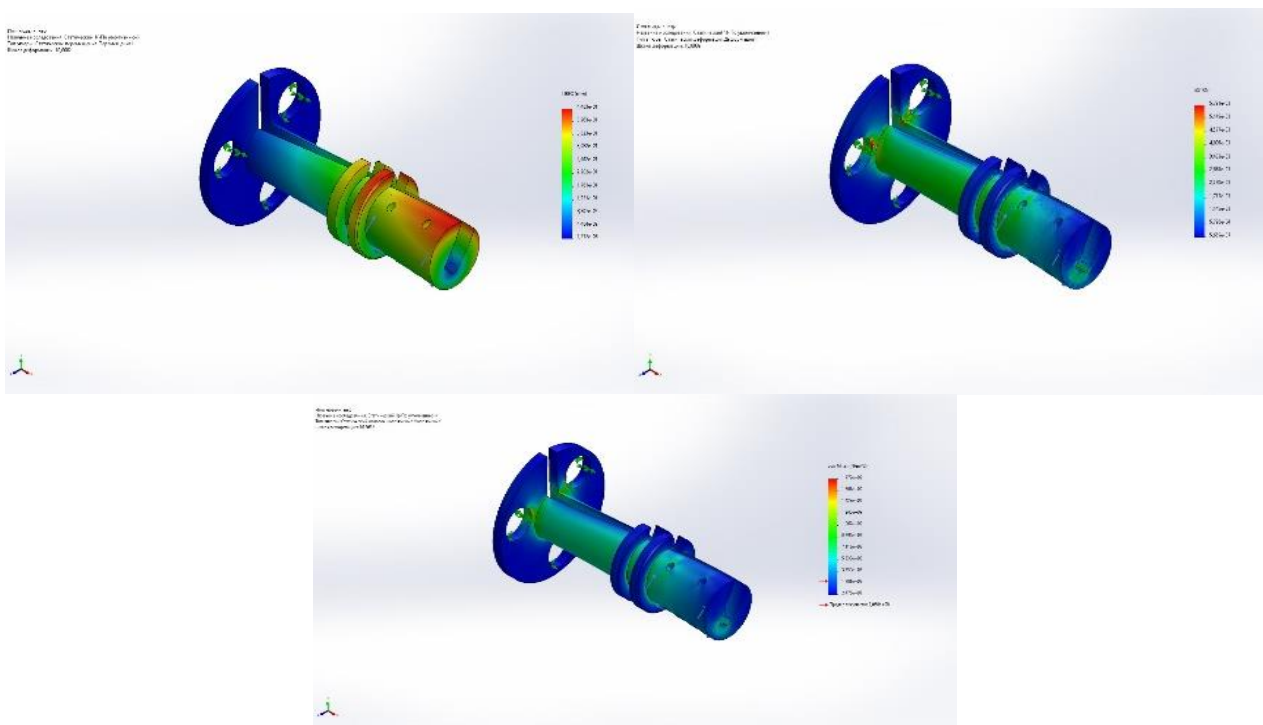
XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

На «Рисунок 4» зелеными стрелками представлено обозначение закрепления детали в пальцевые зажимы, а красными стрелками вращательный момент при обработке.

Таблица 2

*Результаты исследований материала «Нержавеющая сталь AISI 304»*

Имя параметра	Тип параметра	Мин. значение	Макс. значение
Напряжение	VON: Напряжение Von Mises	2,476e+05N/m <sup>2</sup> Узел: 1073	1,779e+09N/m <sup>2</sup> Узел: 81701
Перемещение	URES: Результирующее перемещение	1,232e-06mm Узел: 1335	4,403e-01mm Узел: 723
Деформация	ESTRN: Эквивалентная деформация	5,659e-07 Элемент: 27984	5,721e-03 Элемент: 27889



*Рис. 5. Визуализация результатов материала «Нержавеющая сталь AISI 304»*

На основании представленных данных, полученных в ходе статического исследования, можно сделать следующие выводы:

- материал «Латунь ЛС59» и «нержавеющая сталь AISI 304» в ходе обработки имеют различные свойства;
- оба материала могут быть изготовлены по техническим требованиям.

При обработке заготовки, материал имеет свойство деформироваться, а именно изгибаться и скручиваться, особенно сильные деформации происходят при малых размерах и невысокой жесткости материала. Нужно учитывать все эти факторы перед тем как писать технологический процесс изготовления для детали.

В ходе исследования, отчетливо видно, что «Барабан» из материала «Латунь ЛС 59» имеет меньшую жесткость при обработке чем «AISI 304», а именно «Таблица 1» и «Таблица 2», в связи с этим, возникает проблема выбора материала для изготовления, для окончательного выбора стоит учитывать следующие параметры:

- Физико-химические свойства материала;
- Виды операций при изготовлении;
- Закрепление детали;
- Цена материала;

- Техническое требование детали;
- Параметры обработки.

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что нержавеющая сталь имеет большую жесткость, что позволит изготовить деталь с более низкими параметрами отклонения в размерах т.к деформация меньше чем у латуни, латунь в свою очередь, имеет меньшую жесткость, что приводит к большим отклонениям размеров при обработке, но стоит учитывать, что нержавеющая сталь дороже чем латунь.

Рассматривая полученные выводы, а также учитывая перечисленные ранее параметры, можно считать оптимальным выбором материала – «Латунь ЛС59», т.к технические требования соблюдены, а стоимость ниже чем у материала «Нержавеющая сталь AISI 304», что позволит снизить итоговую стоимость продукции.

Список использованных источников:

1. Моделирование эксплуатационных условий работы запорного устройства / А.С. Гаваев, В.А. Свистунова, Е.М. Чикишев [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 1 (85). – С. 192–200. – Текст : непосредственный.
2. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов [и др.]. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2012. – 800 с. – Текст : непосредственный.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ СТРУКТУРНОГО КОНТРОЛЯ

*Н.В. Абабков<sup>1,2а</sup>, к.т.н., доц., А.С. Телегуз<sup>1</sup>, м.н.с., М.В. Пимонов<sup>1,2</sup>, к.т.н.*

*<sup>1</sup>Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН,*

*650099, Кемеровская обл., г. Кемерово Советский пр., 18,*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,*

*650000, Кемеровская обл., г. Кемерово, ул. Весенняя, 28*

*E-mail: <sup>a</sup>ababkov@kuzstu.ru*

**Аннотация:** В настоящей статье рассматривается перспектива применения моделей искусственного интеллекта при оценке текущего состояния конструкций по результатам структурного контроля материала. Для прогнозирования состояния металла конструкции были рассмотрены модели «Random forest», «Logistic regression» и «Gradient boosting». Представлены результаты работы моделей на тестовой выборке данных и приведена оценка важности признаков обученной модели на базе «Random forest».

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, машинное обучение, «случайные леса», нейронная сеть, структурный контроль материала.

**Annotation:** The article reveals the perspective of using artificial intelligence models during the assessment of structures current condition according to the results of the structural material control. To forecast the condition of metal in the structure, the author considered models «Random forest», «Logistic regression» and «Gradient boosting». The article presents the results of models operation on test data set and the evaluation of trained model parameters importance on the basis of «Random forest».

**Keyword:** non-destructive testing, machine learning, random forests, neural network, structural material control

**Введение**  
Прогнозирование как предельного состояния конструкций, так и места будущего разрушения является важной задачей современной промышленности. Ранее в работе [1–6] авторами рассмотрены достоинства и недостатки различных подходов к решению данной проблемы, в том числе с применением информационно-вычислительных систем с интеллектуальной поддержкой, в которых логическая обработка информации преобладает над вычислительной, либо вычислительная обработка вовсе отсутствует [7]. В работе [8] представлены результаты обучения модели предсказания текущего состояния конструкции (модель классификации) по данным акустического контроля, в качестве модели машинного обучения использовалась модель «Случайного леса».

В сравнении с моделью многослойного персептрона (нейронной сетью) «случайный лес» позволяет производить обучение на меньшем наборе данных. Так в работе [8] для обучающей выборки включающей 5 различных классов было использовано 450 наблюдений для стали 20 и столько же для стали 12Х1МФ. Тестовая выборка состояла из 50 наблюдений для каждого вида стали, результаты предсказаний моделей «случайного леса» показали 100 % точность.

Образцы и методики исследования

Исследование структурных характеристик производилось с применением электронного микроскопа ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 125 кВ и рабочем увеличении в колонне микроскопа 25 000 крат. Применялся прямой метод на тонких фольгах. Приготовление фольг для изучения в просвечивающем электронном микроскопе осуществлялось путем электролитического утонения в пене электролита [9].

Задача заключалась в предсказании состояния конструкции, каждому из которых присвоен соответствующий класс (задача классификации). В качестве признаков выступают результаты структурного контроля: скалярная плотность дислокаций  $\rho$ ,  $\text{см}^{-2}$  (класс 0), избыточная плотность дислокаций ( $\rho_{\pm}$ ,  $\text{см}^{-2}$ ), величина кривизны-кручения кристаллической решетки ( $\chi$ ,  $\text{см}^{-1}$ ), напряжение сдвига ( $\sigma_{\text{л}}$ , МПа), дальнедействующие напряжения ( $\sigma_{\text{д}}$ , МПа). Под напряжением сдвига (или «леса» дислокаций) понимается поле напряжений, создаваемые дислокационной структурой, а под дальнедействующим напряжением – моментные (или локальные) напряжения, возникающие в тех местах материала, в которых присутствует избыточная плотность дислокаций.

Объем анализируемых данных включал 713 наблюдений, представляющих собой результаты структурного контроля для сталей 20 и 12Х1МФ и полученных для различных состояний эксплуатации конструкций. Всего выборка содержит 4 состояния конструкции: без эксплуатации; после эксплуатации (219 тыс. часов) без разрушения конструкции – класс 1; наблюдения после эксплуатации (219 тыс. часов) на расстоянии 30 мм от микротрещин – класс 2; наблюдение в зоне локализации деформации и образования микротрещин – класс 3.

Оценка качества прогнозирования производилась по тестовой выборке, содержащей 20 % наблюдений обучающего множества. Чтобы избежать «утечки» информации о целевой переменной разделение данных на тестовую и обучающую выборку производилась до отбора признаков.

В таблицах 1, 2 представлены коэффициенты корреляции признаков обучающей выборки между собой и с целевым значением («Код состояния»).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции признаков для стали 20

	$\rho$ , $\text{см}^{-2}$	$\rho_{\pm}$ , $\text{см}^{-2}$	$\chi$ , $\text{см}^{-1}$	$\sigma_{\text{л}}$ , МПа	$\sigma_{\text{д}}$ , МПа	Код состояния
$\rho$ , $\text{см}^{-2}$	1	0,96	0,16	0,28	-0,33	0,22
$\rho_{\pm}$ , $\text{см}^{-2}$	0,96	1	0,37	0,059	-0,10	0,35
$\chi$ , $\text{см}^{-1}$	0,16	0,37	1	-0,82	0,85	0,730
$\sigma_{\text{л}}$ , МПа	0,28	0,059	-0,82	1	-0,90	-0,38
$\sigma_{\text{д}}$ , МПа	-0,33	-0,10	0,85	-0,90	1	0,63
Код_состояния	0,22	0,35	0,73	-0,38	0,63	1

Таблица 2

Коэффициенты корреляции признаков для стали 12Х1МФ

	$\rho$ , $\text{см}^{-2}$	$\rho_{\pm}$ , $\text{см}^{-2}$	$\chi$ , $\text{см}^{-1}$	$\sigma_{\text{л}}$ , МПа	$\sigma_{\text{д}}$ , МПа	Код состояния
$\rho$ , $\text{см}^{-2}$	1	0,42	-0,003	0,96	-0,61	-0,82
$\rho_{\pm}$ , $\text{см}^{-2}$	0,42	1	0,86	0,29	0,40	-0,13
$\chi$ , $\text{см}^{-1}$	-0,0025	0,86	1	-0,13	0,74	0,25
$\sigma_{\text{л}}$ , МПа	0,96	0,29	-0,13	1	-0,69	-0,83
$\sigma_{\text{д}}$ , МПа	-0,61	0,40	0,74	-0,69	1	0,72
Код_состояния	-0,82	-0,12	0,25	-0,83	0,72	1

Если два признака имеют сильную корреляцию, то информация, которую они содержат, очень схожа, поэтому включать в модель оба признака излишне. Скалярная и избыточная плотность дислокаций для стали 20 имеют корреляцию более 96 % между собой, а с целевым значением их корреляция составляет 22,1 % и 34,7 % соответственно. Для стали 12Х1МФ корреляцию более 96% имеют признаки, представляющие напряжение сдвига и скалярную плотность дислокаций. Поэтому для обоих видов стали в результате отбора признаков выделим следующие:  $\rho_{\pm}$ ,  $\text{см}^{-2}$ ;  $\chi$ ,  $\text{см}^{-1}$ ;  $\sigma_{\text{л}}$ , МПа и  $\sigma_{\text{д}}$ , МПа. На рисунке 1 представлена тепловая карта абсолютных значений коэффициентов корреляции после отбора признаков.

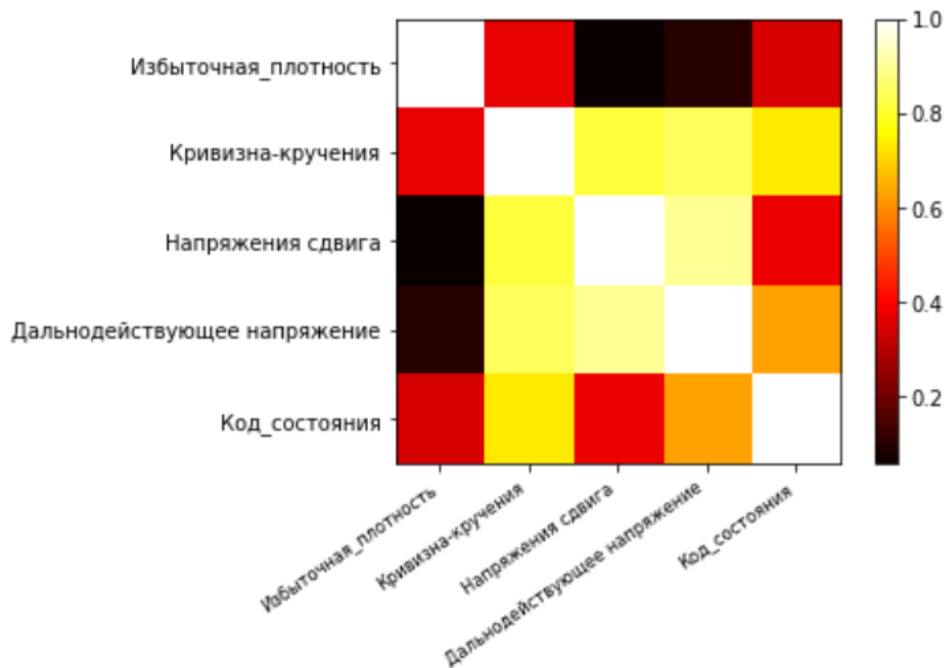


Рис. 1. Тепловая карта абсолютных значений коэффициентов корреляции

На рисунке 2 изображена трехмерная диаграмма рассеяния наблюдений по стали 20 (а) и 12Х1МФ (б), где классы наблюдений представлены разными цветами.

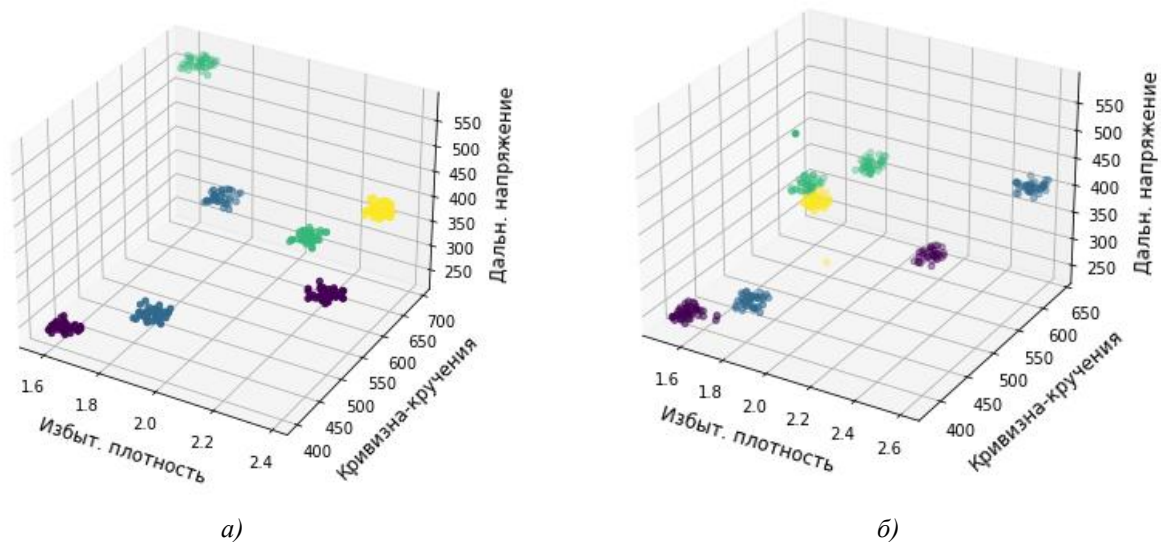


Рис. 2. Диаграммы рассеяния наблюдений по стали 20 (а) и стали 12Х1МФ (б)

Диаграмма рассеяния показывает, что классы наблюдений визуально различимы друг от друга и могут быть разделены несколькими. Для классификации таких наблюдений могут быть использованы классификаторы «Случайного леса» и «К ближайших соседей», обучение которых требует меньшее количество обучающих примеров и вычислительных ресурсов в сравнении с классификаторами глубоких нейронных сетей.

В работе [8] приведено подробное описание вышеупомянутых моделей.

Отбор наилучшей модели был произведен по графикам зависимости точности предсказания и размера тренировочного набора, где большую точность показала модель «Случайного леса». В текущем наборе данных выборка менее сбалансирована по целевому признаку: структурный контроль в зоне разрушения и образования микротрещин в металле имеет около 50 наблюдений, в два раза меньше, чем количество наблюдений в других классах. Поэтому отбор наилучшей модели среди нескольких обучающихся алгоритмов будет произведен автоматически с помощью объекта решетчатого поиска (модуль GridSearchCV библиотеки sklearn).

Для этого определяется поисковое пространство, которое включает три обучающихся алгоритма: «К ближайших соседей», «Случайного леса» и «Логистический регрессионный классификатор». Также в процессе отбора моделей можно для каждой из них произвести отбор наилучших гиперпараметров.

#### Результаты и их обсуждения

Результаты решетчатого поиска показали наибольшую эффективность модели «Случайного леса», гиперпараметры которой представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты оптимизации гиперпараметров

Наименование гиперпараметра	Сталь 20	Сталь 12X1МФ
<i>n_estimators</i>	20	35
<i>max_depth</i>	32	12
<i>max_leaf_nodes</i>	80	40

Наиболее важными гиперпараметрами модели «Случайного леса», позволяющими избежать переобучения, являются максимальная глубина деревьев в лесу (*max\_depth*) и параметр, устанавливающий ограничение на количество разбиений узлов (*max\_leaf\_nodes*). Количество деревьев в лесу (*n\_estimators*) – это еще один важный гиперпараметр, превышение которого не приведет к переобучению модели, но сделает ее более сложной. После выбора модели и гиперпараметрической оптимизации следующим этапом идет непосредственно обучение модели на тренировочных данных.

Для обучения классификатора данные были разделены на две части, тренировочную и тестовую выборку. В тренировочной выборке классы с 0 по 2 включали около 80 наблюдений, и класс 4 – около 40 наблюдений. Для тренировки модели отобрано 80 % данных, т.е. тестовая выборка содержит около 70 наблюдений. В результате проверки обученной модели классификатора по стали 20 и стали 12X1МФ все наблюдения классифицированы верно (рис. 3).

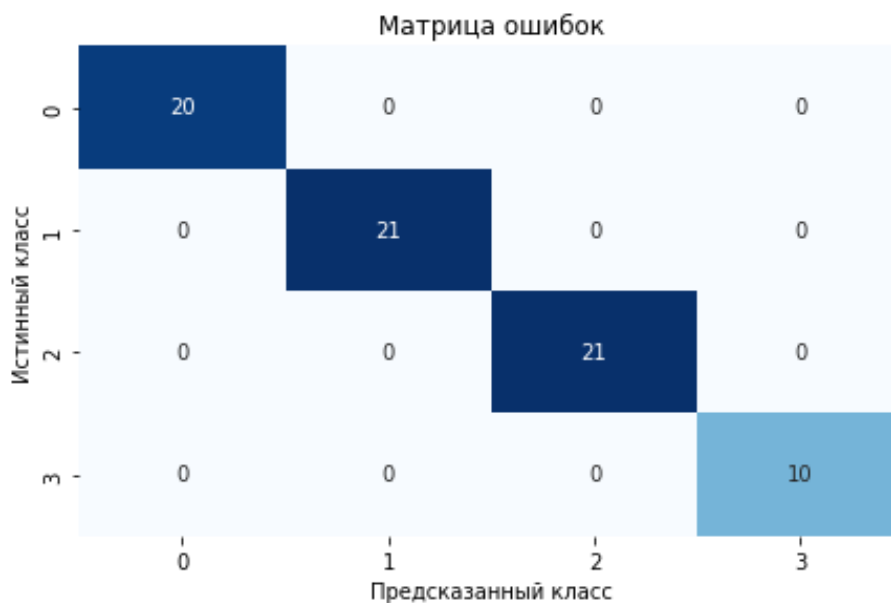


Рис. 3. Матрица ошибок

Преимуществом деревьев принятия решений является интерпретируемость. В частности, после обучения модели можно сравнить относительную важность каждого признака (рис. 4), все оценки важности в сумме составляют 1.

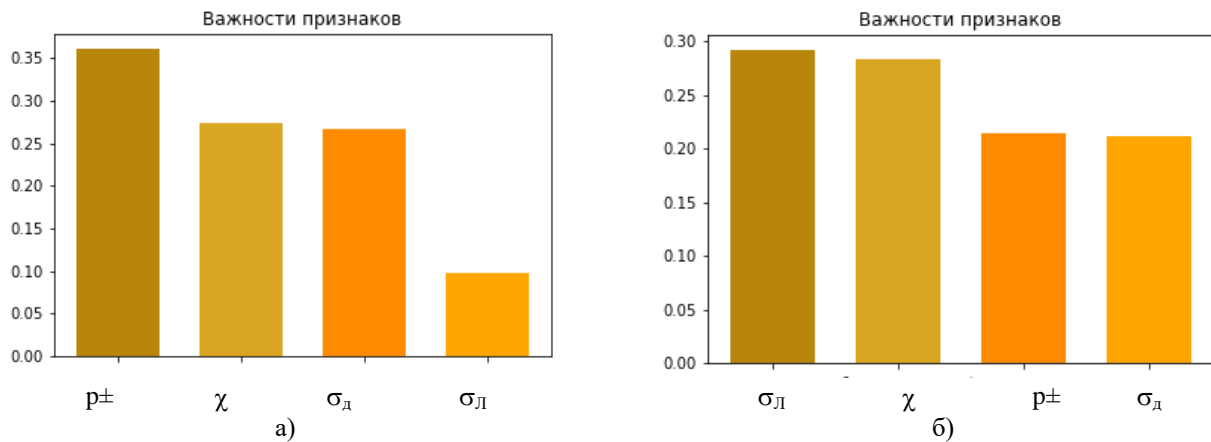


Рис. 7. Важность признаков обученной модели случайного леса: а – сталь 20; б – сталь 12X1MФ

Относительно важности признака следует иметь в виду, что если два признака сильно коррелированы, то один признак затребует подавляющую часть важности, сделав другой признак внешне менее важным. Поэтому скалярная плотность дислокации  $p$ , исключена из модели поскольку ее корреляция с избыточной плотностью дислокаций  $p_{\pm}$  для стали 20 и с напряжением сдвига  $\sigma_l$  для стали 12X1MФ составляет более 0,96.

#### Выводы

1. После отбора признаков из результатов структурного контроля и их визуализации в 3d пространстве, сопоставив наблюдения с целевыми классами состояния конструкции, для отбора модели и оптимизации их гиперпараметров были выбраны модели «К ближайших соседей», «Случайного леса» и «Логистический регрессионный классификатор». После автоматического отбора модели посредством модуля GridSearchCV библиотеки sklearn модель «Случайного леса» была принята к обучению как наиболее точная и интерпретируемая.

2. После оптимизации гиперпараметров модель «Случайного леса» позволила с высокой точностью установить текущее состояние конструкции на наблюдениях тестового набора. Кроме того, она позволяет оценить относительную важность входящих признаков, что в перспективе позволит отобрать наиболее важные и достаточные критерии для определения состояния металла конструкций.

3. В результате обучения на текущих наблюдениях модель «Случайного леса» определила высокую значимость всех показателей структурного контроля, отобранных для обучения модели:  $p_{\pm}$ , см<sup>-2</sup>;  $\chi$ , см<sup>-1</sup>;  $\sigma_l$ , МПа и  $\sigma_d$ , МПа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ, соглашение № 22-29-20192, и гранта Кемеровской области – Кузбасса, соглашение №16.*

#### Список использованных источников:

1. Абабков Н.В. Инновационные подходы к оценке работоспособности металла длительно работающего энергетического оборудования / Н.В. Абабков, А.Н. Смирнов, С.В. Фольмер, М.В. Пимонов // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении : сборник трудов III Международной научно-практической конференции. – Кемерово: КузГТУ, 2022. – С.183–192.
2. Микроструктура, акустические характеристики и поля внутренних напряжений в поврежденном металле барабана котла ПК-10 до и после ремонта сваркой / А.Н. Смирнов, В.Л. Князьков, Э.В. Козлов [и др.] // Сварка и диагностика. – 2011. – № 3. – С. 39–42.
3. Оценка ресурса длительно работающего металла оборудования топливно-энергетического комплекса на основе структурных критериев / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков, Н.Ф. Ощепков [и др.] // Сварка и диагностика. – 2015. – № 5. – С. 9–12.



4. Смирнов А.Н. Комплексный подход к оценке работоспособности элементов энергетического оборудования / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12. – № 1–2. – С. 520–524.
5. Разработка комплекса средств технической диагностики, восстановления и упрочнения элементов горнодобывающего оборудования / М.С. Никитенко, К.В. Князьков, Н.В. Абабков, Е.А. Ожиганов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. – № S6. – С. 447–456.
6. Исследование влияния режимов механической обработки на параметры структурно-фазового состояния поверхностного слоя с применением аппарата механики технологического наследования / М.В. Пимонов, Е.Е. Левашова, А.С. Глинка [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2018. – Т. 15. – № 4. – С. 518–525.
7. Интеллектуальные системы / А.В. Остроух. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 110 с.
8. Выбор модели нейронной сети в задачах прогнозирования остаточного ресурса длительно работающих объектов / Н.В. Абабков, М.С. Никитенко, А.С. Телегуз, М.В. Пимонов // Научно-технические технологии разработки и использование минеральных ресурсов. – 2022. – № 8. – С. 131–137.
9. Градиентные структуры при обработке металлов резанием / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков, Э.В. Козлов [и др.]: под редакцией профессора А.Н. Смирнова. – Кемерово, 2013.

#### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛИТОЙ Cr-Mn-C-N СТАЛИ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ РАСТЯЖЕНИИ

*Н.А. Наркевич<sup>а</sup>, к.т.н, доц., Ю.Ф. Гоморова, к.т.н., П.В. Максимов, к.ф.-м.н.  
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-28-6-827  
E-mail: <sup>а</sup>natmark@list.ru*

**Аннотация:** Исследованы структура и механические свойства при растяжении литой и затем закаленной Cr-Mn-C-N стали при  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  и в интервале от  $-80$  до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  в сравнении с Cr-Mn-N сталью. Более высокое содержание элементов внедрения способствует увеличению параметра ГЦК решетки, её объёма, микродеформаций в направлении  $\langle 100 \rangle$  и статических смещений атомов из равновесных положений. Прочностные свойства и относительное удлинение 10 % при  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  позволяют использовать литую Cr-Mn-C-N сталь после закалки на объектах инфраструктуры при экстремально низких климатических температурах.

**Ключевые слова:** литая углеродоазотистая сталь, микродеформации, низкие климатические температуры, прочность, пластичность

**Abstract:** Structure and tensile properties of cast and then quenched Cr-Mn-C-N steel at  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  and in the range from  $-80$  to  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  were studied in comparison with Cr-Mn-N steel. Higher content of interstitial elements contributes to an increase in the fcc lattice parameter, its volume, microstrain in the  $\langle 100 \rangle$  direction and static displacements of atoms from equilibrium positions. The strength properties of steel and the relative elongation values of 10 % at  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  allows the use of cast Cr-Mn-C-N steel after hardening at infrastructure facilities at extremely low climatic temperatures.

**Keyword:** cast carbon nitrogen steel, microstrain, low climatic temperatures, strength, ductility

В связи с промышленным освоением регионов с холодным климатом при строительстве промышленных объектов нефте- и газодобычи, мостовых переходов, инфраструктуры и объектов двойного назначения необходимы высокопрочные и устойчивые к коррозии на воздухе и в морской воде стали с аустенитной структурой. Известные Cr-Ni аустенитные стали при отрицательных температурах имеют высокую пластичность и вязкость разрушения при статических и динамических нагрузках [1–3]. Однако высокая стоимость ограничивает их широкое использование в строительных конструкциях [1]. Стоимость сталей на основе азотистых твёрдых растворов, в которых дорогостоящий никель полностью заменён марганцем и азотом, существенно ниже, а прочностные характеристики превосходят соответствующие характеристики хромоникелевых сталей, что делает их использование целесообразным с технической точки зрения и экономически обоснованным.

Литейные аустенитные хромомарганцевые стали с высоким содержанием элементов внедрения (C + N) обладают более высокими прочностными свойствами в сравнении с Cr-Mn-N сталями [4] и не уступают им в коррозионной стойкости [5]. Присутствие в их составе углерода упрощает металлургический процесс плавки, исключая необходимость продувки кислородом для окисления углерода.

Азот не только повышает прочность, но, как и марганец, увеличивает жидкотекучесть сталей, делая их более технологичными, чем литейные хромоникелевые стали [6].

Исследованию механических свойств при отрицательных температурах литой Cr-Mn-C-N стали в сравнении с Cr-Mn-N сталью посвящено настоящее исследование.

Химический состав Cr-Mn-C-N стали и стали Cr-Mn-N для сравнения приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав сталей, масс. %

	Cr	Mn	Si	Ni	C	N	P	S	Fe
Cr-Mn-N	16.50	18.81	0.52	0.24	0.07	0.53	0.01	0.001	Ост.
Cr-Mn-C-N	24.40	16.40	1.10	0.18	0.57	0.70	0.002	0.017	Ост.

Стали выплавляли в лабораторной индукционной печи с хромо-магнетитовой футеровкой. После удаления прибыльной части проводили гомогенизационный отжиг при температуре 1200 °С в течение 4-х часов. Слиток Cr-Mn-N стали ковали и получали плоскую кованую заготовку - пластину толщиной 10 мм, шириной 20 мм и длиной 100 мм. Окончательная термическая обработка заключалась в закалке в воде после выдержки при 1100 °С в течение 1 часа. Слиток Cr-Mn-C-N стали, содержащей высокую концентрацию элементов внедрения, горячей деформации не подвергали. После гомогенизационного отжига слиток закачивали в воде.

Микроструктуру сталей исследовали на оптическом Axiovert-25CA (Zeiss, Германия) и методом рентгеновской дифрактометрии с использованием дифрактометра XRD-7000 (Shimadzu, Япония) в  $Co_{K\alpha}$  излучении в геометрии по Брэггу-Брентано. Металлографические исследования структуры проводили после травления раствором  $C_2H_5OH$ ,  $HCl$  и  $HNO_3$  в объёмном соотношении 3:2:1.

Образцы для механических испытаний на растяжение вырезали электроэрозионным способом. Толщина образцов была 1мм, другие размеры в мм показаны на рисунке 1.

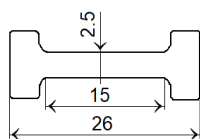


Рис. 1. Вид и размеры образца для механических испытаний на растяжение (в мм)

Механические испытания на растяжение проводили на испытательной машине INSTRON 5582 (США) при температурах от -196, до 20 °С со скоростью  $1.87 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  до разрушения. Предел текучести  $\sigma_{0.2}$ , предел прочности  $\sigma_b$  и относительное удлинение  $\delta$  определяли как среднее арифметическое по результатам испытаний трёх образцов для каждой из температур.

Дифрактограммы на рис. 2а показывают, что обе стали после закалки имеют аустенитную структуру. Параметр ГЦК решетки Cr-Mn-C-N стали больше параметра Cr-Mn-N стали на 0,5 %, рис. 2б. Увеличение параметра обусловлено большим содержанием в твёрдом растворе элементов внедрения, которые увеличивают объёмы ГЦК решетки: в первом случае  $V = 0.0477 \text{ нм}$ , а во втором  $V = 0.0484 \text{ нм}$ . Это неизбежно вызывает и усиление напряжённого состояния. Поэтому при сравнении параметров структуры внимание было уделено анализу напряжённого состояния, формирующегося в процессе закалки, то есть до проведения низкотемпературных испытаний.

Известно [7], что с увеличением содержания азота в высокоазотистых сталях увеличивается ориентационная зависимость модуля упругости, и модуль Юнга  $E_{200}$  меньше, чем  $E_{hkl}$  других кристаллографических направлений. Увеличенные межплоскостные расстояния в направлении  $\langle 100 \rangle$  свидетельствуют об искажении ГЦК решётки в этом направлении и растягивающих микронапряжениях [8]. В большей степени тетрагональность решётки аустенита выражена в Cr-Mn-C-N стали, рис. 2б. О сильно неравновесном состоянии Cr-Mn-C-N стали свидетельствуют высокие статические смещения атомов ГЦК решётки из равновесных положений  $\langle \varepsilon^2 \rangle$ . Если в Cr-Mn-N стали в плотноупакованных плоскостях (111)–(222) статические смещения, ответственные за формирование микронапряжений III рода, отсутствуют, то в Cr-Mn-C-N стали их величина  $\langle \varepsilon^2 \rangle = 0.0062 \text{ нм}$ , что составляет 1,7 % от параметра решётки исследованной стали.

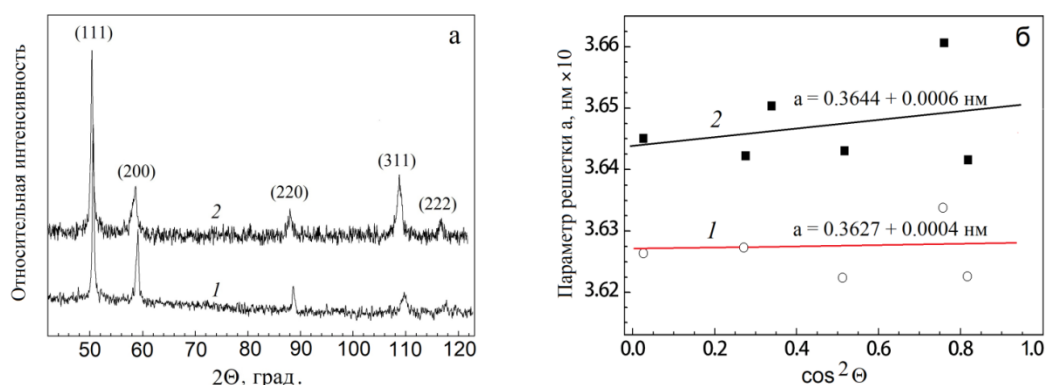


Рис. 2. Диффрактограммы и параметры решеток Cr-Mn-N стали – 1 и Cr-Mn-C-N стали – 2

Структура Cr-Mn-C-N стали показана на рисунке 3.

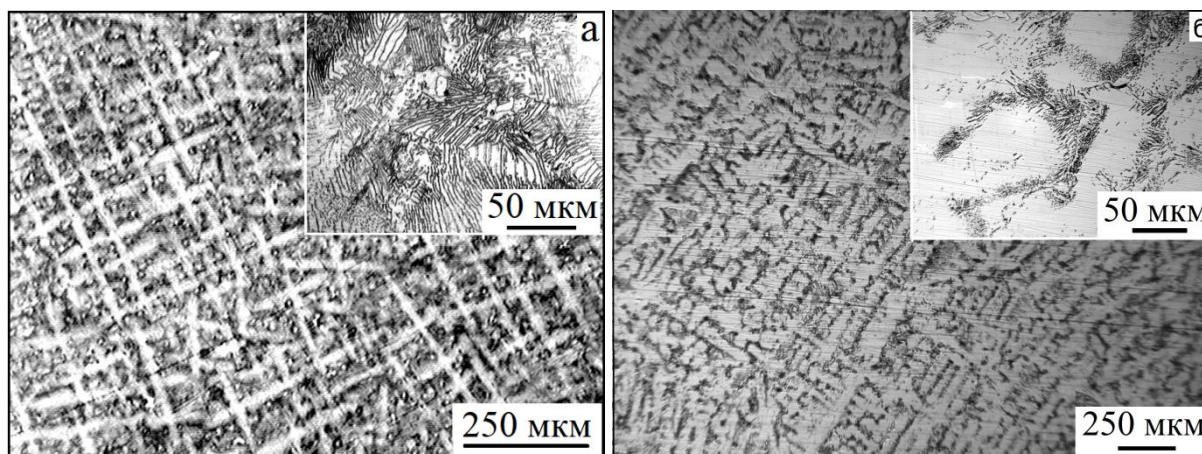


Рис. 3. Металлографические изображения структуры отливки Cr-Mn-C-N стали (а) и после её отжига и закалки (б)

При сравнении структур отливки Cr-Mn-C-N стали, рис.3а, и после термической обработки (отжиг + закалка), рис.2б, видно, что пластинчатые нитриды  $\text{Cr}_2\text{N}$  после длительного отжига в основном растворились. Отличительными особенностями Cr-Mn-C-N стали после закалки являются отсутствие выраженной зёрновой структуры и сохранение направленных дендритных кристаллов, в которых находятся скопления частиц карбидов. Это показывает, что температура отжига и закалки  $1200^\circ\text{C}$  не обеспечила полного растворения дисперсных частиц, и карбиды (карбонитриды) могут присутствовать в исследуемой стали после закалки от  $1200^\circ\text{C}$ .

Кривые  $\sigma$ - $\epsilon$  исследованных сталей имеют вид, типичный для аустенитных сталей со стабильной структурой, рисунок 4а. Отличительной чертой в деформационном поведении Cr-Mn-C-N стали является более высокая скорость деформационного упрочнения и практически полное отсутствие локализованной пластичности, то есть образцы при комнатной температуре и в интервале отрицательных температур разрушались без образования шейки. Высокое деформационное упрочнение и предел текучести обусловлены взаимодействием дислокаций с частицами карбидов (карбонитридов) по механизму Орована.

Отчётливо можно видеть, что при снижении температуры испытаний обеих сталей увеличивается модуль упругости  $E$ . При этом  $E$  у Cr-Mn-C-N стали выше, и интенсивность его увеличения при снижении температуры испытаний больше, чем Cr-Mn-N стали. Прочностные свойства Cr-Mn-C-N стали в интервале низких климатических температур и до  $-114^\circ\text{C}$  выше на 10 % по сравнению со сталью с меньшим содержанием элементов внедрения при существенно более низкой пластичности, рисунок 4б, в.

Наиболее сильно различаются прочностные свойства и относительное удлинение сталей при испытаниях при криогенной температуре, рисунок 4 б,в. Cr-Mn-C-N сталь разрушается, едва достигнув предела текучести, в то время как Cr-Mn-N сталь благодаря TRIP – эффекту [9, 10] деформируется с пластичностью 30 %. Пролонгированная пластичность достигается благодаря  $\gamma \rightarrow \varepsilon$  превращению, при котором образуется мартенсит с ГПУ решёткой.

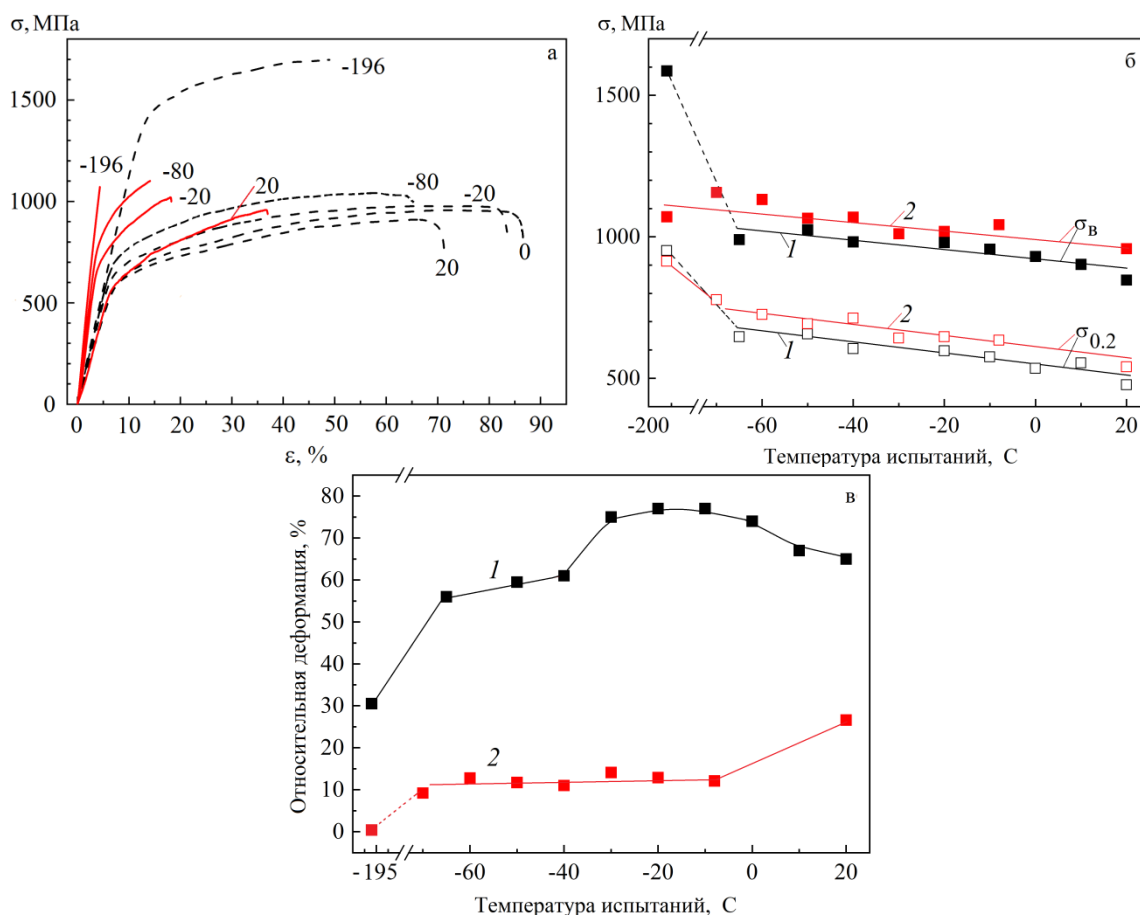


Рис. 4. Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  (а) и температурные зависимости предела прочности  $\sigma_B$ , предела текучести  $\sigma_{0.2}$  (б) и пластичности  $\delta$  (в) при статическом растяжении Cr-Mn-C-N стали – 1 (для сравнения) и исследуемой Cr-Mn-C-N стали – 2

Проведённые исследования показали:

– в литой Cr-Mn-C-N стали после закалки от 1200 °C наследуется морфологически дендритная структура с аустенитной основой и включениями карбидов и карбонитридов. Высокое содержание элементов внедрения в ГЦК решетке этой стали способствует формированию в ней высоконапряжённого состояния, а частицы, не растворившиеся при нагреве перед закалкой, обеспечивают высокое деформационное упрочнение как при -196 °C, так и в интервале от -70 до 20 °C.

– удовлетворительная пластичность 10 % в температурном интервале от -70 до 20 °C позволяет рекомендовать эту сталь в получении сталей с более низкой стоимостью в сравнении с Cr-Ni в конструкциях и на объектах инфраструктуры, испытывающих статические нагрузки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0009

Список использованных источников:

1. Baddoo N.R. Stainless in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities / N.R. Baddoo // J. Constr. Steel research. – 2008. – V.64. – Is.6. – P. 1199–1206.

2. Yan J-B. Low-temperature mechanical properties of stainless steel 316L: Tests and constitutive models / J-B. Yan, Y. Geng, P. Xie, J. Xie // Construction and Building Materials. – 2022. – V.343. – 128122. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128122> (дата обращения 05.04.2023).
3. Vologzhanina S.A. Research of Properties of Cast Austenitic Steels for Low-temperature Equipment / S.A. Vologzhanina, B.S Ermakov., A.A. Peregudov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – V. 459. – 062118.
4. Schymura M. Fatigue of Austenitic High Interstitial Steels – The Role of N and C / M. Schymura, A. Fischer // Adv. Mater. Res. – 2014. – V. 891–892. – P. 403–409. – URL : <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.891-892.403> (дата обращения 05.04.2023).
5. Berezovskaya V. Structure and Phase Transformations in High Nitrogen and High Interstitial Steels of Different Alloying Systems – Short Review / V. Berezovskaya, E.A. Merkushkin // Defect and Diffusion Forum. – 2021. – V. 410. – P. 167–172. – URL : <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.410.167> (дата обращения 05.04.2023).
6. Хладостойкость новой литейной Cr – Mn – Ni – Mo – N стали с 0,5 % N / М.В. Костина, П.Ю. Поломошнов, В.М. Блинов [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 2019. – Часть 1. – Т. 62. – № 11. – С. 894–906. – URL : <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-11-894-906> (дата обращения 05.04.2023).
7. Work hardening mechanism in high nitrogen austenitic steel studied by in situ neutron diffraction and in situ electron backscattering diffraction / M. Ojima, Y. Adachi, Y. Tomota [et al.] // Mater. Sci. Eng.: A., 2009. – V. 527. – P. 16–24.
8. Structure and lattice strains in the surface Cr-Mn-N steel layer formed by a combination of friction and electron-beam treatments / N.A. Narkevich, N.S. Surikova, Y.P. Mironov [et al.] // Phys. Met. Metallogr. – 2019. – V.120. – P. 1071–1077.
9. Narkevich N. Effect of the  $\gamma \rightarrow \epsilon$  phase transition on transformation-induced plasticity (TRIP) of nickel-free high nitrogen steel at low temperatures / N. Narkevich, Ye. Deryugin, Yu. Mironov // Metals. – 2021. – V. 11.
10. Narkevich N.A. Effect of ultrasonic forging strain processing on the surface layer microstructure and temperature-dependent mechanical properties of high nitrogen austenitic steel / N.A. Narkevich, E.E. Deryugin, O.B. Perevalova, I.V. Vlasov // Mater. Sci. Eng.: A. – 2022. – V. 834. – 142590. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.142590> (дата обращения 10.04.2023).

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕЩИН

*Н.Л. Великанов<sup>1,2</sup> д.т.н., проф., О.В. Шарков<sup>1,2,a</sup>, д.т.н. проф.*

*<sup>1</sup>Калининградский государственный технический университет*

*236022, г. Калининград, Советский пр-т, 1*

*<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта*

*236014, г. Калининград, ул. А. Невского, 14*

*E-mail: <sup>a</sup>oleg.sharkov@klgtu.ru*

**Аннотация:** В работе описаны конструкционные способы торможения трещин в машиностроительных конструкциях. Они основаны на тормозящих и разгружающих отверстиях. Получающаяся при этом система «трещина – отверстия» при действующих нагрузках сравнивают с конструкциями, допущенными к эксплуатации нормативно-техническими документами по критерию коэффициента концентрации напряжений. Предложенные способы позволяют оперативно ремонтировать конструкцию с трещиной, избегая дорогостоящих и трудоемких ремонтов методом замены.

**Ключевые слова:** коэффициент концентрации напряжений, трещиностойкость, разгружающие отверстия.

**Abstract.** The paper describes structural methods of stopping of crack in machine-building structures. They are based on stopping and unloading holes. The resulting crack-hole system under operating loads is compared with structures approved for operation by regulatory and technical documents according to the stress concentration coefficient criterion. The proposed method make it possible to promptly repair a structure with a crack, avoiding expensive and time-consuming repairs by replacement.

**Ключевые слова:** stress concentration coefficient, crack resistance, unloading holes.

Применение механики разрушения для оценки несущей способности машиностроительных конструкций позволило в свое время приступить к нормированию различных параметров, характеризующих трещиностойкость материала [1–2]. Это сделало возможным выбирать материал с позиций предотвращения трещинообразования. Однако недостатки конструктивного и технологического характера нередко приводят к появлению трещин в машиностроительных конструкциях.

Существующие расчетные методы [3–7] не дают простых и достоверных алгоритмов, позволяющих оперативно оценить влияние различных трещин на работоспособность машиностроительных конструкций. В связи с этим актуальным остается индивидуальный подход к оценке и обеспечению несущей способности машиностроительных конструкций с трещинами, который заключается в учете особенностей их эксплуатации, включая приводы машин.

Встречающиеся в практике способы обеспечения несущей способности машиностроительных конструкций с трещинами, связанные с использованием накладных листов, обваренных по контуру, либо вырезкой участков с трещинами и вваркой новых листов, обладают следующими недостатками: наличием больших объемов сварки и сопутствующих работ; внесением дополнительных напряжений по контуру обварки; проявлением щелевой коррозии; возможностью появления эффекта внецентренного нагружения; наличием растягивающих остаточных напряжений внутри контура сварки.

Заварка трещин также, в большинстве случаев, нецелесообразна по следующим причинам.

Возникновение трещины, как правило, происходит, в месте повышенной концентрации напряжений, либо наличия дефекта. После распространения трещины происходит разгрузка района ее возникновения и наиболее опасным становится зона кончика трещины.

Заварка трещины, приводит к восстановлению первоначальной картины распределения напряжений, а значит и к опасной концентрации напряжений.

Кроме того, остаточные сварочные напряжения, являющиеся растягивающими внутри зоны термического влияния, а также несовершенства формы шва и возможное охрупчивание материала могут привести к увеличению вероятности трещинообразования. Поэтому предпочтение целесообразно отдать способам, обеспечивающим снижение концентрации именно в опасной зоне.

Рассмотрим подобные способы, которые могут быть применены в случае обнаружения равновесных трещин в корпусных машиностроительных конструкциях на этапе выбора оперативного, не требующего больших затрат, способа ремонта.

Критерии оценки несущей способности конструкций. Известно, что наиболее подходящими и эффективными способами предотвращения дальнейшего развития сквозной трещины, расположенной в плоском элементе конструкции, во время эксплуатации и ремонта являются конструктивные методы (полное сверление трещин, система разгрузочных отверстий в конце трещины, двойные пластины, устанавливаемые без сварки) и комбинации конструктивных и технологических методов (сварные швы и ребра жесткости, размещенные на определенном расстоянии от места трещины).

Эффективность этих методов была определена на основе подхода, обеспечивающего однородность прочности конструктивных элементов с трещиной, отремонтированных такими методами, и других конструктивных элементов, изготовленных из того же материала, работающих в аналогичных условиях, содержащих конструкционные или технологические концентраторы напряжений, разрешенные стандартами.

Критерием однородности прочности с позиции усталостной и хрупкой прочности плоских элементов при умеренном уровне номинальных напряжений (характерных для основных элементов корпусов машиностроительных конструкций) с погрешностью в пределах нормы является значение теоретического коэффициента концентрации напряжений.

Таким образом, для выбора способа предотвращения дальнейшего развития трещины необходимо определить значение теоретического коэффициента концентрации напряжений  $K$  для предполагаемого конструкционного или технологического способа, а также сравнить его с допускаемым  $[K]$  из условия  $K \leq [K]$ .

Значение было сделано на основе обобщения и анализа случаев образования трещин, результатов испытаний типовых компонентов корпусных конструкций и сварных соединений; экспериментальных и теоретических исследований концентрации напряжений в корпусных связях.

Наиболее опасными с точки зрения возникновения трещин являются углы изолированных и групповых вырезов. Безопасная концентрация напряжений возле отверстий различного назначения в элементах корпусов машиностроительных конструкций практически находится в диапазоне от 2 до 4. Аналогичный интервал теоретической концентрации напряжений характерен и для типовых сварных соединений.

Значение величины  $[K]$  выбиралось из интервала от 2 до 4 на основании следующего. Для корпусов машиностроительных конструкций в листах обшивки допускается выполнение неподкрепленных изолированных вырезов, имеющих ширину (диаметр) менее 20 толщин или 300 мм, в зависимости от того, что меньше. Принимая во внимание соответствующие требования к соотношению радиуса кривизны и ширины выреза, получаем 3, 5.

Значение критерия для конкретных вышеупомянутых методов определяется в первую очередь отношением расчетной длины трещины к диаметру отверстия, просверленного на ее концах, и местоположению трещины.

Встречающиеся в практике случаи трещинообразования в подавляющем большинстве случаев объясняются не столько большим уровнем макроконцентрации напряжений (за исключением наличия жестких точек), сколько сочетанием макроконцентрации с микроконцентрацией, (технологической концентрацией, отражаемой эффективным коэффициентом концентрации) и такими неблагоприятными факторами, как некачественная сталь, низкая температура, динамические нагрузки и т. п.

Расчетные схемы. Как показали результаты испытаний на усталость образцов из машиностроительной стали, обработка выполненных в кончиках трещины отверстий под развертку позволяет при умеренном уровне номинальных напряжений практически полностью исключить влияние микроконцентрации. Учитывая, что диаметр отверстия, выполненного с помощью механического высверливания под развертку в элементах толщиной до 20 мм в условиях эксплуатации и ремонта реальных конструкций ограничен величиной порядка 50 мм, целесообразно подразделить трещины по длине на короткие – до 30 мм, средние – до 100 мм, длинные – более 100 мм, по расположению – условно названные «изолированными» (рис. 1, 3) и выходящие на кромки листа (рис. 2, 5) или отверстия (рис. 7).

Основной исходной величиной, для определения значения  $K$  является расчетная длина трещины, определяемая по формуле:

$$l_T = c + mS, \quad (1)$$

где  $c$  – расстояние между кончиками изолированной трещины, либо кончиком трещины и кромкой элемента или отверстия, на которые выходит, трещина;  $S$  – толщина элемента у кончика трещины;  $m$  – эмпирический коэффициент ( $m = 1$  если трещина выходит на кромку элемента или отверстия;  $m = 2$  – для изолированной трещины).

При определении слагаемого  $c$  не учитывается отклонение траектории трещины от прямолинейной, т.к. образованный после засверливания ее концов концентратор напряжений практически эквивалентен концентратору в виде двух отверстий, соединенных прямолинейным разрезом. Слагаемое  $mS$  введено с целью учета искривления фронта распространения трещины по толщине элемента конструкции, а также пластической зоны, развивающейся в районе кончика трещины. Для машиностроительных конструкций со строительными толщинами в диапазоне 6...18 мм размеры пластической зоны в механике разрушения определяются по Ирвину и не превосходят толщины металла.

После определения величины  $l_T$  целесообразно придерживаться следующей последовательности выбора способа: полное высверливание или засверловка одним (разгрузочным) отверстием, При этом для средних и длинных трещин обязательно выполняются разгружающие отверстия в кончиках трещин.

Диаметр высверленного отверстия определяется по формуле:

$$D = l_T + S. \quad (2)$$

Определение значения коэффициентов  $K$  для различных концентраторов в виде засверленных трещин выполняется либо по общеизвестным зависимостям, либо по результатам решения соответствующих задач методами двумерной теории упругости, или экспериментально [8–9].

Изолированные трещины. На рис. 1 и 3 приведены расчетные схемы изолированных трещин с короткой, средней (большой) длиной соответственно.

Для коротких трещин (рис. 1), полностью высверленных отверстием диаметром  $d = 50$  мм, коэффициент концентрации напряжений равен  $K = 3,0$ .

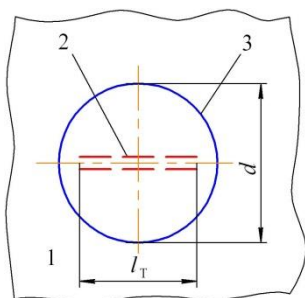


Рис. 1. Изолированная короткая трещина:  
1 – корпус, 2 – трещина, 3 – высверленное отверстие

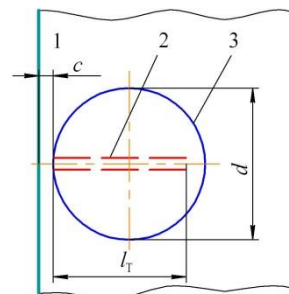


Рис. 2. Трещина, выходящая на кромку элемента:  
1 – корпус, 2 – трещина, 3 – высверленное отверстие.

Для средних (длинных) изолированных трещин (рис. 3) при засверловке двумя отверстиями диаметром  $d$  коэффициент концентрации напряжений определяется по формуле

$$K = 1 + 2\sqrt{\frac{l_T}{d} + 1}. \quad (3)$$

Как видно (рис. 4) из результатов расчетов по формуле (3) величина коэффициента концентрации напряжений, в зависимости от отношения расчетной длины трещины к диаметру разгружающего отверстия может меняться от 3,82 до 5,47.

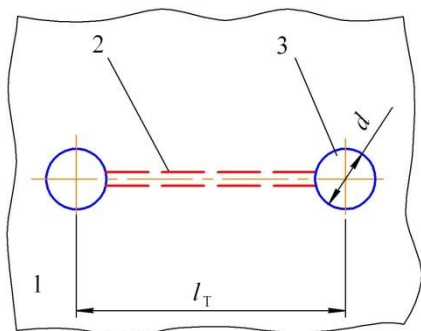


Рис. 3. Изолированная трещина средней длины:  
1 – корпус, 2 – трещина, 3 – разгрузочные отверстия

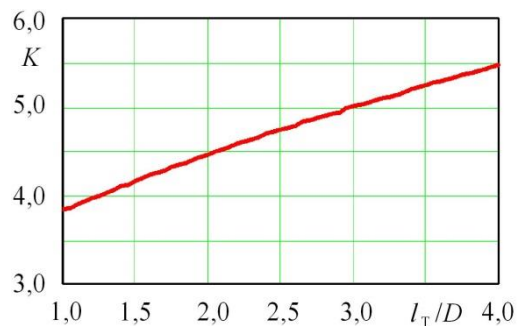


Рис. 4. Изменение коэффициента концентрации напряжений при использовании двух разгрузочных отверстий

Трещины, выходящие на кромки элемента. Для трещин (рис. 2), полностью высверленных отверстием диаметром  $d = 50$  мм, значения коэффициента концентрации напряжений составляет  $K = 3,83$ .

Для средних и длинных трещин, выходящих на кромку элемента, (рис. 5) при засверловке одним отверстием диаметром  $d$  коэффициент концентрации напряжений определяется по формуле

$$K = 1 + 2\sqrt{\frac{2l_T}{d} + 1}. \quad (4)$$

Как видно (рис. 6) из результатов расчетов по формуле (4) величина коэффициента концентрации напряжений, в зависимости от отношения расчетной длины трещины к диаметру разгружающего отверстия может меняться от 3,82 до 5,47.



Для коротких трещин, выходящих на край круглого изолированного отверстия диаметром  $D$ , (рис. 7), полностью высверленного отверстием диаметром  $d=50$  мм, коэффициент концентрации напряжений определяется по формуле

$$K = 0,5\left(1 + \frac{D}{d}\right) + 2\sqrt{\left(\frac{D}{d}\right) + 1,5}. \quad (6)$$

Как видно (рис. 8) из результатов расчетов по формуле (6) величина коэффициента концентрации напряжений, в зависимости от отношения диаметров круглого и высверленного отверстий может меняться от 4,72 до 7,19.

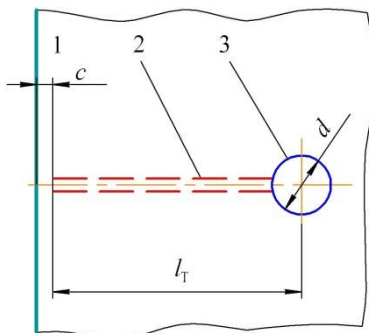


Рис. 5. Трещина, выходящая на кромку элемента:  
1 – корпус, 2 – трещина, 3 – разгрузочное отверстие.

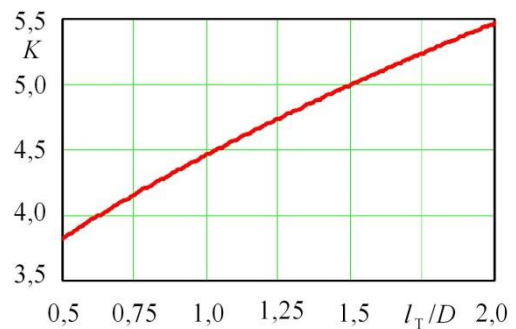


Рис. 6. Изменение коэффициента концентрации напряжений при использовании разгрузочного отверстия.

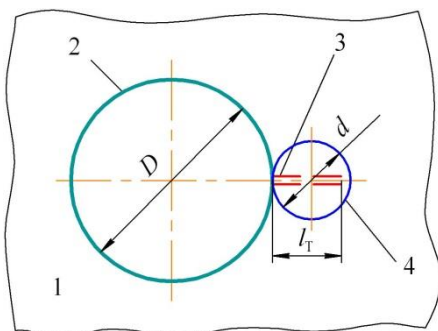


Рис. 7. Трещина, выходящая на край круглого отверстия:  
1 – корпус, 2 – круглое отверстие, 3 – трещина,  
4 – высверленное отверстие.

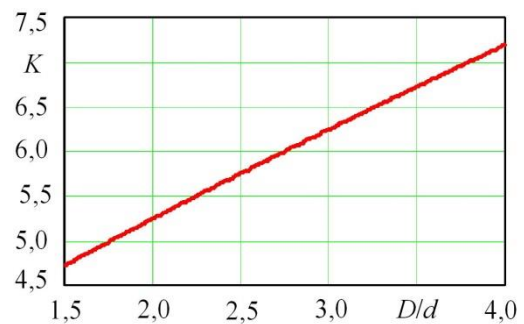


Рис. 8. Изменение коэффициента концентрации напряжений при высверленном отверстии.

**Закключение.** Конструкционные способы торможения трещин, связанные с высверливание и засверловкой их концов, эффективны для корпусных машиностроительных конструкций. Они позволяют избежать ремонта методом замены. Для коротких и средних трещин конструкционные способы обеспечивают снижение коэффициента концентрации напряжений до приемлемых значений. Для больших трещин дополнительно применяются разгрузочные отверстия.

Список использованных источников:

1. Черепанов Г.П. Механика разрушений / Г.П. Черепанов. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. – 874 с.
2. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушений / Ю.Г. Матвиенко. – Москва: Физматлит, 2006. – 328 с.
3. Москвитин Г.В. Влияние перегрузок на развитие усталостных трещин в литых деталях железнодорожных конструкций / Г.В. Москвитин, С.Г. Лебединский // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 5. – С. 112–119.

4. Эволюция параметров механики разрушения в окрестности отверстия при малоцикловой усталости по данным моделирования трещины узкими надрезами/ С.И. Елеонский, Ю.Г. Матвиенко, В.С. Писарев, А.В. Чернов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2020. – Т.86. – №9. – С. 52–62.
5. Покровский А.М. Оценка живучести растянутой пластины с поперечной полуэллиптической трещиной / А.М. Покровский, А.С. Чермошнцева // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2014. – № 3 (648). – С. 42–46.
6. Branco R. Finite element modelling and analysis of crack shape evolution in mode-I fatigue middle cracked tension specimens / R. Branco, F.V. Antunes // Engineering fracture mechanics. – 2008. – V. 75 (10). – P. 3020–3037.
7. Misak H.E. Crack growth behavior of 7075-T6 under biaxial tension–tension fatigue / H.E. Misak, V.Y. Perel, V. Sabelkin, S. Mall // International journal of fatigue. – 2013. – V. 55. – P. 158–165.
8. Кольцун Ю.И. Механика концентрации напряжений в окрестности фронта нераспространяющейся усталостной трещины / Ю.И. Кольцун // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. – 2004. – № 30. – С. 41–54.
9. Добровольский Д.С. Влияние надрезов стержней на коэффициенты интенсивности напряжений кольцевых трещин / Д.С. Добровольский // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2016. – Т.19. – № 2 (70). – С. 6–8.

#### ЭФФЕКТ КОВКИ С ПЕРЕМЕННОЙ ОСИ ОСАЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ СПЕЧЁННОГО СПЛАВА Al-7Fe-38Sn

*Н.М. Русин<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., А.Л. Скоренцев<sup>1,2,а</sup>, к.т.н., н.с., В.Е. Лихарев<sup>1,2</sup>, лаборант*

*<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

*634055, г. Томск, пр. Академический 2/4, тел. 89234170795*

*<sup>2</sup>Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56*

*E-mail: "skoralexan@mail.ru"*

**Аннотация:** Исследована структура и определены механические свойства спечённого антифрикционно-го композита на алюминиевой основе Al-7Fe-38Sn до и после его пластической обработки давлением. Установлено, что двукратное прессование образцов по технологии «abc»-ковки при 250–350 °С существенно повышает их прочность и пластичность. Улучшение механических свойств обусловлено измельчением агломератов твёрдых алюминидов железа и более равномерным их распределением по объёму материала.

**Ключевые слова:** ковка с переменной оси осаживания, алюмоматричный композит, спекание, структура.

**Abstract:** The structure of sintered aluminum-based Al-7Fe-38Sn composites for antifriction purposes has been studied, and their mechanical properties have been determined. It has been established that the treatment of sintered samples by double pressing using the «abc»-forging technology at 250–350 °С significantly increases their strength and plasticity. The improvement of mechanical properties is due to the fragmentation of agglomerates of hard iron aluminides and their more uniform distribution over the volume of the material.

**Keyword:** «abc»-forging, aluminum matrix composite, sintering, structure.

Введение. Сплавы системы Al-Sn обладают хорошими антизадирными и антикоррозионными свойствами и могли бы использоваться при изготовлении подшипников скольжения в качестве альтернативных бронзе материалов. Величина давления их схватывания растёт с увеличением содержания олова вплоть до 50 % вес. [1, 2], однако на практике его весовая концентрация не превышает 20 % (ГОСТ 14113–78), поскольку более высокое содержание олова сильно снижает несущую способность сплавов. Для её повышения сплавы легируют твёрдыми частицами, прочно сидящими в алюминиевой матрице, типа кремния. Но поскольку олово плохо смачивает такие частицы, то его содержание в сплаве стараются минимизировать, тогда как для поддержания свойства самосмазывания у дисперсно-упрочнённых Al-Sn сплавов концентрация олова должна оставаться высокой. Это можно сделать, если твёрдые плохо смачиваемые твёрдые частицы заменить аналогичными, но смачиваемыми добавками. Например, для этого можно использовать алюминиды переходных металлов типа Al<sub>3</sub>Fe, имеющих сродство с Al матрицей и смачиваемые жидким оловом.

С этой целью в работе [3] смеси элементарных порошков Al, Sn и Fe подвергали спеканию, в процессе которого алюминий реагировал с железом, образуя на месте исходных порошинок кластеры из мелких сцементированных оловом алюминидов Al<sub>3</sub>Fe.

При их образовании объёмная доля твёрдых частиц в матрице возросла примерно в 4 раза, однако эффективность их воздействия на прочность и износостойкость композиционного материала ограничивалась из-за того, что частицы были собраны в скопления, а не равномерно распределены по объёму материала. Образовавшиеся агломераты оказались прочными структурными элементами и не деформировались под влиянием простых методов воздействия протекающих с низким гидростатическим давлением. Например, при свободной осадке образцов пластическая деформация локализовалась в промежутках между агломератами, а последние смещались как целое.

В этой связи была поставлена задача исследовать особенности пластического течения и определить механические свойства спечённых композитов состава Al-Sn-Fe при воздействии на них интенсивными методами деформирования.

Материалы и методика эксперимента. Смесь элементарных порошков Al марки АСД-4, Sn марки ПО2 и Fe марки ПЖ-4 смешивалась в конусном смесителе. Смесь содержала, % вес.: олова – 38, железа – 7, остальное – алюминий. Прессовки имели размеры 20x20x10 мм и спекались в вакуумной печи при температуре 620 °С в течение 1 часа. Затем образцы подвергались ковке с переменной осью осаживания. Схема прессования приведена на рис. 1. Температура прессования составляла 250–350 °С.

Спечённые и обработанные образцы испытывали на сжатие (ГОСТ 25.503–97) со скоростью осадки 0,5 мм/мин на машине Instron-1185. Торцы сжимаемых образцов смазывались смесью мазута с графитом. Шлифы для изучения структуры композитов готовили по обычной методике: шлифование на наждачной бумаге с убыванием размера абразивных частиц, затем полирование на сукне с нанесённой алмазной пастой с частицами размером менее 1 мкм. Травление полированной поверхности проводили 4-% раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Для исследования структуры применялись оптический AXIOVERT-200MAT и электронный сканирующий LEO EVO 50 (Zeiss, Германия) микроскопы, предоставленные ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 2 приведена структура прессовок до и после спекания. Видно, что в сырых прессовках порошинки олова и железа практически не имели общих границ и были разделены тонким слоем алюминия (тёмная фаза). Однако после спекания структура композита кардинально изменилась: на месте железных порошинок образовались агломераты из мелких частиц  $Al_3Fe$  с тонкими оловянными прослойками между ними. Прослойки олова также отделяли агломераты от алюминиевой матрицы. Рентгеноструктурный анализ показал, что спечённый композит содержит 3 фазы:  $\alpha$ -Al,  $\beta$ -Sn и алюминид железа  $Al_3Fe$ . Объёмная доля алюминидов железа составила около 17 %. При комнатной температуре взаимная растворимость компонентов фаз практически отсутствует, и композит представляет собой смесь невзаимодействующих фаз, связанных адгезионными силами.

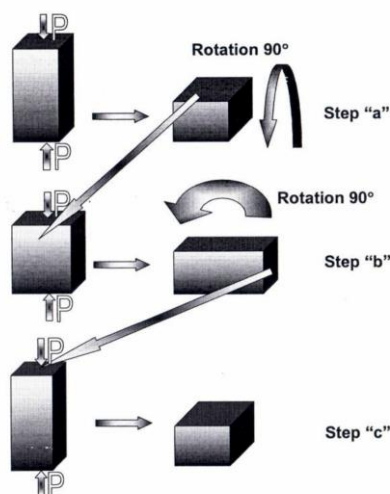


Рис. 1. Схема «abc»-ковки [4]

С тем, чтобы сохранить поперечные размеры спечённых образцов их обжатие осуществлялось в той же пресс-форме, что и прессование смеси. Поскольку пористость спечённых образцов составляла около 7 %, то соответственно изменилась их толщина в результате обжатия. После столь малой деформации структура спечённых образцов практически не изменилась, однако поры заполнились материалом, и улучшилось качество межфазных границ. Механические свойства допрессованного при 250 °С композита приведены на рис. 3.

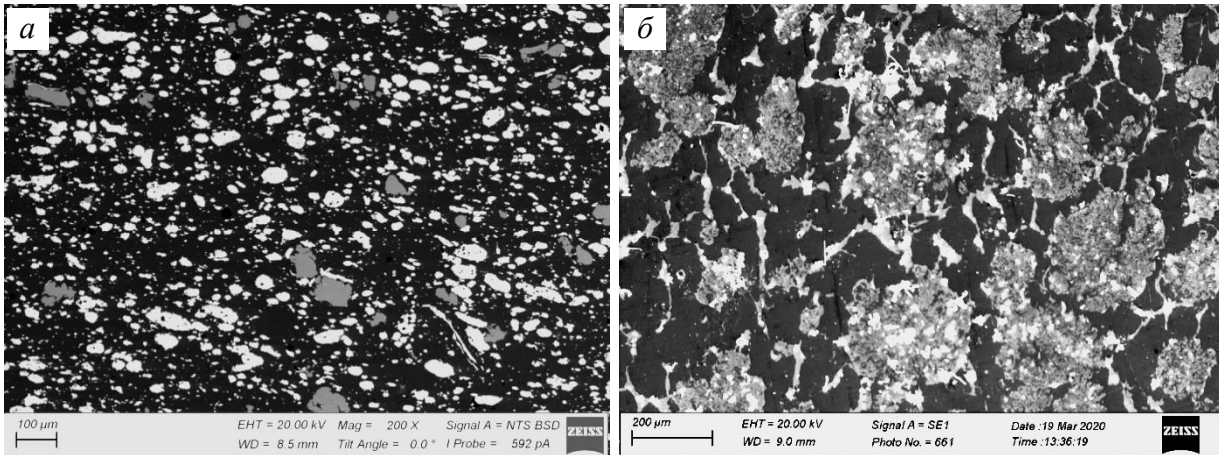


Рис. 2. Структура композита Al-7Fe-38Sn до (а) и после (б) спекания

Из представленных графиков « $\sigma$ – $\epsilon$ » видно, что простое обжатие образцов в закрытой пресс-форме способствовало повышению их прочности примерно с 90 до 120 МПа. Однако пластичность материала при этом несколько ухудшается, во время испытания образцов на сжатие их прочность после осадки на 20 % начинает медленно снижаться из-за появления микротрещин на границах фаз. Обусловлено это, по-видимому, наложением действующих при испытании напряжений на существующие напряжения между фазами, вызванные разностью коэффициентов их термического расширения и быстрым охлаждением образцов после уплотнения в закрытой пресс-форме [5, 6]. В пользу этого предположения говорит и тот факт, что прочность обработанных ковкой образцов также снижается после сжатия их на ~ 6 %. Меньшая чем после доуплотнения пластичность прокованных при 250 °С образцов, объясняется в этом случае дополнительным вкладом деформационного упрочнения Al матрицы в упругие напряжения, действующие на границах фаз. Однако более длительное нахождение образцов при высокой температуре способствует снятию части межфазных напряжений, и откованный при 320 °С образец демонстрирует не только высокую прочность, но и пластичность при испытаниях на сжатие (рис. 3).

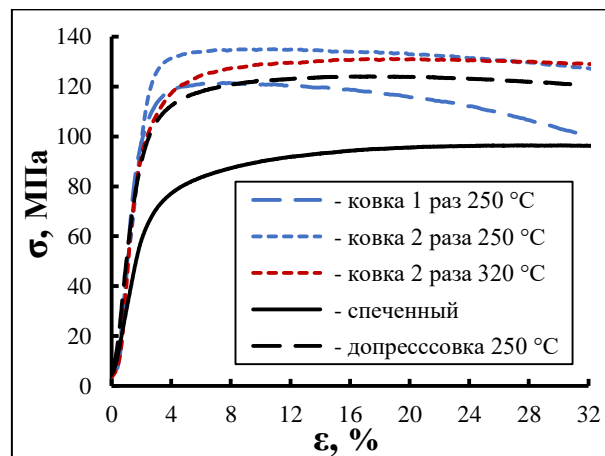


Рис. 3. Влияние обработки давлением на механические свойства спечённого композита Al-7Fe-38Sn

Положительное влияние высокотемпературнойковки с переменной оси осаживания на механические свойства композита Al-7Fe-38Sn сопровождается изменениями в микроструктуре исходного композита (рис. 4). Во-первых, агломераты растягиваются в направлении течения материала, и составляющие их твёрдые частицы рассредоточиваются, а во-вторых, частицы алюминидов измельчаются тем сильнее, чем выше температура абс-ковки. Оба этих фактора положительно сказываются на увеличении пластичности спечённых образцов из исследуемого сплава. При этом, как следует из рис. 3, температура 250 °С оказывается недостаточной, чтобы осуществлялось измельчение алюминидов железа. Возможно, что их измельчению способствует ослабление твёрдых частиц вследствие проникновения эвтектической жидкости по границам зёрен (эффект Ребиндера).

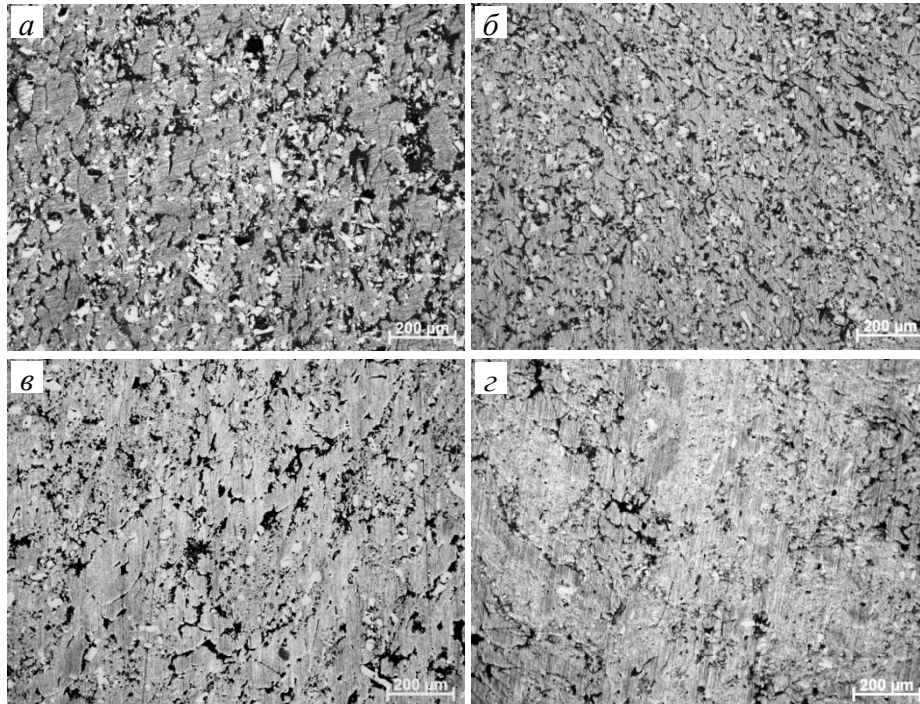


Рис. 4. Структура композита Al-7Fe-38Sn в плоскости течения материала после «abc»-ковки при температуре, °С: а, б – 250, в – 300, г – 350. Число ковок: 1 – а, 2 – б-г. Направление течения материала образца – по вертикали

Заключение. По результатам работы можно сделать вывод, что дополнительная обработка спечённого композита Al-7Fe-38Sn методом механического обжатия образцов в закрытой пресс-форме при 250 °С способствует существенному повышению их прочности. Двукратная ковка с переменной оси осаживания уплотнённых образцов при указанной температуре и выше дополнительно повышает прочность композита.

*Работа выполнена в рамках реализации проекта РНФ № 23-29-00669.*

Список использованных источников:

1. Bushe N.A. Effect of aluminum-alloy composition on self-lubrication of frictional surfaces/ N.A. Bushe, I.G. Goryacheva, Y.Y. Makhovskaya // *Wear*. – 2003. – V. 254. – P. 1276–1280.
2. Mironov A.E. Influence of tin on the tribotechnical properties of complex antifriction aluminum alloys / A.E. Mironov, I.S. Gershman, E.I. Gershman // *Journal of Friction and Wear*. – 2018. – V. 39. – P. 394–399.
3. Rusin N.M. Special features of structure formation in a composite due to sintering a mixture of elementary powders of Al, Fe and Sn / N.M. Rusin, A.L. Skorentsev // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2022. – V. 63. – P. 552–557.
4. Субмикроструктурная структура и физико-механические свойства технического титана / С.П. Малышева [и др.] // *Физика и техника высоких давлений*. – 2002. – Т. 12. – С. 66–75.

5. Медведев П.Н. Анализ пространственного распределения трещин в жаропрочном никелевом сплаве, изготовленном по технологии СЛС / П.Н. Медведев, А.И. Гуляев // *Авиационные материалы и технологии*. – 2020. – № 1. – С. 12–18.
6. Влияние параметров процесса селективного лазерного сплавления на структуру алюминиевого сплава системы Al-Si-Mg / Н.В. Дынин, А.В. Заводов, М.С. Оглодков [и др.] // *Труды ВИАМ*. – 2017. – № 10. – С. 3–14.

#### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

*Н.М. Саидмахаматов<sup>1</sup>, доц., Д.В. Валув<sup>3а</sup>, к.т.н., доц., К.Х. Абдуллаев<sup>2</sup> доц.,  
Н.Х. Таджиев<sup>2</sup>, ст. преподаватель*

*<sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет  
700095, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, 2*

*<sup>2</sup>Наманганский инженерно-строительный институт  
160100, Узбекистан, Наманганская область, г. Наманган, ул. Ислама Каримова, 12*

*<sup>3</sup>Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail : <sup>a</sup>valuev@tpi.ru*

**Аннотация:** В этой статье описываются результаты исследования четырёх образцов с введением различного количества алюминиевого сплава в расплав при плавке стали. Основной задачей является повышение жидкотекучести стали и, наряду с этим, Fe восстановлен из FeO. А также, в целях уменьшения неметаллических включений и газовых раковин в стали, после плавки в электродуговой печи произведена внепечная обработка расплава. В итоге уменьшены вредные элементы в стали. А также произведена плавка стали без неметаллических включений и газовых раковин.

**Ключевые слова:** сталь, железо, неметалл, шихта, электродуговая печь, газовая раковина, ковш, футеровка.

**Annotation:** The main goal is to increase this fluidity and balance with Fe reduced from FeO. As well as cases of detection of non-metallic inclusions and gas shells in steel, after melting in an electric arc furnace, out-of-furnace processing of the melt was carried out. Harmful elements have been significantly reduced. And also produced floating steel without non-metallic inclusions and gas shells.

**Keywords:** steel, iron, non-metal, charge, electric arc furnace, gas shell, ladle, lining.

Введение

В истории металлургии железа, при производстве черных металлов и повышения их качества есть три основных достижения [1]. Если первое это изобретение печи для извлечения железа из руды и его термической обработки в давние времена, то вторым считается освоенная в средние века переработка железа и чугуна, которая связана с массовым производством литой стали в середине XIX века [2].

Для производства различных деталей, оружия, инструментов и машин сталь должна обладать требуемой прочностью и твёрдостью. Поэтому для производства стали требовалась постоянная рабочая сила.

К середине XIX века в связи с развитием по всему миру отраслей промышленности и транспорта резко возросла потребность в стали. Сталь необходимо было производить в больших количествах и ассортименте. Но даже при достаточном производстве надо было решить вопрос дороговизны стали. Удешевление изделия из стали ковкой мягкого железа, ручной и механической обработкой не представлялось возможным.

В связи с возрастающей потребностью, лучшие инженеры – металлурги и учёные того времени занялись этой проблемой. Среди них самую лучшую идею решения проблемы предложил английский учёный и изобретатель Генри Бессемер. По его идее самый приемлемый путь для получения дешёвой стали – это получение жидкого металла с требуемыми свойствами для изготовления изделия или детали, с последующей заливкой в специальные формы нужной конфигурации. Но для внедрения этого метода и получения дешёвой стали потребовались десятки лет и труды многих специалистов металлургов. При внедрении идеи Г. Бессемера были сделаны ещё несколько важных изобретений и все они заняли достойное место в истории металлургии [3].

Методы исследования

В настоящее время получило распространение производство стали и ферросплавов отвечающих мировым стандартам. В Узметкомбинате запущена электродуговая печь DSP – 100 – UM3 отвечающая мировым требованиям. Производительность печи составляет 900–950 тысяч тонн жидкого металла в год. До запуска печи осмотрены состояние футеровки печи и дуги. При повреждённой футеровке, за счет температуры и давления при расплавлении металла футеровка может разрушиться и металл выйдет наружу [4].

Хорошее состояние дуги обеспечивает хороший контакт с шихтой и её расплавление [5]. Сначала в печь загрузили мелкий, а затем крупный металлолом, передельный чугун, известняк. В таблице 1 показан химический состав образцов для плавки.

Таблица 1

Химический состав образцов для загрузки в печь DSP – 100 – UM3

Марка	Элементы, %						
	C	Si	Mn	Al	Cu	P	S
Образец 1	0,14-0,22	0,05-0,15	0,30-0,60	0,3-0,5	0,30-0,32	0,003-0,005	0,04-0,05
Образец 2	0,14-0,22	0,05-0,15	0,30-0,60	0,8-1,0	0,30-0,32	0,003-0,005	0,04-0,05
Образец 3	0,14-0,22	0,05-0,15	0,30-0,60	1,3-1,5	0,30-0,32	0,003-0,005	0,04-0,05
Образец 4	0,14-0,22	0,05-0,15	0,30-0,60	1,8-2,0	0,30-0,32	0,003-0,005	0,04-0,05

Электрическая дуга образуется при соединении с электрической цепью электродов и опускании их на металлическую составляющую шихты. За счет высокой температуры вокруг электрической дуги за короткое время происходит расплавление шихтовых материалов. При расплавлении шихтовых материалов за счет кислорода атмосферы печи и железной руды происходит окисление Fe. Образовавшийся FeO и кислород выделяющийся при расплавлении металла в ванне печи окисляют Si, P, Mn и частично C. Образовавшиеся оксиды (SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeO и MnO) соединившись между собой и с CaO образовали основной шлак. В образовавшемся шлаке 40 – 50 % CaO, 15–20 % FeO [6].

Известно, что при высокой температуре из фосфорного соединения железа (FeO)<sub>3</sub> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в шлаке фосфор восстанавливается за счет углерода и может перейти в ванну. Для предотвращения этого необходимо выпускать из печи шлак до высоких температур или вводить в печь известняк для сохранения стабильного соединения в шлаке.

При этом переход в шлак P и S протекал как в мартеновской печи. По приближению к требуемому составу стали, первичный шлак скачали и для начала второго важного этапа ввели некоторое количество железной руды для бурного окисления углерода.

При этом выделяющийся газ CO перемешивает жидкий металл и очищает его от неметаллических включений и газов. При анализе взятого из ванны образца содержание фосфора и углерода было выше требуемого. Поэтому выпустили вторичный шлак и ввели некоторое количество железной руды и известняка.

Для ускорения плавки по бокам печи установили пять газовых горелок, через которые в расплав подавался газ с давлением 0,8 МПа (рис. 1).

В результате, процесс плавки шихты ускорился и возросла производительность труда.

После выпуска вторичного, а при необходимости третичного шлака содержание фосфора в металле снизилось до 0,01 %.

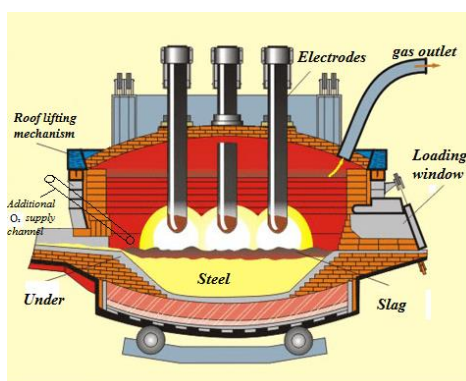


Рис. 1. Общий вид электродуговой печи

Для частичного науглероживания металла в ванну ввели известное количество электродного боя или кокса, а иногда, чистый чугун обработанный древесным углём. Закрыв на несколько минут окна печи довели содержание углерода до требуемого.

Для удаления из сплава неметаллических включений и газов применили несколько методов.

Первый метод. Технология очистки жидкой стали методом обработки синтетическим шлаком. При этом химическом методе сплав очищается от неметаллических включений на 50–70 %.

Для этого расплавленный в электропечи синтетический шлак (55 % CaO, 40 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и в малом количестве SiO<sub>2</sub>, MnO, FeO) вводится в печь в количестве 3–5 % исходя от веса сплава. При этом методе сплав вступив в реакцию с синтетическим шлаком очищается от неметаллических включений и газов. Качественный сплав залили в литейные формы.

Второй метод. Это метод обработки стали в вакуум камере (рис. 3). Известно, что с падением давления металла в ковше, растворение O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и других газов уменьшается. В результате выделяющиеся газы влечут с собой неметаллические включения.

Для очистки металла от неметаллических включений и газов в камере создали разрежение 0,267–0,667 кПа, потом ввели ковш с металлом и выдержали 10–15 минут. Выделяющиеся газовые пузырьки повлекли за собой неметаллические включения. В результате содержание в металле неметаллических включений уменьшилось в 2–3 раза, а газов в 3–5 раза.

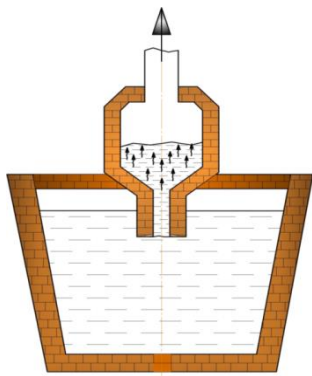


Рис. 2. Очистка сплава в вакуум камере

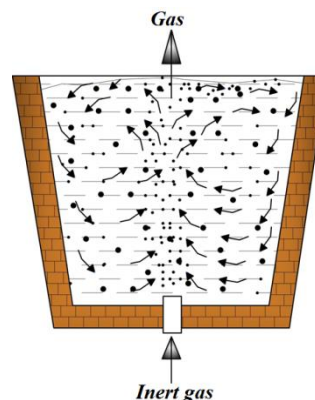
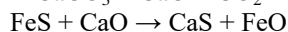
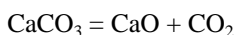


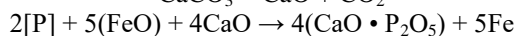
Рис. 3. Очистка сплава инертным газом

Третий метод. По этому методу через жидкий металл в ковше пропустили под небольшим давлением один из инертных газов (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон, радон, оганессон) (рис.3). В результате хорошего перемешивания металла, он очистился от неметаллических включений и газов. При заливке стали в форму для предотвращения окисления хороший результат дает использование специального устройства заливки в газовом потоке.

Четвёртый метод. Это метод очистки сплава от вредного элемента серы. По этому методу жидкий металл загрузили в другую электропечь и нагрев до 1630–1650<sup>0</sup> С ввели в печь известь (CaCO<sub>3</sub>) и CaF<sub>2</sub>. Выдержав 10–15 минут выпустили образовавшийся шлак.



Пятый метод. Это метод очистки сплава от вредного элемента фосфора. По этому методу жидкий металл загрузили в другую электропечь и нагрев до 1440–1450<sup>0</sup> С ввели в печь известь (CaCO<sub>3</sub>). Выдержав 8–10 минут выпустили образовавшийся шлак.



Используя вышеуказанные методы были получены качественные отливки.



Результаты

Контроль температуры плавки четырёх образцов производился термопарой «Positherm» и показал от 1582 до 1635 °С. Сплав после заливки в ковш очистили от шлака.

При плавке сплавов использовались вторичные шихтовые материалы. Обеспечено содержание в сплаве вредных элементов фосфора и серы в пределах 0,003–0,005 %.

Образцы из сплава залиты в литейную форму. Установлено, что скорость охлаждения в песчано-глинистой форме составляет 35–40 град/мин. Для определения механических свойств образцов формовочную смесь загрузили в специальные деревянные опоки и заформовали. Образец залитый этим литейным способом показан на рис.4.



Рис. 4. Образец залитый в песчано – глинистую форму



Рис. 5. Образцы для определения механических свойств низкоуглеродистых конструкционных сталей

После очистки образцов залитых в специальные деревянные опоки, они были пронумерованы. Каждый из образцов имеет разный химический состав рис.5.

Для определения химического состава образцов использованы сканирующий микроскоп SEM Zeiss EVO MA 10 и установка «СПЕКТРОЛАБ–10М».

Химический состав образцов был исследован в АО «УзМеткомбинат».

В первую очередь химический состав образцов исследован на установке спектрального анализа модели «СПЕКТРОЛАБ–10». Результаты показаны в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав образцов

Марка	Элементы, %						
	C	Si	Mn	Al	Cu	P	S
Образец 1	0,21	0,11	0,58	0,4	0,32	0,004	0,05
Образец 2	0,20	0,12	0,55	1,0	0,30	0,005	0,04
Образец 3	0,19	0,14	0,54	1,3	0,31	0,005	0,04
Образец 4	0,22	0,15	0,50	1,8	0,30	0,003	0,05

Влияние на жидкотекучесть сплава образцов, введенного алюминиевого сплава проводилось в лаборатории кафедры «Литейные технологии». Результаты показаны на рис. 6.

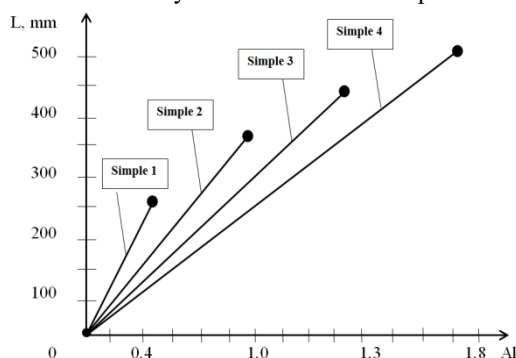


Рис. 6. Жидкотекучесть сплава образцов с введенным алюминиевым сплавом

Изучение микроструктуры и химический анализ образцов проводились на сканирующем электронном микроскопе (Carl Zeiss EVO–MA–10). Сканирующий электронный микроскоп в среде вакуума за счет электрического тока воздействует на электроны образца и путем обратного их собирания определяет содержание элементов. Чем ниже электронное число элементов в сплаве, тем больше неточности в их определении. Во время проведения химического анализа, при определении в стали содержания углерода произошла ошибка. Причиной этого является малое электронное число углерода.

Принцип работы сканирующего электронного микроскопа EVO–MA–10 основан на взаимодействии электронных лучей с поверхностью объекта. Электронные лучи с помощью микроскопа постоянно сканируют ту часть поверхности объекта, которая появилось в изображении. При взаимодействии электронного луча с поверхностью объекта одновременно появляются несколько ответных сигналов.

В зависимости от того, какой детектор сигнала включен, появляется искомое изображение. Микроскопы измеряют длину проекции геометрических расстояний в горизонтальной поверхности, т. е. определяет расстояние между плоско и горизонтально направленными соответствующими точками объекта.

Содержание растворенного водорода в образце определили методом вакуум экстракции. Этот метод основан на полном отделении газа из образца в условиях высокого вакуума и определении количества газа после экстракции.

При отделении растворённого газа из металла из-за температуры и давления термодинамический баланс в системе газ–металл сдвигается в сторону газовой фазы. Из образцов вырезали образцы диаметром 8 мм и длиной 20 мм и эти образцы поэтапно обрабатывали наждачной бумагой 500, 1000 и 2000 мкм.

Поверхность образцов полировали пастой карбида вольфрама (WC). После полирования образцы подвергли травлению согласно ГОСТ5639–82. В качестве реагентов использовали соляную (HCl) и пикриновую ( $C_6H_2(NO_2)_3OH$ ) кислоты. Основная цель травления – разделение структуры образцов на фазы и исследование на микроскопе. В результате появилась возможность разделения на чёткие границы структуры стали. Металлографические исследования образцов проведены на сканирующем электронном микроскопе SEM Zeiss EVO MA с увеличением от  $\times 500$  до 2000 раз в «Центре передовых технологий при министерстве инновационного развития».

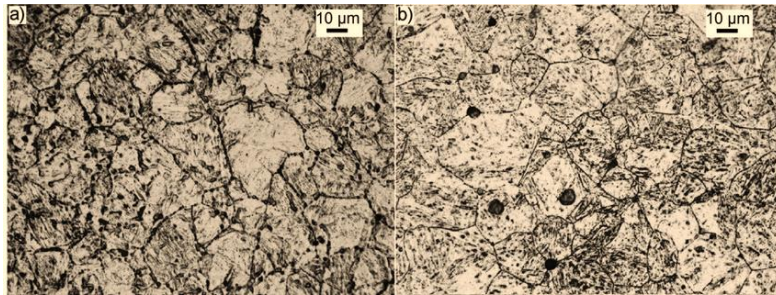


Рис. 6 (а): вид образца – 1, увеличенный  $\times 500$  на электронном сканирующем микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

Рис. 6. (б): вид образца – 2, увеличенный  $\times 1000$  на электронном сканирующем микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

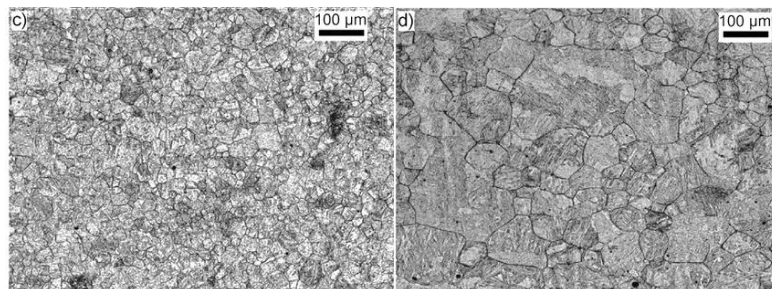


Рис. 7 (с): вид образца – 3, увеличенный  $\times 1500$  на электронном сканирующем микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

Рис. 7 (д): вид образца – 4, увеличенный  $\times 2000$  на электронном сканирующем микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

Рисунок 7 (а) образец 1 – площадь 10 мкм<sup>2</sup> увеличение x500, структура феррит – перлит и немного аустенит. Рисунок 7 (б) образец 2 – площадь 10 мкм<sup>2</sup>, увеличение x1000, структура крупнозернистый перлит – феррит и аустенит. Рисунок 7 (с) образец 3 – площадь 100 мкм<sup>2</sup>, увеличение x1500, структура мелкозернистая феррит – перлит. Рисунок 7 (д) образец 4 – площадь 100 мкм<sup>2</sup>, увеличение x2000, структура крупнозернистая, перлит – феррит.

#### Вывод

Обработка флюсами при плавке стали в электродуговой печи для улучшения качества позволила улучшить механические свойства сплава в 1,2–1,3 раза. Также достигнуто уменьшение содержания неметаллических включений и газовых раковин в сплаве путём внепечной обработки. Кроме этого, установка газовых горелок в боковые части электродуговой печи повысила КПД печи в 1,1–1,15 раза. Введение в четыре образца разного количества алюминиевого сплава увеличило жидкотекучесть металла. Достигнуто восстановление Fe из FeO.

#### Список использованных источников:

1. Nosir S. Development of Liquefaction Technology 280X29NL to Increase the Strength and Brittleness of Castings / S. Nosir, K. Bokhodir // Springer International Publishing. – 2022. – С. 105–115.
2. Development of 280X29Ni alloy liquefaction technology to increase the hardness and corrosion resistance of cast products / Nodir T. [et al.] // International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics. – 2021. – №. 10. – С. 154–159.
3. Lecomte – Beckers J. Current developments of alloyed steels for hot strip roughing mills: characterization of high-chromium steel and semi-high speed steel / J. Lecomte – Beckers, M. Sinnaeve, J.T. Tchuindjang // Iron and Steel Technology. – 2012.
4. Pellizzari M. Hot friction and wear behaviour of high speed steel and high chromium iron for rolls / M. Pellizzari, D. Cescato, M. G. De Flora //Wear. – 2009. – Т. 267. – №. 1–4. – С. 467–475.
5. Elevated temperature material properties of stainless steel alloys / L. Gardner [et al.] // Journal of Constructional Steel Research. – 2010. – Т. 66. – №. 5. – С. 634–647.
6. Development of Technology of Liquefaction of Steel Alloys in Electric Furnaces / B. Valida [et al.] // Spanish Journal of Innovation and Integrity. – 2022. – Т. 8. – 65–69.
7. Development of quality steel alloy liquidation technology / Nosir S. [et al.] // American Journal of Interdisciplinary Research and Development. – 2022. – Т. 7. – С. 74–83.

### РАЗРАБОТКА МЕХАНОАКТИВАТОРА С ВРАЩЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ВОКРУГ ТРЕХ ОСЕЙ

*А.В. Собачкин<sup>1,а</sup>, к.т.н., ст. науч. сотр., А.Ю. Мясников<sup>1,2</sup>, зав. лабораторией, Н.Г. Вергун<sup>1</sup>, исследователь  
<sup>1</sup>Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,  
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46*

*<sup>2</sup>Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,  
630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18  
E-mail: <sup>а</sup>anicpt@rambler.ru*

**Аннотация:** В работе разработана компоновка трехмерной модели механоактиватора, позволяющего вращать барабаны вокруг трех осей одновременно. Механоактиватор состоит из 3 колец, соединенных между собой подшипниковыми узлами. Ко внутреннему кольцу присоединен держатель барабанов, внутри которого размещены барабаны с мелющими телами. Для обеспечения безопасности процесса работы механоактиватора система колец помещена в корпус. Основные конструктивные элементы механоактиватора выполнены из стали 10, которая обеспечивает конструктивную прочность. Барабаны и мелющие тела выполнены из шарикоподшипниковой стали ШХ-15 для того, чтобы снизить эффект отравления порошковой смеси. Масса механоактиватора составляет 79 кг.

**Ключевые слова:** механическая активация, порошковый материал, трехмерная модель, устройство-механоактиватор

**Abstract:** The paper has developed a layout of a three-dimensional model of a mechanical activator that allows rotating the drums around three axes simultaneously. The mechanical activator consists of 3 rings connected by bearing assemblies. A drum holder is attached to the inner ring, inside which drums with grinding bodies are placed. To ensure the safety of the operation of the mechanical activator, the ring system is placed in the housing. The main structural elements of the mechanical activator are made of steel 10, which provides structural strength.

The drum and grinding bodies are made of ball bearing steel SHH15 in order to reduce the poisoning effect of the powder mixture. The mass of the mechanical activator is 79 kg.

**Keyword:** mechanical activation, powder material, three-dimensional model, mechanical activator device

#### Введение

Порошковые материалы широко используются в современном машиностроении. Для их эффективного применения необходимо управлять как объемными свойствами порошка в целом, так и характеристиками отдельных частиц. Для целенаправленного воздействия на структурно-фазовые и размерные характеристики, а также реакционную способность порошков применяют механическую активацию.

Механоактивация – это процесс образования более химически активного вещества под воздействием механической обработки. Эти вопросы активно изучаются как в России, так и за рубежом. Анализ литературы [1–3] показал, что исследованиями процессов механического воздействия на порошковые смеси занимаются ученые ИХТТМ СО РАН (Новосибирск), КазНИТУ им. К. И. Сатпаева (Алматы), НИТУ «МИСиС» (Москва), ИСМАН им. А.Г. Мержанова РАН (Черноголовка), АлтГТУ им. И. И. Ползунова (Барнаул) и других.

Для механической активации важно применять соответствующее оборудование (механоактиватор). В этой связи целью работы является разработка механоактиватора с разнообразной траекторией движения мелющих тел внутри барабана за счет одновременного вращения рабочих органов вокруг трех осей.

Цель работы – разработка концепции нового устройства механоактиватора с вращением рабочих органов в трех плоскостях.

#### Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследований выбрано специальное устройство, называемое механоактиватор. Принцип работы механоактиватора планетарного типа основан на вращении барабанов вокруг собственной оси с одновременным вращением в противоположную сторону держателя барабанов вокруг оси установки. В этом случае управляющими параметрами работы установки являются угловая скорость вращения держателя и угловая скорость вращения барабанов. Для моделирования была использована система Компас-3D.

#### Результаты и обсуждение

Проанализировав существующие конструкции механоактиваторов [4–9], можно сформулировать их недостатки:

- относительно низкая энергетическая напряженность процесса измельчения материалов, что является причиной низкой производительности мельницы;
- быстрый износ рабочих органов, низкая энергетическая напряженность процесса, следовательно, невысокая производительность;
- сложное конструктивное выполнение мелющих тел, недостаточная эффективность размола измельчаемого материала;
- сложная конфигурация внутреннего объема барабана, приводящая к большим трудностям при его работе и при разгрузке, низкая производительность и недостаточная эффективность помола;
- сложность изготовления помольных барабанов с внутренним сечением эллиптической формы.

Однако, самым главным недостатком является возможность вращения барабанов только в одной плоскости – вокруг какой-то одной оси. Это приводит к различным последствиям: во-первых, в нижней части рабочей области из-за сил тяжести возможно скопление порошка, что приводит к застыванию порошка. Во-вторых, процесс механоактивации чаще всего происходит при определенной энергонапряженности, и через некоторое время рабочие органы (шары) перестают измельчать порошковый материал, т. к. образовались агломераты, которые невозможно измельчить. В-третьих, в процессе механоактивации рабочие органы (шары) под действием сил располагаются на стенках барабана механоактиватора и перестают выполнять свою главную задачу (измельчать порошок). В-четвертых, форма барабана и мелющих тел создают области на стыке стенок барабана, в которых механоактивация не происходит вовсе.

Еще один негативный эффект вращения барабанов в одной плоскости – при высоких скоростях вращения мелющие тела за счет центростремительного ускорения двигаются внутри барабана по установившейся траектории. Поэтому для обеспечения процесса активации порошковой смеси необходимо относительно длительное время – десятки минут, а также высокие энергозатраты. Такая традиционная технология не позволяет получить активированные порошки в полной мере. Чтобы устранить указанные недостатки, требуется разработать конструкцию механоактиватора, которая бы обеспечивала вращение барабанов одновременно вокруг трех осей.

Исходя из представленной концепции была разработана модель механоактиватора, позволяющего вращать барабаны вокруг трех осей одновременно. Для моделирования была использована система Компас-3D.

Разработанная модель приведена на рисунке 1.

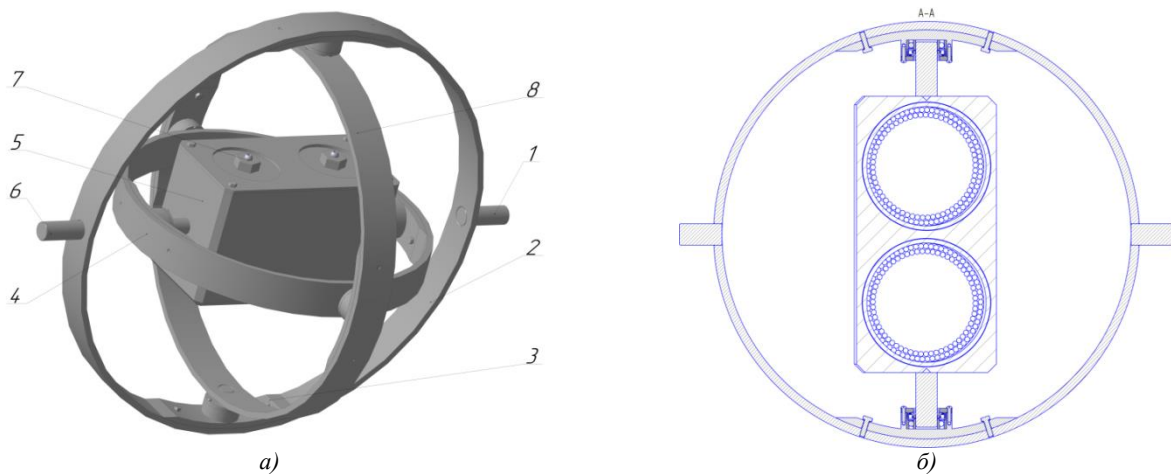


Рис. 1. Рабочий узел механоактиватора:

а) трехмерная модель, б) внутреннее кольцо с держателем барабанов и барабанами;

1 – опорный вал; 2 – внешнее кольцо; 3 – подшипниковый узел; 4 – внутреннее кольцо; 5 – держатель барабанов;  
6 – приводной вал; 7 – барабаны; 8 – среднее кольцо

Механоактиватор состоит из трех колец (внешнего, среднего и внутреннего), соединенных между собой подшипниковыми узлами, что позволяет кольцам вращаться вокруг трех осей одновременно. Ко внутреннему кольцу также через подшипниковый узел присоединен держатель барабанов, внутри которого размещены барабаны с мелющими телами (рисунок 1, б).

В конструкции барабанов предусмотрена крышка на резьбе с клапаном, позволяющим откачивать воздух и закачивать инертный газ.

Приводной вал служит для подключения электродвигателя мощностью порядка 2,2 кВт, с помощью которого системы колец приводится в движение. Опорный вал предназначен для крепления системы колец к корпусу через подшипниковый узел. Для обеспечения безопасности процесса работы механоактиватора система колец помещена в корпус.

Исходя из литературного обзора и конструкторского опыта, было принято решение основные конструктивные элементы механоактиватора (корпус, кольца, держатель барабана, валы) выполнить из стали 10. Основной узел (барабаны и мелющие тела) должны быть изготовлены из шарикоподшипниковой стали ШХ-15, для того чтобы снизить эффект отравления порошковой смеси. С учетом примененных материалов масса механоактиватора составляет 79 кг.

Анализ механоактиватора будем производить при помощи системы прочностного анализа АРМ FEM для КОМПАС-3D. В результате расчетов установлено, что на конструкцию действуют незначительные нагрузки, запаса по прочности достаточно и даже многократное увеличение нагрузки в экстренных ситуациях позволит сохранить конструкцию от поломки.

#### Выводы

Проанализировав недостатки существующих конструкций механоактиваторов, была разработана концепция нового устройства механоактиватора с вращением рабочих органов в трех плоскостях. Концепция основана на использовании принципиальной схемы гироскопа. При подключении электродвигателя один из подвесов начнет принудительное вращение, а остальные два подвеса обеспечат одновременное вращение вокруг трех осей сразу.

Исходя из представленной концепции, была разработана компоновка трехмерной модели механоактиватора, позволяющего вращать барабаны вокруг трех осей одновременно. Механоактиватор состоит из 3 колец (внешнего, среднего и внутреннего), соединенных между собой подшипниковыми узлами. К внутреннему кольцу присоединен держатель барабанов, внутри которого размещены барабаны с мелющими телами. В конструкции барабанов предусмотрена крышка на резьбе с клапаном, позволяющим откачивать воздух и закачивать инертный газ. Для обеспечения безопасности процесса работы механоактиватора система колец помещена в корпус.

Проанализированы и подобраны материалы для построения модели механоактиватора. Исходя из литературного обзора и конструкторского опыта, принято решение основные конструктивные элементы механоактиватора (корпус, кольца, держатель барабана, валы) выполнить из стали 10 с пределом текучести 235 МПа, которая обеспечивает конструктивную прочность. Основной узел (барабаны и мелющие тела) выполнены из шарикоподшипниковой стали ШХ-15 для того, чтобы снизить эффект отравления порошковой смеси. Масса механоактиватора составляет 79 кг.

*Работа выполнялась в рамках государственного Задания FZMM-2023-0003 и при поддержке Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК».*

Список использованных источников:

1. Механокомпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами / под ред. О.И. Ломовского. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. – 424 с.
2. Bernard F. Mechanical alloying in SHS research / F. Bernard // International Journal of SHS. – 2001. – № 2. – P. 109–131.
3. Mechanical activation and gasless explosion : Nanostructural aspects / A.S. Mukasyan, B.B. Khina, R.V. Reeves // Chemical Engineering Journal. – 2011. – Vol. 174. – P. 677–686.
4. Патент 83433. Российская Федерация, МПК В02С 17/18 (2006.01). Планетарная мельница (патент на полезную модель): № 2009105040/22 : заявл. 13.02.2009 : опубл. 10.06.2009 / С.В. Першина, В.Ф. Першин, В.Н. Артемов, А.Г. Ткачев, М.А. Ткачев .
5. Авторское свидетельство 1584203. СССР, МПК В02С 17/08. Планетарная мельница (авторское свидетельство СССР на изобретение), заявитель Институт химии твердого тела и переработки минерального сырья СО АН СССР: № 4264434/33 : заявл. 18.06.1987 : опубл. 15.11.1994 / Е.Г. Аввакумов, А.Р. Поткин, В.М. Березняк.
6. Патент 2665071. Российская Федерация, СПК В02С 17/08 (2006.01); В02С 17/04 (2006.01); В02С 17/18 (2006.01); В02С 17/20 (2006.01). Шаровая планетарная мельница для высокоэнергетического измельчения материалов (патент на изобретение): патентообладатель Владимирский государственный университет им А.Г. и Н.Г. Столетовых: № 2017133393 : заявл. 25.09.2017 : опубл. : 28.08.2018, Бюл. № 25 / В.Г. Гусев, А.В. Аборкин, А.В. Соболев.
7. Патент 33519. Российская Федерация, МПК В02С 17/08 (2000.01). Планетарная мельница (патент на полезную модель): патентообладатель Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН: № 2003120652/20 : заявл. 07.07.2003 : опубл. 27.10.2003 / М.Г. Денисов, А.Ф. Еремин.
8. Патент 2036009. Российская Федерация, МПК В02С 17/08. Планетарная мельница (патент на изобретение): № 93011368/33 : заявл. 03.03.1993 : опубл. 27.05.1995 : патентообладатель В.Г. Кочнев, С.А. Симанкин / В.Г. Кочнев, С.А. Симанкин.
9. Патент 33037. Российская Федерация, МПК В02С 17/08 (2000.01). Планетарная шаровая мельница (патент на полезную модель) : № 2003106623/20 : заявл. 11.03.2003 : опубл. 10.10.2003 : патентообладатель ЗАО «Активатор». / А.А. Леуткин.

### Трибологические свойства оксида кобальта (II, III)

*Е.Г. Дроган<sup>а</sup>, к.т.н, доц., В.Э. Бурлакова, д.т.н., проф., М.А. Казаян, студент*

*Донской государственный технический университет 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

*E-mail: <sup>а</sup>ekaterina.drogan@gmail.com*

**Аннотация:** В результате исследования установлено, что термическое разложение комплексного соединения тримезината кобальта с образованием наноразмерного оксида кобальта  $Co_3O_4$  наблюдается при температуре 410<sup>0</sup>С. Основной фазой полученного в результате термолиза кобальторганического соединения является оксид кобальта  $Co_3O_4$ . Размер частиц полученного оксида кобальта  $Co_3O_4$  не превышает 80 нм. Добавление нанопорошка оксида кобальта с концентрацией 0,02 % к индустриальному маслу И-20А повышает противозносные свойства на 15 %.

**Ключевые слова:** наночастицы, оксид кобальта, трение, смазочный материал

**Abstract:** As a result of the study, it was found that the thermal decomposition of the complex compound of cobalt trimesinate with the formation of nanosized cobalt oxide  $Co_3O_4$  is observed at a temperature of 410<sup>0</sup>С. The main phase of the organocobalt compound obtained as a result of thermolysis is cobalt oxide  $Co_3O_4$ . The particle size of the resulting cobalt oxide  $Co_3O_4$  does not exceed 80 nm. The addition of cobalt oxide nanopowder with a concentration of 0.02 % to industrial oil I-20A increases the anti-wear properties by 15 %.

**Keywords:** nanoparticles, cobalt oxide, friction, lubricant

Трение и износ деталей машин значительно влияют на энерго- и ресурсосбережение. Благодаря использованию новых технологий обработки поверхности, новых материалов и смазочных композиций потери энергии могут быть значительно снижены. Одним из потенциальных направлений снижения трения и износа является разработка смазочных композиций, содержащих присадки конкретного функционального назначения. Особенно эффективное влияние на характеристики смазочных материалов оказывают нанопорошки некоторых металлов и их соединений. Среди них широкое применение получили такие наноматериалы как графен, наночастицы оксида меди, титана, никеля, кобальта [1–6]. При этом кобальт занимает особое место, так как является важным конструкционным материалом с высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью.

В связи с этим целью исследования является изучение трибологических свойств оксида кобальта, полученного термоллизом кобальторганических соединений, в качестве антифрикционных добавок в промышленное масло.

Для определения фазового состава полученных в результате термоллиза порошков проводили качественный рентгенофазовый анализ по методу порошка на дифрактометре ARLXTRA в фильтрованном  $\text{Cu K}\alpha$  излучении с длиной волны  $1,5418 \text{ \AA}$  в интервале  $2\theta$  от  $10^\circ$  до  $80^\circ$  при скорости сканирования  $50/\text{мин}$ . Полученная рентгенограмма анализировалась на основе порошковой базы дифракционных данных PDF-2. Для визуализации полученных в результате термоллиза наночастиц порошка кобальта проводили исследования с использованием атомно-силовой микроскопии. Перед исследованиями полученный порошок подвергался ультразвуковой обработке в этиловом спирте в течение 15 минут. Затем коллоидный раствор наносили на покровное стекло и высушивали на воздухе. Триботехнические испытания на ЧШМ проводились в соответствии со стандартом ГОСТ 9490–75. Пара трения на ЧШМ сталь-сталь представляла собой точечные контакты шаров. Шары для испытаний изготавливались из стали ШХ15 по ГОСТ 801–78.

В качестве объектов исследования использовали полученный в результате термоллиза комплексного соединения тримезината кобальта дипиридил оксид кобальта  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . По данным термического анализа комплекса тримезината кобальта дипиридил значительная потеря веса исходного образца имеет место в температурный интервал от  $370^\circ\text{C}$  до  $420^\circ\text{C}$ , что связано удалением лиганда. Выше  $420^\circ\text{C}$  и до  $900^\circ\text{C}$  наблюдается умеренная потеря и массы образца. Исследование фазового состава полученного в результате термоллиза порошка позволило установить, что основной фазой является оксид кобальта  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . Характерные пики для данной фазы отмечены при значениях угла  $2\theta$  равных  $19^\circ, 31^\circ, 36,5^\circ, 39^\circ, 45^\circ, 56,5^\circ, 59^\circ, 65,5^\circ, 74^\circ$ , рис. 1.

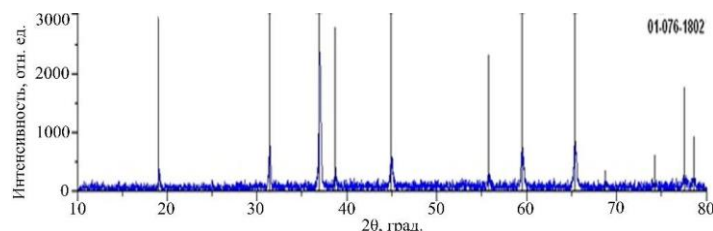


Рис. 1. Рентгенограмма продукта термоллиза тримезината кобальта дипиридил

На основе анализа результатов атомно-силовой микроскопии установлено, что наночастицы оксида кобальта имеют размер в латеральной плоскости менее  $80 \text{ нм}$  с формой частиц близкой к сферической, рис. 2.

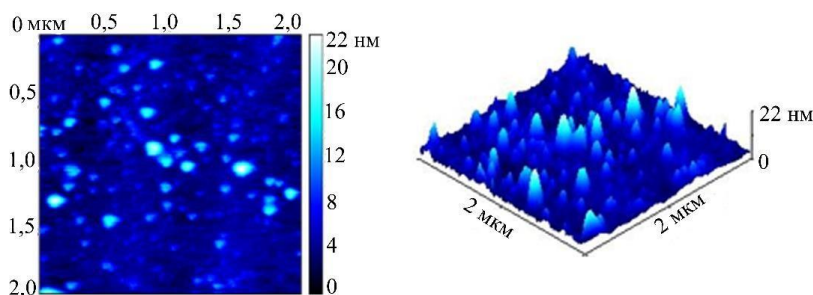


Рис. 2. Результаты атомно-силовой микроскопии наночастиц оксида кобальта  $\text{Co}_3\text{O}_4$

Исследование полученного нанопорошка оксида кобальта в качестве присадки к индустриальному маслу И-20А показало значительное его влияние на противоизносные свойства смазочной композиции. Добавление нанопорошка оксида кобальта с концентрацией 0,02 % и 0,1 % позволило повысить противоизносные свойства смазочной композиции на 15 %, рис. 3.

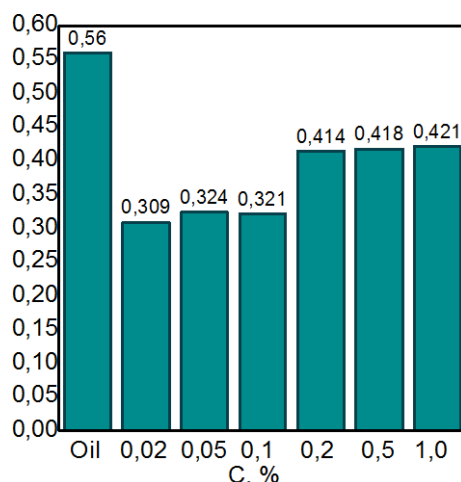


Рис. 3. Результаты противоизносных свойств индустриального масла И-20А с добавлением оксида кобальта  $Co_3O_4$

Последующее увеличение концентрации наночастиц оксида кобальта в смазочной композиции до 0,2, 0,5, 1 % сопровождается увеличением диаметра пятна износа при трении пары сталь-сталь и, соответственно, снижением противоизносных свойств смазочной композиции, рис. 3. Полученные результаты могут быть обусловлены абразивным действием наночастиц кобальта на стальную поверхность.

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных установлено, что термическое разложение комплексного соединения тримезината кобальта с образованием наноразмерного оксида кобальта  $Co_3O_4$  наблюдается при температуре 410 °С. Основной фазой полученного в результате термолиза кобальтоорганического соединения является оксид кобальта  $Co_3O_4$ . Размер частиц полученного оксида кобальта  $Co_3O_4$  не превышает 80 нм. Добавление нанопорошка оксида кобальта с концентрацией 0,02 % к индустриальному маслу И-20А повышает противоизносные свойства на 15 %.

Список использованных источников:

1. Novikova A.A. Influence of glycerol dispersions of graphene oxide on the friction of rough steel surfaces / A.A. Novikova [et al.] // Journal of Molecular Liquids. – 2019. – Т. 284. – С. 1–11.
2. Dzhardimalieva G.I. Titanium (IV) Oxoacrylate Complexes with Polypyridine Ligands as Precursors of Nanomaterials with Antiwear Properties / G.I. Dzhardimalieva [et al.] // Russian Journal of General Chemistry. – 2022. – Т. 92. – №. 10. – С. 1983–1994.
3. Uflyand I.E. Metal chelate monomers based on nickel (II) cinnamate and chelating N-heterocycles as precursors of nanostructured materials / I.E. Uflyand [et al.] // Journal of Coordination Chemistry. – 2019. – Т. 72. – №. 5–7. – С. 796–813.
4. Kharissova O.V. Nanomaterials derived from a copper cinnamate complex with 4'-phenyl-2, 2': 6', 2''- terpyridine as antifriction and anti-wear additives for oil lubricants / O.V. Kharissova [et al.] // Tribology Letters. – 2021. – Т. 69. – С. 1–13.
5. Burlakova V.E. Obtaining and physicochemical properties of cobalt-containing thermolysis products complex compounds / V.E. Burlakova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1029. – №. 1. – С. 012051.
6. Burlakova V.E. Nanotribology of Aqueous Solutions of Monobasic Carboxylic Acids in a Copper Alloy–Steel Tribological Assembly / V.E. Burlakova [et al. ] // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2018. – Т. 12. – С. 1108–1116.



### СХЕМА ДЕФОРМАЦИЙ В ЗОНЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ

М.А. Корчуганова<sup>а</sup>, к.т.н., доц., Е.Ф. Мирзоянов<sup>б</sup>, магистрант  
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»  
630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20 тел. (383) 346-08-43  
E-mail : <sup>а</sup>mirzojanov@yandex.ru, <sup>б</sup>korchuganova@corp.nstu.ru

**Аннотация:** Дан краткий обзор и анализ основных схем деформаций в зоне стружкообразования с последующим построением альтернативной схемы на основе анализа моделирования процесса резания при помощи программных пакетов. В данной статье приведены схемы свободного ортогонального резания, когда инструмент режет одной прямолинейной кромкой, как правило передней поверхностью резца.

**Ключевые слова:** зона стружкообразования, упругопластические деформации, свободное ортогональное резание.

**Abstract:** A brief overview and analysis of the main deformation schemes in the chip formation zone is given, followed by the construction of an alternative scheme based on the analysis of modeling the cutting process using software packages. This article presents the schemes of free orthogonal cutting, when the tool cuts with one straight edge, usually the front surface of the cutter.

**Keywords:** chip formation zone, elastic-plastic deformations, free orthogonal cutting.

Введение

Стружкообразование — это сложное явление, сопровождающее процесс резания металла, требующее детального изучения. Сложность процесса стружкообразования обусловлена тем, что при снятии стружки в зоне резания возникают упругие и пластические деформации, которые способствуют разрушению срезаемого слоя и получение новой поверхности. Описать это явление с помощью простой схемы сопротивления материала довольно сложная задача. Такие ученые, как Тиме И.А., Брикс А.А., Зворыкин К.А. и др. являющиеся основоположниками теории резания, проводили экспериментальные исследование зоны стружкообразования с построением схем расположения линий напряжений в зоне стружкообразования. В дальнейшем эти схемы подвергались доработкам и изменениям на основе проводимых исследований в области резания металлов.

Основные схемы стружкообразования

Тиме И.А. при исследовании процессов резания первым выдвинул теорию сдвигового характера пластической деформации в зоне стружкообразования и построил схему свободного ортогонального резания. Согласно схеме Тиме (рис.1) при резании металла в зоне возникновения деформаций создается плоскость максимальных касательных напряжений  $\tau_{\max}$  [7], определяемая положением угла  $\beta_1$  и образуемая путем последовательных сдвигов, за что и была названа плоскостью сдвига.

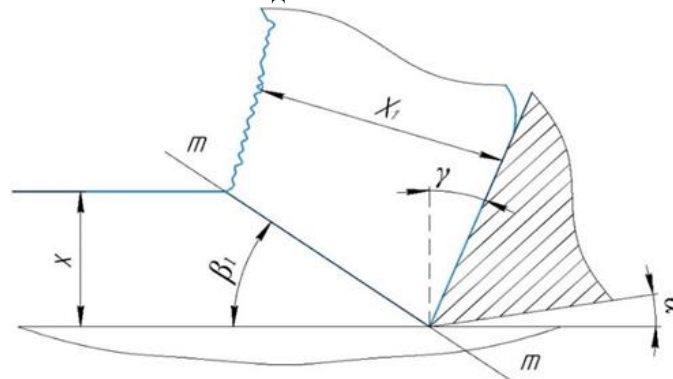


Рис. 1. Схема зоны стружкообразования Тиме [7]

При всем своем достоинстве схема стружкообразования Тиме имеет недостаток, так как предполагает наличие одной единственной плоскости сдвига, которая должна предполагать бесконечно большой градиент напряжений. Позднее А.А. Брикс выявив недостатки схемы Тиме, высказал гипотезу о семействе плоскостей сдвига в зоне стружкообразования (рис. 2) [1, 2], при которой плоскости располагаются веером и имеют клинообразную форму, что было в дальнейшем частично подтверждено экспериментами. Открытие Брикса значительно продвинуло вперед исследования пластического деформирования в области резания металлов.

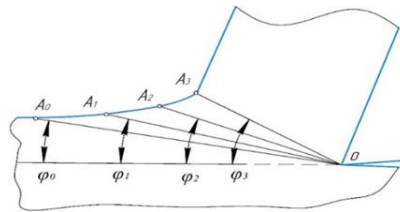


Рис. 2. Схема зоны стружкообразования Брикса

Следующая схема, более близкая к действительной – это схема Зорева (рис. 3) [2, 6]. Она также имеет клинообразную форму, но криволинейную форму линий.

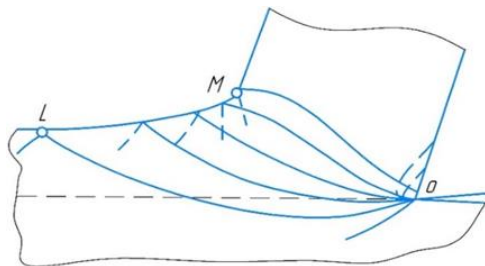


Рис. 3. Линии скольжения в зоне стружкообразования Зорева [2]

Согласно схеме Зорева, пластическая деформация начинается на линии OL, являющейся начальной границей зоны образования стружки. Вдоль линии OL происходят первые сдвиги материала при деформации. При пересечении каждой последовательной линии сдвига, материал подвергается дополнительной деформации, а линия OM является конечной границей зоны стружкообразования, при которой материал получает наибольшую степень деформации, которая свойственна образовавшейся стружке [2]. Схема Н.Н. Зорева нашла подтверждения в большинстве экспериментальных исследованиях.

Также известны схемы стружкообразования с линиями скольжения, зарубежных авторов таких как Палмер, Оксли, Хитоми [1, 6] с зоной сдвига AOC (рис. 4). Изучение зон стружкообразования с помощью фото и кино-съемки приближенно совпадало с этими схемами.

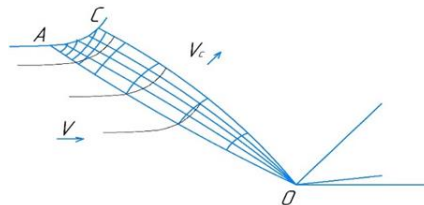


Рис. 4. Схема линий скольжения Памера и Оксли [6]

Свой подход к построению схемы зоны стружкообразования внес С. И. Петрушин [5, 6]. По схеме Петрушина (рис. 5) пластическая деформация в первичной зоне происходит в некотором объеме и имеет развитое поле линий скольжения, особенностью которого является наличие линии перехода между обрабатываемой поверхностью и наружной поверхностью стружки.

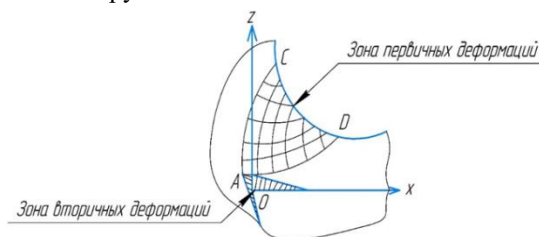


Рис. 5. Схема линий скольжения Петрушина [5]

По мнению автора [5], его схема актуальна для резания на небольших скоростях, а с увеличением скорости резания и особенно при обработке пластичных материалов это ведет к уменьшению участка CD зоны первичных деформаций.

#### Альтернативная схема

Такой мощный аппарат для моделирования многих технологических процессов, как ANSYS, дает большие перспективы в области научных исследований и значительно упрощает проведение экспериментов. Результаты моделирования процессов резания в программе ANSYS [3,4] позволяют делать выводы о расположении плоскости сдвиговой деформации в зоне стружкообразования с большой долей вероятности (рис. 6).

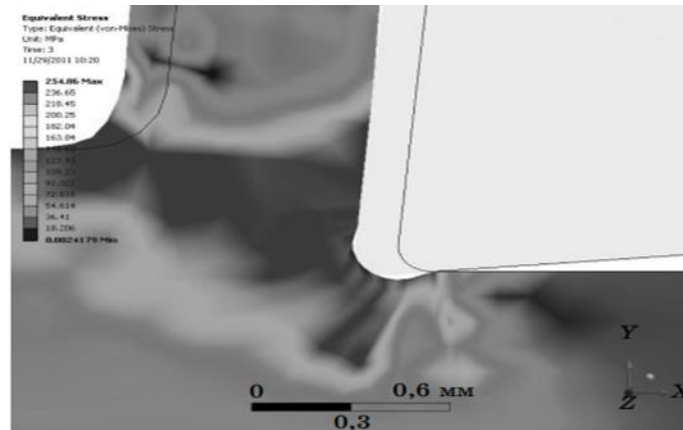


Рис. 6. Распределение напряжений в материале заготовки [3]

Анализируя эти результаты построим схему расположения линий сдвиговых деформаций в зоне стружкообразования (рис. 7)

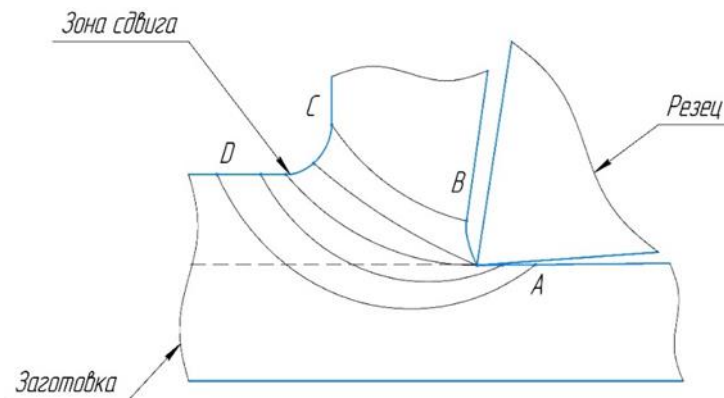


Рис. 7. Альтернативная схема полей линий скольжения

Контур ABCD является зоной сдвиговых деформаций с линиями скольжения расположенными в зоне напряжений модели заготовки.

#### Вывод

Несмотря на большое разнообразие схем распределение деформаций в зоне стружкообразования, были рассмотрены и проанализированы самые популярные из них. Делаем вывод, на основе анализа, что зоны сдвиговых деформаций в виде линий скольжения на схемах почти все имеют схожую структуру и зависят от скорости резания, так как при увеличении зона сдвига сужается.

Анализ зоны деформаций при моделировании процессов резания в программе ANSYS и построение соответствующей схемы показал не большое отличие от классических схем.

Список использованных источников:

1. Армарего И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армарего, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
2. Зорев Н.Н. Наука о резании металлов / Н.Н. Зорев. – М.: Машиностроение 1967. – 483 с.
3. Маслеников И.А. Исследование напряженного состояния зоны стружкообразования с помощью программного комплекса ANSYS Workbench / И.А. Маслеников, Ю.А. Соколов, В.Н. Копаев // Металлообработка – 2012. – № 5–6. – С. 71–72.
4. Мокрицкий Б.Я. Моделирование процессов резания с применением программы ANSYS / Б.Я. Мокрицкий // Вестник машиностроения – 2018. – № 4. – С. 69–72.
5. Петрушин С.И. Введение в теорию несвободного резания материалов: учебное пособие / С.И. Петрушин. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 97 с.
6. Петрушин С.И. Основы формообразования резанием лезвийными инструментами: учебное пособие / С.И. Петрушин. – Томск: Изд. ТГУ, 2003. – 172 с.
7. Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов / А.М. Розенберг, А.Н. Еремин – М.:Свердловск: Машгиз, 1956. – 319 с.

### ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Si-Mg

*А.А. Сапрыкин<sup>2</sup>, к.т.н., доц., Н.А. Сапрыкина<sup>3</sup>, к.т.н., доц., Т.С. Гусева<sup>1</sup>, ассистент  
Юргинский технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского Томского политехнического университета,  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mails: tsh2@tpu.ru<sup>1</sup>, sapraa@tpu.ru<sup>2</sup>, saprikina@tpu.ru<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Сплавы на основе алюминия обладают высокой удельной прочностью, низкой плотностью, пластичностью, хорошей коррозионной стойкостью. В данной работе приведен обзор литературы, направленный на анализ влияния режимов селективного лазерного плавления на свойства сплава системы Al-Si-Mg.

**Ключевые слова:** Селективное лазерное плавление, алюминий, порошок, режимы, скорость сканирования, шаг сканирования, мощность лазера, плотность, твердость.

**Abstract:** Aluminum-based alloys have high specific strength, low density, plasticity, good corrosion resistance. This paper presents a literature review aimed at analyzing the effect of different modes of selective laser melting on the properties of aluminum-based alloy of Al-Si-Mg system.

**Keyword:** Selective laser melting, aluminum, powder, modes, scanning speed, scanning step, laser power, density, hardness.

Различные детали из сплава на основе алюминия изготавливаются традиционными производственными процессами, такими, как литье,ковка и т. д. Тем не менее, эти традиционные процессы приводят к получению изделий с крупнозернистой структурой и сопутствующими низкими механическими свойствами. Помимо этого, использование оснастки для изготовления отливок из сплава на основе алюминия по традиционным технологическим схемам приводит к увеличению стоимости производства и времени выполнения заказа. Производственные предприятия стремятся как можно скорее поставить свою продукцию на рынок. Для таких предприятий внедрение технологии селективного лазерного плавления (СЛП) в производственный процесс является перспективным. Это связано с тем, что СЛП позволяет изготавливать изделия сложной формы без использования специальных инструментов и оснастки, а также сокращается цикл проектирования и производства изделия. В целом аддитивные технологии произвели революцию в традиционных производственных процессах, обеспечивая весьма значительную экономию затрат и времени [1].

Технология СЛП позволяет создавать трехмерные изделия путем воздействия энергии лазера на тонкий слой порошка. Путем сканирования лучом лазера площади поперечного сечения требуемой формы, частицы порошка расплавляются и соединяются в тонкую пластину. Нанося очередной слой порошка поверх ранее полученного слоя и повторяя процесс сканирования, создаются последующие слои приплавлением до тех пор, пока не будет сформирована деталь требуемой геометрии, описанной в исходной трехмерной твердотельной САД-модели [2]. Не сплавленный порошок, выходящий за зону геометрии детали, применяется повторно. Л.К. Ардила, Ф. Гарсиандия и др. [3] и В. Сейда и др. [4] также отметили еще одно важное преимущество СЛП – возможность повторного использования материала. Они установили, что после применения порошка от 12 до 14 раз не происходит существенных изменений в свойствах порошка и полученных деталей.

К другим экологическим показателям процесса СЛП относятся снижение выбросов, поскольку требуется меньшее количество сырья, возможность проектирования облегченных конструкций. С учетом весьма быстрого развития и улучшения технологических возможностей метод СЛП является технологией будущего.

Одним из распространенных алюминиевых сплавом в СЛП является сплав системы Al-Si-Mg, близкий к эвтектическому составу. Он обладает хорошими литейными свойствами, связанными с небольшим изменением объема при затвердевании во время СЛП, делая его пригодным для производства изделий сложной формы и малой толщины изделия с улучшенными механическими свойствами. Процесс изготовления детали влияет на механические свойства, поэтому правильно подобранные режимы способствуют получению изделий с весьма высокими механическими свойствами. В своей работе М. Энтони Ксавиор и его соавторы [5] доказали, что скорость сканирования в процессе СЛП имеет большое значение для определения окончательных микроструктурных и прочностных свойств готового изделия. В качестве исходного материала взяли предварительно подготовленный порошок Al-Si-Mg, применили S-образную стратегию сканирования при шаге сканирования 150 мкм, мощность лазера составила 100 Вт, диаметр лазерного пятна поддерживали на уровне 100 мкм, скорость сканирования 200 мм/с, 500 мм/с и 600 мм/с. Образец, полученный СЛП при скорости сканирования 200 мм/с имел самую высокую относительную плотность 94,7 % без микропор и макропор. При уменьшении удельной энергии за счет увеличения скорости сканирования до 500 мм/с на поверхности появлялись заметные поры и микротрещины, а относительная плотность снизилась до 91,8 %. СЛП при скорости сканирования 600 мм/с привело к получению образца с более низкой относительной плотностью 93,8 % и поверхностью с заметными микропорами, поверхностными микротрещинами и «замочными скважинами», с заметными дефектами на границах ванны расплава. У образца, полученного со скоростью сканирования 200 мм/с, зафиксировано значение микротвердости  $122 \pm 4,4$  HV, тогда как у образца, изготовленного со скоростью сканирования 500 мм/с значение микротвердости  $135 \pm 4,7$  HV. При скорости сканирования 500 мм/с подводимая энергия значительно снижается, что приводит к более высокой скорости охлаждения, в результате чего достигается меньший диаметр зерна, что хорошо согласуется с механизмом упрочнения за счет измельчения зерен. А у Несмы Т. Абулхаир, Лана Маскери и др. [6] плотность готового образца составила  $125 \pm 1$  HV. Образцы были изготовлены при мощности лазера 200 Вт, скорости лазерного сканирования около 570 мм/с, шага сканирования 130 мкм, толщины слоя 25 мкм и стратегии сканирования в шахматном порядке.

Цянь Ян, Бо Сун и др. [7] провели процесс СЛП с использованием мощности лазера 300 Вт и скорости сканирования 1200 мм/с в защитной атмосфере аргона (Ar). Толщина слоя 30 мкм, шаг сканирования 140 мкм. Подложку предварительно нагревали до 100 °С, чтобы уменьшить внутреннее напряжение и деформацию в процессе быстрого охлаждения. Плотность образца в данном случае, измеренная методом Архимеда, достигла  $2,64$  г/см<sup>3</sup>. В работе Яосян Гэна, Цин Вана и др. [8] образцы были получены на следующих режимах: диаметр лазерного луча и шаг сканирования 100 мкм, толщина слоя составляла 30 мкм. Направление сканирования изменялось на 67° от слоя к слою. Мощность лазера устанавливалась на 200 Вт и 300 Вт. Скорость сканирования варьировали в диапазоне 800–1600 мм/с. Наибольшая плотность –  $2,687$  г/см<sup>3</sup> была получена у образца, изготовленного при скорости сканирования 1200 мм/с, мощности лазера 200 Вт.

У Муниш Кумар Гупта и др. [9] в качестве исходного материала использовался сплав Al-Si-10Mg. Форма используемых частиц была почти сферической с размером частиц в диапазоне 10-60 мкм, средним значением 30-35 мкм. Во время процесса сплавления рабочая камера заполнялась чистым аргоном. Для изготовления образцов использовалась стратегия сканирования «островного типа» и «зигзагообразная» с шагом сканирования 200 мкм.

Для изготовления образцов в данной работе использовался поворот направления сканирования на 0°, 45° и 90°. Другие параметры, мощность лазера 200 Вт, скорость сканирования 1000 мм/с и толщина слоя 30 мкм, оставались постоянными на протяжении всего процесса изготовления. При угле поворота слоев 0° плотность составила  $3,45$  г/см<sup>3</sup>, микротвердость – 102 HV, при угле поворота слоя 45°: плотность –  $2,09$  г/см<sup>3</sup>, микротвердость – 110 HV, при 90°: плотность –  $2,19$  г/см<sup>3</sup>, а микротвердость составила 122 HV.

Анализируя литературу, можно сделать вывод, что оптимальные режимы и основные технологические параметры селективного лазерного плавления играют весьма важную роль в создании изделия. Они влияют на качество сплавления и наличие дефектов в выращенных образцах. Для сплава на основе алюминия системы Al-Si-Mg режимы еще окончательно не установлены. Оптимальные параметры селективного лазерного плавления, с точки зрения повышенных механических свойств, требуют дальнейшего поиска.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–29–01491, <https://rscf.ru/project/22–29–01491>*

Список использованных источников:

1. Olakanmi E.O. A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties / E.O. Olakanmi, R.F. Cochrane, K.W. Dalgarno. – Текст: электронный // Progress in Materials Science. – 2015. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642515000389> (дата обращения 24.04.2023).
2. Nandhakumar R. A process parameters review on selective laser melting-based additive manufacturing of single and multi-material: Microstructure, physical properties, tribological, and surface roughness / R. Nandhakumar, K. Venkatesan. – Текст: электронный // Materialstoday Communications. – 2022 – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492823002283> (дата обращения 24.04.2023).
3. Effect of IN718 Recycled Powder Reuse on Properties of Parts Manufactured by Means of Selective Laser Melting / L.C. Ardila, F. Garcíandia, J.B. González-Díaz [et al.]. – Текст: электронный // Physics Procedia. – 2014. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389214002971> (дата обращения 24.04.2023).
4. Investigation of Aging Processes of Ti-6Al-4 V Powder Material in Laser Melting / V. Seyda, N. Kaufmann, C. Emmelmann. – Текст: электронный // Physics Procedia. – 2012. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389212025849> (дата обращения 24.04.2023).
5. Selective laser melting of Al–Si–10Mg alloy: microstructural studies and mechanical properties / P. Ashwath, M. Anthony Xavier, Andre Batako, P. Jeyapandiarajan. – Текст: электронный // Journal of Materials Research and Technology. – 2022. – URL : <https://ezproxy.lib.tpu.ru:2059/science/article/pii/S221478532202819X> (дата обращения 24.04.2023).
6. The microstructure and mechanical properties of selectively laser melted AlSi10Mg: The effect of a conventional T6-like heat treatment / Nesma T. Aboulkhair, Ian Maskery, Chris Tuck [et al.]. – Текст: электронный // Journal of Materials Science and Engineering. – 2016. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509316304890> (дата обращения 24.04.2023).
7. Qian Yan Comparative study of performance comparison of AlSi10Mg alloy prepared by selective laser melting and casting / Qian Yan, Bo Song, Yusheng Shi. – Текст: электронный // Journal of Materials Science and Technology. – 2020. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1005030219304244> (дата обращения 24.04.2023).
8. Microstructural evolution and strengthening mechanism of high-strength AlSi8.1Mg1.4 alloy produced by selective laser melting / Yaoxiang Geng, Qing Wang, Yingmin Wang [et al.]. – Текст: электронный // Materials Design. – 2022. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127522002957> (дата обращения 24.04.2023).
9. Impact of layer rotation on micro-structure, grain size, surface integrity and mechanical behaviour of SLM Al-Si-10Mg alloy / Munish Kumar Gupta, Anil Kumar Singla, Hansong Ji [et al.]. – Текст: электронный // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420314915> (дата обращения 24.04.2023).

#### ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА КОМПОНЕНТОВ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ СИСТЕМЫ Al-Si-Mg НА ПОРИСТОСТЬ ОБРАЗЦОВ ПРИ СЛП

*Е.А. Ибрагимов, к.т.н., ст. преподаватель, Н.А. Сапрыкина, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета,*

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

*E-mail: egor83rus@tpu.ru*

**Аннотация:** В работе экспериментальным путем показано влияние размера частиц основного компонента порошковой композиции на плотность формируемого сплава системы Al-Si-Mg в процессе селективного лазерного плавления. Приведены рекомендации по режимам СЛП для формирования плотной структуры формируемого изделия.

**Ключевые слова:** Селективное лазерное плавление, пористость, технологический режим, порошок.

**Abstract:** The paper experimentally shows the influence of the particle size of the main component of the powder composition on the density of the formed alloy of the Al-Si-Mg system in the process of selective laser melting. Recommendations on SLM regimes for forming a dense structure of the product being formed are given.

**Keyword:** Selective laser melting, porosity, technological regime, powder.

В процессе поиска оптимальных режимов сплавления методом селективного лазерного плавления (СЛП) порошковых сплавов и однокомпонентных порошковых композиций в качестве критериев оптимальности принимают: пористость, шероховатость поверхности, правильность заданной геометрии образцов, получение сплава заданного химического состава, полноту растворения компонентов порошка и т.п. [1–3].

Для поисковых экспериментов по определению оптимальных режимов СЛП наиболее приемлемым критерием является пористость образцов, так как для ее определения не требуется трудоемких работ и специализированного оборудования. Помимо критерия оптимальности необходимо понимать, какие факторы оказывают наибольшее влияние на процесс СЛП. В работах [4–6] авторы отмечают, что наибольшее влияние оказывают мощность лазерного излучения и скорость сканирования, однако не менее существенный вклад вносит и подготовка порошкового материала.

Целью данной работы является оценка влияния размера частиц порошка, скорости сканирования на пористость формируемых образцов при СЛП. В качестве порошкового материала готовилась смесь из однокомпонентных порошков Al, Si и Mg в массовом соотношении 91/8/1 % соответственно. При этом размер частиц порошков Si и Mg составил < 20 мкм, порошок Al имел фракционный состав от < 20 до > 100 мкм. Распределение фракционного состава алюминиевого порошка представлено на рис. 1.

Из полученных образцов изготавливались шлифы на глубине от верхнего слоя порядка 0,4 мм. По оптическим изображениям поверхности шлифа определялась пористость. Для исключения неравномерности распределения пористости по площади образца, изображения делались по девяти точкам поверхности шлифа, затем пористость определялась как средняя по результатам всех изображений. Схема съемки и результаты изображения поверхности шлифов для нескольких образцов представлены на рис. 2.

По результатам экспериментов видно, что фракционный состав основного компонента порошковой смеси оказывает существенное влияние на пористость в образцах. Из графиков на рис. 3. видно, что предварительная выборка фракции алюминия в диапазоне 20–64 мкм позволяет уменьшить пористость более чем в три раза на всех режимах СЛП.

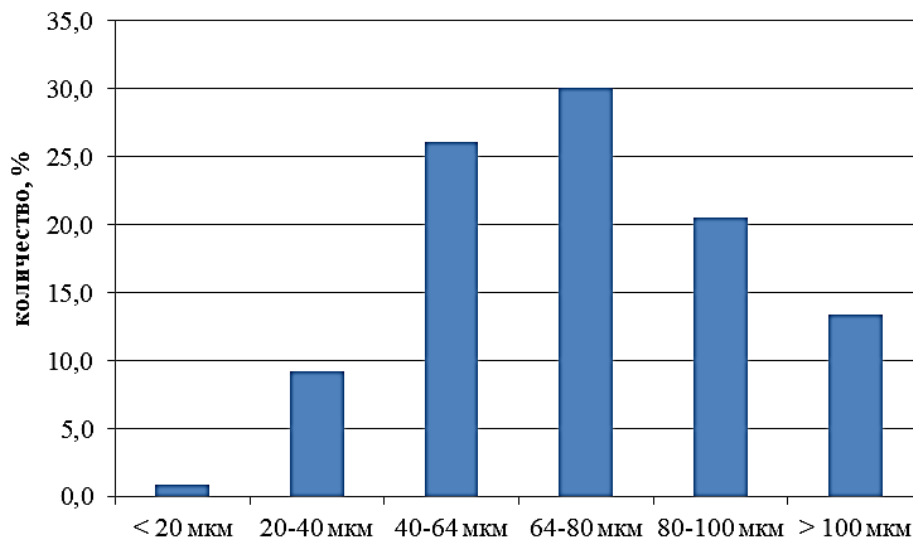


Рис. 1. Распределение фракционного состава алюминиевого порошка

При анализе влияния скорости сканирования наблюдается некоторая закономерность изменения пористости для обоих случаев порошков. Так в диапазоне скоростей от 225 до 275 мм/с наблюдается значительное уменьшение пористости. При дальнейшем увеличении скорости сканирования пористость вновь возрастает. Этот эффект также проявляется еще на стадии СЛП – образцы при скоростях 300 мм/с вспучиваются и частично отрываются от подложки. Вероятнее всего данный эффект связан с недостаточным энерговыделением лазерного излучения и плохим сплавлением слоев как к подложке так и между собой.

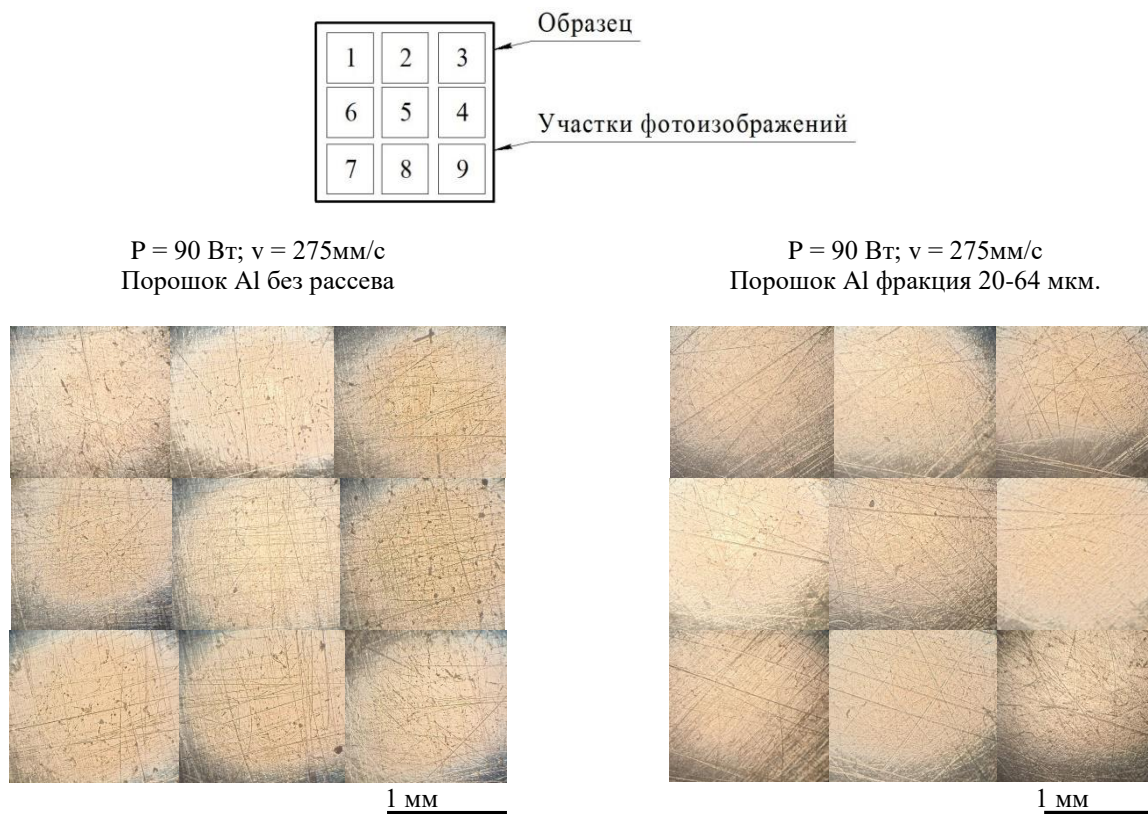


Рис. 2. Схема съемки и результаты изображения поверхности шлифов для нескольких образцов

Проведены измерения пористости всех образцов, результаты которых представлены на рис. 3.

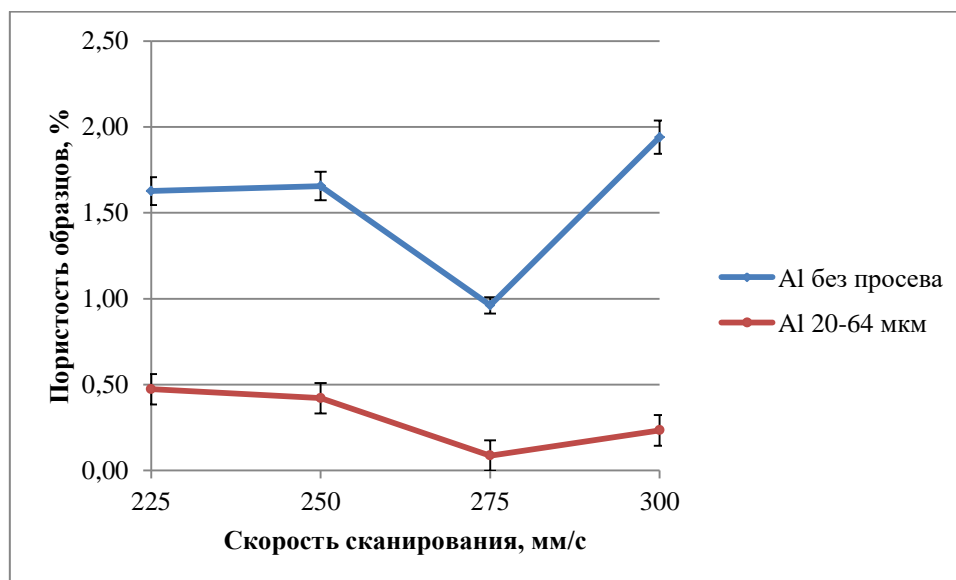


Рис. 3. Изменение пористости образцов от скорости сканирования



В результате проведенного экспериментального исследования отмечены следующие рекомендации по режиму СЛП порошковой смеси системы Al-Si-Mg:

- обязательный предварительный рассев основного компонента порошковой смеси алюминия в диапазоне фракций 20-64 мкм;
- смешивание порошков в шаровой мельнице только в защитной среде аргона;
- мощность непрерывного лазерного излучения должна составлять не менее 90 Вт;
- скорость сканирования поверхности лазерным лучом должна быть в диапазоне 275 мм/с.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–29–01491, <https://rscf.ru/project/22–29–01491>*

Список использованных источников:

1. Printability of alloys for additive manufacturing / T. Mukherjee, J.S. Zuback, A. De, T. DebRoy // Nature Sci Rep. – 2016. – 6. – P. 19717.
2. Additive manufacturing of cobalt-based dental alloys: analysis of microstructure and physicomechanical properties / L. Hitzler, F. Alifui-Segbaya, P. Williams [et al.] // Adv Mater Sci Eng. – 2018. – P. 8213023.
3. Влияние режимов селективного лазерного плавления порошков кобальта, хрома и молибдена на пористость образцов. / Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, Ю.П. Шаркеев [и др.] // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов XII Международной научно-практической конференции. – Томск : Изд-во ТПУ, 2021. – С. 6–9.
4. Advances in Laser Additive Manufacturing of Ti-Nb Alloys: From Nanostructured Powders to Bulk Objects / M.A. Khimich, K.A. Prosolov, T.A. Mishurova [et al.] // Nanomaterials. – 2021. – Vol. 11. – iss. 5. – 1159. – 26 P.
5. Влияние режимов селективного лазерного воздействия на пористость образцов из порошков кобальта, хрома и молибдена, полученных методом селективного лазерного плавления / Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, Ю.П. Шаркеев [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 8 (105). – С. 22–28.
6. Conditions for Quality Dimensions in Direct Laser Melting of Copper / N.A. Saprykina, A.A. Saprykin, E.A. Ibragimov, A.A. Saprykin // Key Engineering Materials Scientific Journalю – Zurich: Trans Tech Publication. – 2020. – Vol. 839 : Materials Science, Mechanical Engineering and Energy: Problems and Prospects for Development, MSMEЕ. – 2019. – P. 7–13.

### **СПЛАВ Al-40Sn, ПОЛУЧЕННЫЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ**

*А.Л. Скоренцев<sup>а</sup>, к.т.н., н.с., Н.М. Русин, к.т.н., с.н.с., К.О. Акимов, к.т.н., м.н.с.*

*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения*

*Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)*

*634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-69-62*

*E-mail: <sup>а</sup>skoralexan@mail.ru*

**Аннотация:** Исследовано влияние мощности излучения лазера на структуру и микротвёрдость сплава Al-40Sn, синтезированного методом селективного лазерного сплавления (СЛС) смеси элементарных порошков. Установлено, что с ростом мощности лазера (P) до 110 Вт пористость синтезированных образцов сохраняется на уровне 6 %, и резко снижается при P = 130 Вт. При дальнейшем увеличении P пористость возрастает за счёт выделения водорода в результате восстановления гидроксидов. Микротвёрдость сплава поддерживается на уровне 33 МПа и практически не зависит от мощности лазера. Структура сплава мелкодисперсная, и включения олова не образуют непрерывные прослойки, какие наблюдаются в литом сплаве. Делается вывод о целесообразности дальнейшей разработки технологии СЛС с целью получения антифрикционного материала на основе алюминия.

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав, селективное лазерное сплавление, аддитивные технологии.

**Abstract:** The influence of the laser radiation power on the structure and microhardness of the Al-40Sn alloy synthesized by the method of selective laser melting (SLM) of a mixture of elemental powders has been studied. It has been established that with an increase in the laser power to 110 W, the porosity of the synthesized samples remains at the level of 6 %, and sharply decreases at P = 130 W. With a further increase in P, the porosity increases due to the release of hydrogen as a result of the reduction of hydroxides. The microhardness of the alloy is maintained at 33 MPa and does not depend on the laser power.

The structure of the alloy is finely dispersed, and tin inclusions do not form continuous interlayers, which are observed in the cast alloy. It is concluded that it is expedient to further develop the SLS technology in order to prepare an antifriction material based on aluminum.

**Keyword:** aluminum alloy, selective laser melting, additive technologies.

Введение. Сплавы системы Al-Sn часто используются в качестве антифрикционного материала для подшипников скольжения, в которых добавки олова выполняют функцию твёрдой смазки при граничном и сухом трении [1]. Олово не растворяется в твёрдом алюминии, и при кристаллизации расплава выделяется в виде межзёрнных прослоек, существенно снижающих механические свойства сплава. Поэтому весовое содержание олова в алюминии ограничивают 20 % (ГОСТ 14113–78), несмотря на то, что износостойкость сплавов растёт и при больших его концентрациях до тех пор, пока прослойки олова полностью не разрушат каркас из алюминиевых зёрен. Разбить непрерывную сетку прослоек на отдельные включения за счёт быстрого охлаждения расплава не удаётся даже при литье в охлаждаемые металлические изложницы. При получении сплавов из порошков межзёрненные прослойки также не фрагментируются, но алюминиевые частицы спекаются в непрерывный, способный нести внешнюю нагрузку каркас при концентрации олова до 40 % [2].

Разбить сплошные оловянные прослойки на изолированные частицы в образцах удаётся, например, за счёт их больших деформаций [3, 4] прокаткой, ковкой или экструзией. Механическая прочность и пластичность обработанных сплавов с фрагментированными оловянными включениями возрастает, однако поперечные размеры обжатых образцов сильно сокращаются. Поэтому в подшипниках скольжения сплавы Al-Sn используют в виде тонких покрытий на жёстких вкладышах. Для производства монометаллических подшипников из сплавов Al-Sn их приходится дополнительно легировать и упрочнять твёрдыми частицами, что отрицательно сказывается на обрабатываемости материала давлением и его пластичности.

Из литературы известно, что если сплавы Al-Sn подвергнуть сверхбыстрой закалке, то их структура принципиально отличается от литой [5]. Она становится ультрадисперсной, а твёрдость материала заметно возрастает. Другое дело, что получать таким способом можно только тонкие чешуйки, которые затем необходимо консолидировать в плотный материал, что невозможно сделать без нагрева и, следовательно, укрупнения структуры. Поэтому метод селективного лазерного сплавления (СЛС) с этой точки зрения выглядит перспективным способом производства износостойких антифрикционных подшипников, поскольку в процессе его применения синтезируемый материал испытывает высокие скорости нагрева и охлаждения [6]. Например, полученные методом СЛС эвтектические Al-Si сплавы имели ультрамелкокристаллическую структуру и соответствующие ей хорошие механические свойства [7]. Указанные материалы получались путём лазерного сплавления порошков готовых сплавов, тогда как сплавление порошков разнородных сильно отличающихся физическими свойствами металлов ранее не производилось. С этой точки зрения результаты применения СЛС к смеси порошков Al и Sn представляют определённый научный и практический интерес.

Материалы и методика эксперимента. В работе использовалась смесь порошков Al марки АСД-1 и Sn марки ПО 1, взятых в весовой пропорции 60/40. Смешивание порошков производилось в конусном смесителе в течение четырех часов. Из полученной смеси на SLM 3D-принтере ONSINT AM150 в атмосфере аргона особой чистоты были сформированы образцы кубической формы с поперечным размером 10x10 мм. Толщина нанесённого за один проход слоя (h) составляла  $0,03 \pm 0,009$  мм. Каждый последующий слой порошка наносился через 40 секунд. Всего таких слоёв было 300. Образцы располагались на напечатанных из того же материала подержках, толщиной 2 мм с размером ячеек 2x2 мм.

Все параметры процесса СЛС порошков оставались неизменными: скорость сканирования луча лазера (v) составляла 1200 мм/с, межтрековое расстояние (s) составляло 0,09 мм, диаметр пятна был равен 0,06 мм. Менялась только мощность лазерного пучка (P), которая повышалась с шагом в 20 Вт от образца к образцу в интервале 10 – 190 Вт, и, следовательно, определяющий параметр СЛС – плотность энергии лазера  $E = P/vsh$  [7] зависел только от P.

Полученные образцы разрезались по вертикали, и плоскость разреза полировалась на наждачной бумаге с убывающим размером абразивных частиц, затем на сукне с нанесённой алмазной пастой, содержащей твёрдые частицы менее 1 мкм, и промывалась в спирте.

Исследование структуры и состава поверхности шлифов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO EVO 50 (Zeiss, Германия), имеющего встроенный рентгеновский микроанализатор, предоставленного ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН.

Микротвёрдость ( $H_{\mu}$ ) образцов определялась с помощью прибора ПМТ-3, с нагрузкой на индентор 50 и 100 гс. Величину  $H_{\mu}$  рассчитывали как среднее по 10 отпечаткам. Измерения проводились в средней части образцов. Пористость образцов определялась методом гидростатического взвешивания в воде.

Результаты и их обсуждение. Компоненты сплавов Al-Sn в твёрдом состоянии взаимно не растворяются и сплавы, по сути, являются композитами, чья прочность и пластичность определяется аддитивным вкладом составляющих фаз. В спечённых сплавах дополнительным структурным элементом являются поры, концентрация и форма которых также влияет на механические свойства КМ. Однако и в полученных методом СЛС материалах, несмотря на значительный перегрев ванны расплава, остаточная пористость ( $\eta$ ) также присутствует и является их важной структурной характеристикой. Зависимость её величины в сплаве Al-40Sn от мощности лазерного излучения приведена на рис. 1.

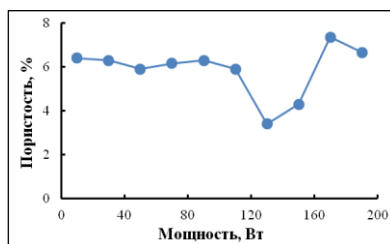


Рис. 1. Влияние мощности лазера на пористость сплава Al-40Sn

Из представленного на рис. 1 графика следует, что  $\eta$  с последовательным увеличением мощности излучения меняется нелинейно: при  $P = 10\text{--}110$  Вт пористость образцов из порошковой смеси остаётся практически постоянной, но при  $P = 130$  Вт наблюдается её резкое снижение до  $\sim 3\%$ . Однако при дальнейшем увеличении  $P$  пористость начинает возрастать также быстрыми темпами и достигает  $7\%$  после облучения материала чистой энергией мощностью  $P = 170$  Вт. В то же время микротвёрдость ( $H_{\mu}$ ) синтезированного при  $P = 130$  Вт материала не отличалась от твёрдости образцов, полученных при соседних значениях  $P$  (рис. 2). Её максимальное значение было у сплава Al-40Sn, полученного при  $P = 10$  Вт, и резко снижалась до  $\sim 330$  МПа при  $P = 30$  Вт и затем при более высоких  $P$  практически не менялась.

Измерения микротвёрдости сплава производились в центральной части образца. При этом старались, чтобы крупные поры не попадали в плоскость отпечатка индентора. То есть, особенности распределения в образцах крупных пор и трещин на измеренную величину  $H_{\mu}$  практически не влияли, и в основном она определялась формирующейся в сплаве микроструктурой. Неизменные значения  $H_{\mu}$  на рис. 2 указывают, что под индентор попадает постоянное количество частиц алюминиевой и оловянной фаз, то есть олово с увеличением мощности лазера и повышением температуры ванны расплава не испарялось, и его исходная объёмная доля сохранялась.

Эти данные подтверждают результаты элементного микроанализа сплава (табл. 1), из которых видно, что соотношение концентраций алюминия и олова в образцах примерно выдерживается постоянным вблизи теоретического значения Al/Sn  $\sim 6,7$ . Наблюдаемые его отклонения вполне коррелируют с присущей порошковой металлургии неравномерностью распределения частиц компонентов в исходной смеси.

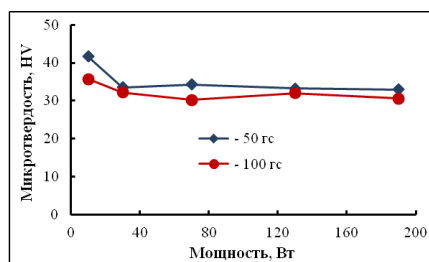


Рис. 2. Влияние мощности лазера на микротвёрдость синтезированного сплава Al-40Sn

Из постоянства  $H_{\mu}$  также можно заключить, что под индентор попадает представительное количество частиц оловянной фазы независимо от мощности лазера, то есть, структура синтезированного методом СЛС сплава очень мелкая и однородная. Отметим, что микротвёрдость алюминиевой матрицы сплава, полученного спеканием данной смеси в вакуумной печи, составляла  $370$  МПа, что совпадало с величиной  $H_{\mu}$  для чистого алюминия, приведённой в работе [8].

Микротвёрдость чистого олова значительно ниже, его  $H_u = 90$  МПа при нагрузке на индентор 50 гс. Согласно правилу аддитивности, рассчитанная твёрдость композита Al-40Sn составляет 314 МПа. Приведённые на рис. 2 значения  $H_u$  близки к расчётной величине, что указывает на малую величину упругих напряжений в образце. Это согласуется с данными работы [9], согласно которой вклад частиц второй фазы в микротвёрдость алюминия при концентрации их от 1 до 8 % ат. незначителен.

На рис. 3 приведена структура сплава Al-40Sn синтезированного при различной мощности луча лазера.

Таблица 1

*Влияние мощности лазера на концентрацию элементов (% ат.) в сплаве Al-40Sn*

Элемент, % ат.	Мощность лазера, Вт									
	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190
O	23,2	8,1	10,4	22,2	23,9	15,1	24,9	19,8	14,5	15,5
Al	67,5	76,9	76,0	65,4	65,7	72,9	64,8	68,4	76,5	72,9
Sn	9,3	15,0	13,6	12,4	10,4	12,0	10,3	11,8	9,0	11,6
Al/Sn	7,2	5,1	5,6	5,3	6,3	6,1	6,3	5,8	8,5	6,3

Видно, что с ростом P структура его закономерно меняется. При малых P размеры треков чётко прослеживаются. Они имеют вытянутую форму, а толщина треков зависит от номера слоя и соответствующего ему угла поворота штриховки. Границы между треками декорированы алюминиевыми прослойками. При P = 90 Вт толщина треков несколько увеличивается за счёт роста размеров жидкой ванны, однако границы между ними всё ещё хорошо видны и декорированы алюминиевыми прослойками, но значительно более тонкими, чем в предыдущем случае. Более длительное пребывание синтезированных слоёв материала при высокой температуре приводит к коалесценции ультрамелких выделений олова вблизи границ треков (рис. 3, второй ряд), где скорость диффузии атомов олова закономерно выше.

Увеличение P до 130 Вт приводит к существенному увеличению толщины жидкой прослойки под ванной расплава. Перемешивание их содержимого приводит к тому, что границы между треками размываются, как и чётко выраженный до этого слоистый вид макроструктуры (рис. 3, 3 ряд). Слоистые выделения алюминия по границам треков также размываются на более короткие включения. Размеры оловянных агломератов при этом ещё возрастают путём диффузионной коалесценции по причине более длительного пребывания затвердевших слоёв при высокой температуре.

Наконец, при величине P = 170 Вт и выше включения олова опять измельчаются. Видимо, это связано с высокой температурой перегрева ванны расплава, когда перемешивание компонентов приводит к гомогенной структуре расплава, и наследованию её при кристаллизации [5]. Вместе с этим, высокая температура расплава приводит к быстрому восстановлению гидроокислов, присутствующих на поверхности алюминиевых порошков, и выделению водорода [7]. Его атомы мигрируют по толстой ванне расплава и сливаются в большие газовые поры. Макроструктура сплава вновь обретает слоистый вид, но он формируется благодаря тому, что кристаллизация гомогенного расплава носит направленный характер и формируется выраженная кристаллическая текстура [10].

Заключение. Из проделанной работы следует, что метод СЛС пригоден не только для синтеза материалов из порошков сплава, но и из смеси элементарных порошков, например, Al и Sn. В процессе СЛС алюминий и олово перемешиваются, образуя однородный материал с микротвёрдостью ~32 МПа. Микроструктура сплава представляет собой алюминиевые дендриты, промежутки между которыми заполнены оловом. Размер оловянных включений растёт с увеличением мощности лазера до 130 Вт и несколько снижается при больших мощностях.

Макроструктура получается наиболее однородной при P = 130 Вт, до этого она имеет слоистый вид, толщина слоёв которой определяется вертикальным размером ванны расплава. Дальнейшие исследования должны быть направлены на уменьшение пористости синтезированных образцов.

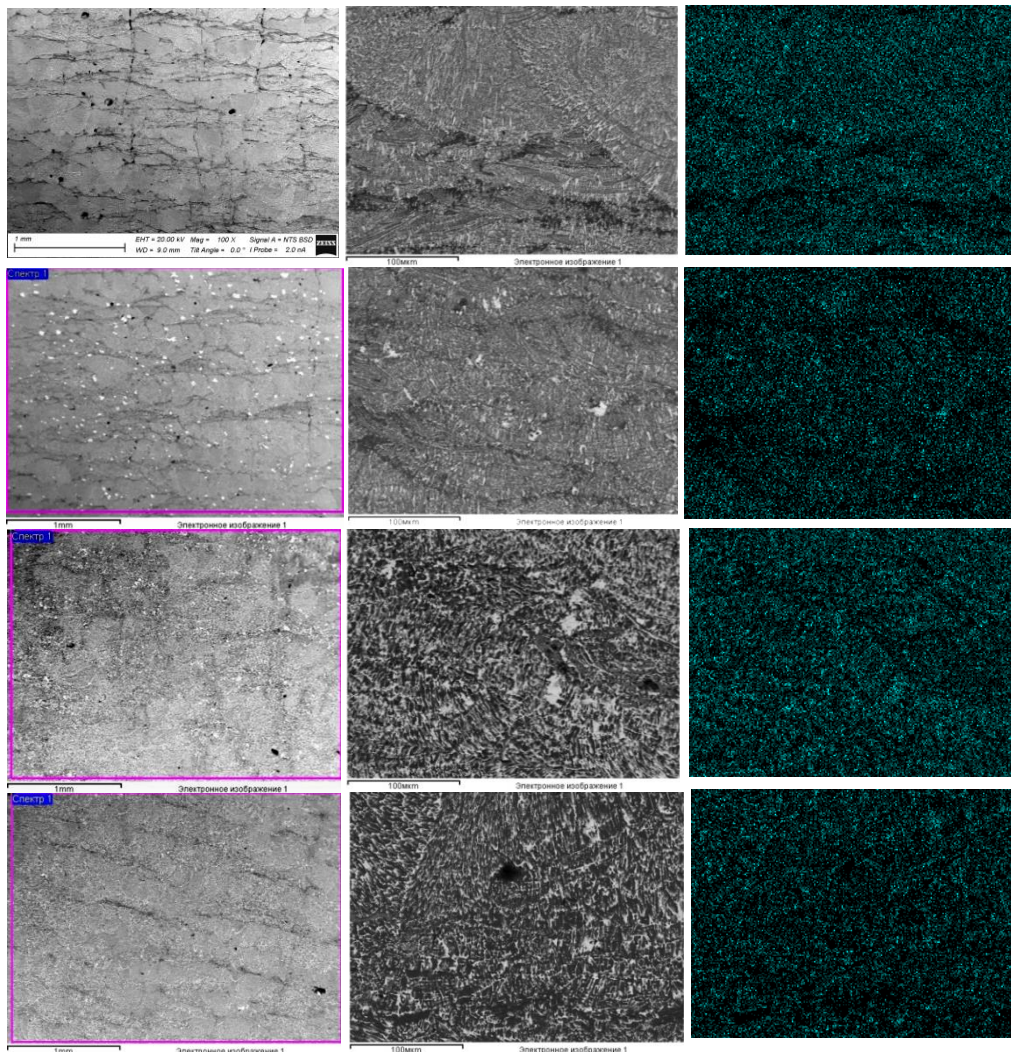


Рис. 3. Макро (левый столбец) и микроструктура сплава Al-40Sn, а также распределение олова в характеристических лучах (правый столбец). Мощность лазера [Вт] (по рядам): 30, 90, 130, 170

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, темы FWRW-2021-0006 и FWRW-2021-0003.

Список использованных источников:

1. Буше Н.А. Подшипники из алюминиевых сплавов / Н.А. Буше, В.А. Двоскина, К.М. Раков. – М.: Транспорт, 1974. – 256 с.
2. Rusin N.M. Relationship between wear resistance under dry friction and mechanical properties of sintered Al–Sn composites / N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, M.G. Krinitsyn // Inorganic Materials: Applied Research. – 2021. – V. 12. – P. 776–784.
3. Noskova N.I. Microstructure and tribological properties of Al-Sn, Al-Sn-Pb, and Sn-Sb-Cu alloys subjected to severe plastic deformation / N.I. Noskova, A.G. Korshunov, A.V. Korznikov // Metal Science and Heat Treatment. – 2008. – V. 50. – P. 593–599.
4. Hernandez O. Microstructural and mechanical behavior of highly deformed Al-Sn alloys / O. Hernandez, G. Gonzalez // Materials Characterization. – 2008. – V. 59. – P. 534–541.
5. Чикова О.А. Влияние перегрева расплава на литую структуру сплавов Al-Sn О.А. Чикова, В.В. Вьюхин, В.С. Цепелев // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2021. – Т. 27. – № 2. – С. 40–48.
6. On productivity of laser additive manufacturing / A.V. Gusarova, S.N. Grigorieva, M.A. Volosova [et al.] // Journal of Materials Processing Technology. – 2018. – V. 261. – P. 213–232.

7. Влияние параметров процесса селективного лазерного сплавления на структуру алюминиевого сплава системы Al-Si-Mg / Н.В. Дынин, А.В. Заводов, М.С. Оглодков, Д.В. Хасиков // Труды ВИАМ. – 2017. – № 10. – С. 3–14.
8. Тульев В.В. Микротвёрдость поверхности алюминия и сплава АК9, модифицированной осаждением покрытий Mo и W в условиях ионного ассистирования / В.В. Тульев, И.С. Ташлыков // Труды БГТУ. – 2016. – № 6. – С. 96–100.
9. Шепелевич В.Г. Структура и стабильность быстрозатвердевшей фольги сплавов системы алюминий–олово / В.Г. Шепелевич, А.И. Грачёв // Вестник БГУ. – 2008. – № 2. – С. 19–21.
10. Шепелевич В.Г. Структура быстрозатвердевших фольг сплавов Al-Bi / В.Г. Шепелевич // Журнал Белорусского государственного технического университета. Физика. – 2022. – № 1. – С. 75–79.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАПЛИ

М.А. Кузнецов<sup>а</sup>, к.т.н., Е.В. Судариков, студент гр. 10А22

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета,  
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,

E-mail:<sup>а</sup> kuznechik85@tpi.ru

**Аннотация:** В работе рассмотрено влияния газа на геометрические параметры капли расплавленного металла, образующейся при получении порошков нано- и микродиапазона. Течение защитного газа, а именно его давление и скорость оказывают прямое влияние на формообразование и размер капли расплавленного металла.

**Ключевые слова:** защитный газ, капля расплавленного металла.

**Abstract:** The paper considers the effect of gas on the geometric parameters of a drop of molten metal formed during the production of nano- and microrange powders. The flow of the protective gas, namely its pressure and speed, have a direct effect on the formation and size of the molten metal drop.

**Keyword:** *shielding gas, a drop of molten metal.*

**Введение.** На сегодняшний день математическое моделирование является мощным средством теоретического решения нелинейных задач почти во всех областях науки и техники. Математическое моделирование облегчило задачу проведения экспериментальных исследований в тех областях, в которых проведение натурального эксперимента имеет очень высокую стоимость и сложность [1–8].

В настоящее время актуальным является вопрос влияния газа на геометрические параметры капли расплавленного металла, образующейся при получении порошков нано- и микродиапазона. Течение защитного газа, а именно его давление и скорость оказывают прямое влияние на формообразование и размер капли расплавленного металла.

Целью работы является исследование влияния газа на формообразование и размер капли расплавленного металла.

Процесс отработки и корректировки режимов лабораторной установки является одной из основных задач получения порошков Т.к. технология получения порошков напрямую зависит от режимов их получения.

Первостепенной задачей отработки режимов являлось установление влияния, введенного в рабочую зону инертного газа на геометрические параметры микронеровностей, образованных и оторванных с поверхности капли расплавленного металла (далее микронеровностей). Схематично капля расплавленного металла, с образовавшимися на поверхности микронеровностями представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Схема капли расплавленного металла

Инструментом для образования капли расплавленного металла, и соответственно микронеровностей на ней служили проволоки различного химического состава и диаметра.

Для проведения исследований было использовано два инертных газа: аргон высшего сорта ГОСТ 10157–2016 (содержание аргона не менее 99,993 %) и гелий марки А ГОСТ 20461–75 (содержание гелия не менее 99,99 %).

Для изучения влияния плазменных потоков от различных инертных газов на геометрические параметры микронеровностей, применяли метод скоростной видеосъемки. При съемке микронеровностей, которые имеют высокую температуру, матрица видеокамеры воспринимает световой поток поверхности плазмы. Поэтому микронеровности, которые находятся в светящемся столбе, остаются невидимыми.

Чтобы сделать микронеровности видимыми необходимо добавить мощное дополнительное освещение, которое размещают за плазменным потоком. Фокусирование источника света, которым является CuVr-лазер, происходит оптической системой линз. Сфокусированный луч, проникая через плазменный поток, дает теневое изображение микронеровностей. CuVr-лазер, плазменный поток и высокоскоростная камера располагаются на одной оси.

Для исследования и изучения геометрических параметров микронеровностей, а также характера отрыва и переноса их в среде плазменного потока инертных газов (аргон и гелий) применялся экспериментальный комплекс (рисунок 2).

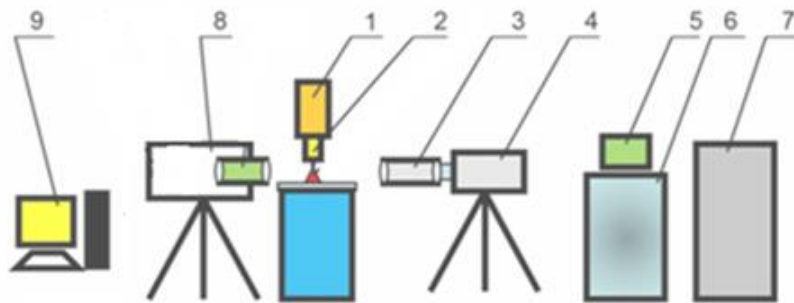


Рис. 2. Схема экспериментального комплекса:

- 1 – установка для генерации капель микро- и нанодиапазона;
- 2 – разработанное сопло плазматрона;
- 3 – система фокусировки высокоскоростной камеры;
- 4 – высокоскоростная камера «Fastec IL5LM4»;
- 5 – цифровой осциллограф «DSO 1012A»;
- 6 – источник питания плазматрона LGK 200;
- 7 – блок автоматического регулирования параметров;
- 8 – CuVr-лазера для создания «теневого» эффекта;
- 9 – персональный компьютер

Для того что бы произвести запуск экспериментального комплекса, необходимо сфокусировать CuVr-лазер и высокоскоростную камеру Fastec IL5LM4. Последовательность запуска экспериментального комплекса состоит в следующем: сначала включается CuVr-лазер, затем цифровая высокоскоростная видеокамера, источник питания, блок автоматического регулирования, компьютер, осциллограф.

Обработка изображений, полученных после высокоскоростной съемки осуществлялась в Sony Vegas. Видеофайлы, полученные по средствам высокоскоростной съемки, разделялись на отдельные кадры. Результаты, которые получены в процессе осциллографирования, обрабатывались в DS\_Wave\_DSO.

Для определения геометрических параметров формируемых микронеровностей был рассмотрен этап, на котором микронеровности уже сформировались, т. е. непосредственно перед отрывом их с поверхности капли расплавленного металла. Получение опытных значений геометрических параметров микронеровностей производилось в несколько этапов. Первый этап заключался в видеосъемке процесса образования микронеровностей на поверхности капли расплавленного металла. На втором этапе происходила разделение видеосъемки на отдельные кадры и ее оцифровка, а также выбор кадра процесса, при котором микронеровности находятся в последней стадии перед отрывом с поверхности капли расплавленного металла. После чего производилось преобразование данного кадра в растровое изображение. Полученное изображение измерялось в десяти плоскостях по оси X и Y, что является необходимым и достаточным для построения адекватной модели.

На основе полученных числовых значений производилось построение плоской фигуры и ее 3D-модели с использованием программного комплекса «Компас 3D» фирмы «Аскон» с последующим расчетом ее геометрических параметров посредством встроенного расчетного алгоритма.

Изображение, полученное при скоростной видеосъемке, помещается в программу «Компас 3D», где при помощи команды «Сплайн», производили визуализацию контура. На этом этапе определяется масштаб построения. На визуализированный контур наносились линии, соответствующие положению будущих секущих плоскостей. При этом первоначально линии наносились в местах изменения направления контура, затем с некоторым интервалом между ними. По полученному изображению определялись диаметры окружностей сечений и положение центра окружности относительно оси. Моделирование геометрических параметров микронеровностей, производили в режиме трёхмерного моделирования в приложении «Компас 3D». Для этого строился ряд параллельных плоскостей, в которых, строились сечения микронеровностей. Далее при помощи функции «По сечениям» строилось объёмное тело, соответствующее форме микронеровности. Производились измерения при помощи предоставляемых «Компас 3D» возможностей, таких как геометрические параметры.

Влияние силовых параметров (сила тока, напряжение) на геометрические параметры микронеровностей, регистрировались при помощи портативного двухканального цифрового осциллографа DSO 1012A.

Анализ осциллограмм тока в цепи и напряжения между электродами показал, что процесс протекает стабильно и в аргоне, и в гелии с применением проволок различного химического состава (стальная проволока – Св-08Г2С, проволока из нержавеющей стали – ОК Autrod 347Si, алюминиевая проволока – ML 1070, медная проволока – ML CuSi3, титановая проволока – BT1-00). Однако геометрические параметры микронеровностей различны.

Различие в геометрических параметрах микронеровностей можно объяснить тем, что во всех случаях состав плазмы дуги был различным, т. е. она горела ни в однородном газе, а в смеси газов и паров различных металлов, которые входят в состав проволоки. Кроме аргона или гелия в плазме дуги присутствуют пары металлов, входящих в состав стальной, нержавеющей, алюминиевой, титановой и медной проволок (Св-08Г2С, ОК Autrod 347Si, ML 1070, ML CuSi3, BT1-00). Также на геометрические параметры микронеровностей оказывает тот факт, что материалы, из которых изготовлены проволоки, имеют различную теплоемкость и текучесть в жидком состоянии.

Обработанные кинограммы процесса позволили установить зависимости между геометрическими параметрами микронеровностей и инертным газом, а также химическим составом проволок. Пример трехмерной модели микронеровности представлен на рисунке 3. После прохождения сопла Лаваля микронеровность приобретает правильную форму близкую к сфере и уменьшается в размере.

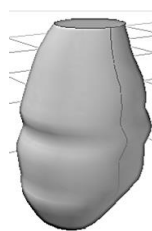


Рис. 3. Трёхмерная модель микронеровностей

#### Выводы:

Установлено, что введение в рабочую зону аргона или гелия и проволок различного химического состава, позволяет получать микронеровности, образованные и оторванные с капли расплавленного металла различного размера. При введении аргона микронеровности приобретают более вытянутую форму, что способствует лучшему отрыву от проволоки. При обработке результатов экспериментальных исследований параметров образования и отрыва микронеровностей с поверхности капли расплавленного металла определялись геометрические параметры.

#### Список использованных источников:

1. Мажукин В.И. Математическое моделирование теплофизических свойств, процессов нагрева и плавления металлов методом молекулярной динамики / В.И. Мажукин, А.В. Шапранов, В.Е. Пережигин // X International Seminar «Mathematical Models & Modeling in Laser-Plasma Processes & Advanced Science Technologies». – 2012. – Vol XXIV. – С. 47–65.



2. Chinakhov D.A. Simulation of Active Shielding Gas Impact on Heat Distribution in the Weld Zone / D.A. Chinakhov, A.V. Vorobjev, A.A. Tomchik // Materials. Science Forum. – 2013. – № 762. – P. 717–721.
3. Chinakhov D.A. Simulation of wind Influence on the thermal processes in gas-shielded welding / D.A. Chinakhov, A.V. Vorobjev, Y.M. Gotovshchik // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – № 682. – P. 91–95.
4. Темлянцев М.В. Моделирование температурных полей и сопротивления деформации в цилиндрических заготовках при нагреве с горячего посада под прокатку / М.В. Темлянцев, В.С. Стариков, В.Г. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2000. – № 6 – С. 51–54.
5. Tashev P. Mathematical Modeling and Optimization of Parameters of the Mode for Tungsten-Inert Gas Remelting with Nanomodification of the Surface Layer / P. Tashev, P. Koprinkova-Hristova, T. Petrov, L. Kirilov, Y.J. Lukarski // Mater. Sci. Technol. – 2016. – 24 (4). – P. 230–243.
6. Peng J. Mathematical model on characteristics of V groove molten pool during MIG welding / J. Peng, L. Yang, J. CIESC. – 2016. – 67 (S1). – P.117–126.
7. Kumar N. 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 / N. Kumar, A. Bandyopadhyay // Lasers Eng. – 2017. – № 36 – P. 225–243.
8. Bilenko G.A. Metallurgist Computer Simulation in Developing the Technology of Welding High-Tensile Steel Sheets / G.A. Bilenko, R.U. Khaibrakhmanov, Y.S. Korobov. – 2017. – № 61. – P. 265–270.

#### СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Д.П. Ильященко<sup>1,2,a</sup>, к.т.н, доц., Е.В. Лаврова<sup>3</sup>, д.т.н., проф., Н.В. Гутов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4

<sup>3</sup>Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, ул. Университетская 7

<sup>4</sup>ООО Газпром трансгаз Томск, 634029, г. Томск, пр. Фрунзе, д.9

E-mail: <sup>a</sup>mita8@tpu.ru

**Аннотация:** В данной статье произведена оценка количественных показателей сварочно-технологических свойств источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами и технологическими показателями, регламентируемыми действующими стандартами в их оценке.

**Ключевые слова:** стабильность, источник питания, покрытые электроды, диодный выпрямитель.

**Abstract:** This article assesses the quantitative indicators of the welding and technological properties of power supplies for manual arc welding with coated electrodes and technological indicators regulated by the current standards in their assessment. «»

**Keywords:** stability, power supply, coated electrodes, diode rectifier.

В России с каждым годом увеличивается количество сварных конструкций изготавливаемых из сталей с особыми эксплуатационными свойствами, требующие применение специализированного оборудования, реализующего оптимальные термические циклы сварки [1, 2], что требует применения нового поколения источников питания, обладающих более высокими статическими и динамическими характеристиками [3].

Цель исследований: Оценка количественных показателей сварочно-технологических свойств источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами и технологическими показателями, регламентируемыми действующими стандартами в их оценке.

Методика и техника эксперимента: Для устранения выше приведенного недостатка, была разработана методика количественной оценки сварочно-технологических характеристик [4]. В качестве основных источников питания были выбраны: источник питания, изготовленный по классической схеме сварочного выпрямителя – типа ВД-306Э (диодный выпрямитель) и источники питания инверторного типа: «ARC 250» (WS Weldeship); «Ресанта: САИ 250 ПРОФ»; «Fubag INTIG 200 SYN PLUS». Перечисленные источники питания отличаются своими динамическими и статическими характеристиками, определяемыми в соответствии с внешними характеристиками. Динамические свойства источников питания можно оценить исходя из анализа осциллограмм тока и напряжения на дуге (рисунок 1). Начальное зажигание дуги (первое свойство сварочно-технологических параметров по ГОСТ 25616–83) у инверторных источников питания не вызывает затруднения так как они все оборудованы функцией HOT START, данная функция у других типов источников питания отсутствует.

Стабильность горения дуги (второе свойство по ГОСТ 25616–83). Инверторные источники питания обеспечивают более высокий уровень стабильности процесса горения дуги по сравнению с диодным выпрямителем [5, 6].

Относительно величины разбрызгивания электродного металла (третье свойство по ГОСТ 25616–83), можно утверждать, что оно, в полной мере соответствует ранее установленному эффекту [7], и в полной мере связано с показателями стабильности процесса сварки. Чем выше нестабильность процесса горения дуги и переноса электродного металла в сварочную ванну, тем больше величина разбрызгивания.

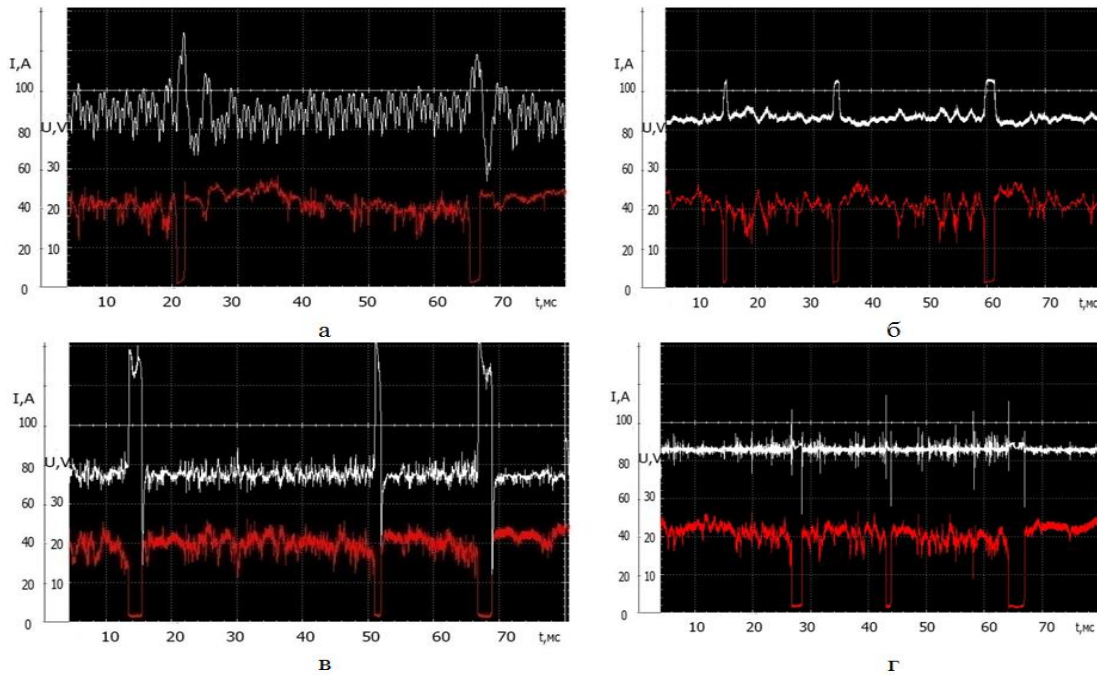


Рис. 1. Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (электроды марки УОНИ 13/55, диаметром 3 мм):  
а – ВД-306Э; б – «ARC 250» (WS Weldeship); в – «Ресанта: САИ 250 ПРОФ»;  
г – «Fubag INTIG 200 SYN PLUS»

Вывод:

Для объективной оценки стабильности горения дуги, качества переноса электродного металла и формирования сварного шва, как основных показателей сварочно-технологических свойств источников питания, реализующих высокочастотное преобразование энергии, необходимо пересмотреть параметры согласно ГОСТ 25616–83, а также критерии оценки этих параметров согласно ГОСТ 25616–83, так как они не позволяют объективно судить о достоинствах и недостатках применяемых источников питания.

Список использованных источников:

1. The Effect of Welding Mode Parameters on the Operational Properties of Flexible Compensating Elements Made of Austenitic Stainless Steels / V.P. Ivanov, E.V. Lavrova, F.V. Morgay [et al.] // Metals. – 2023. – Vol. 13. – iss. 2.
2. Анализ рынка сварочных аппаратов в России. – 2021. Показатели и прогнозы. URL : <https://marketing.rbc.ru/research/46607/> (дата обращения 12.04.2023).
3. Крампит А.Г. Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки / А.Г. Крампит, Е.А. Зернин, М.А. Крампит // Технологии и материалы. – 2015. – № 1. – С. 4–11.
4. Piyashchenko D.P. Effect of Protective Coatings in Welded Constructions on Welding Stability and Electrode Metal Transfer into a Weld Pool in MMA / D.P. Ilyashchenko, D.A. Chinakhov, E.V. Verkhoturova, R.A. Mamadaliev // Solid State Phenomena. – 2020 – Vol. 303. – P. 32–38.

5. P'yashchenko D.P. Mathematical Formula to Determine Geometrical Dimensions of Electrode Metal Droplets Transferred with Short Circuits / D.P. P'yashchenko, D.A. Chinakhov, K.Y. Kirichenko, V.N. Sydorets // Materials Science Forum. – 2018 – Vol. 938. – P. 1–6.
6. Оценка сварочных свойств оборудования с инверторными источниками питания по энергетическим характеристикам / Э.А. Гладков, А.А. Юшин, Р.А. Перковский, С.А. Мымриков, В.Н. Бродягин // Сварка и диагностика. – 2011. – № 1. – С. 31–35.
7. P'yashchenko D.P. Determination of metal losses through splashing using different power sources / D.P. P'yashchenko, E.A. Zernin // Welding International. – 2011. – 25 (1). – P. 69–72.

#### ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВ МИКРОДИАПАЗОНА

*М.А. Кузнецов<sup>а</sup>, к.т.н., Е.В. Судариков, студент гр. 10А22*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета,  
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: [kuznechik85@tpi.ru](mailto:kuznechik85@tpi.ru)*

**Аннотация:** В данной работе представлены результаты отработки режимов получения порошков микродиапазона из сварочных проволок различного химического состава и диаметров. В процессе экспериментальных исследований были получены порошки из стальных проволок со средним размером частиц 50–100 мкм и порошки из проволок цветных металлов со средним размером частиц 100–500 мкм.

**Ключевые слова:** порошки, режимы, проволока, химический состав.

**Abstract:** This paper presents the results of testing the modes of obtaining microrange powders from welding wires of various chemical compositions and diameters. In the course of experimental studies, powders were obtained from steel wires with an average particle size of 50–100 microns and powders from non-ferrous metal wires with an average particle size of 100–500 microns.

**Keyword:** powders, modes, wire, chemical composition.

Введение. В последние годы, наука о материалах в основном сосредоточена на разработке порошков микро – и нанодиапазона сферической формы. Главным преимуществом этих материалов является их применение в различных областях промышленности, так как их структура дает улучшенные свойства материалов, таких как твердость, прочность и пластичность. Данный факт говорит о том, что на данный момент актуален вопрос по улучшению уже существующих способов получения порошков, а также по разработке новых [1, 2, 3].

Целью данной работы является отработка режимов получения порошков микродиапазона по разработанному способу [4, 5].

Для осуществления отработки режимов был произведен ряд лабораторных экспериментов, т. е. были установлены оптимальные режимы для проволок различного диаметра и химического состава.

Отработка режимов производилась на следующих видах проволок:

- сварочная проволока из низкоуглеродистой, низколегированной стали – Св-08Г2С диаметром 1,2 мм;
- сварочная проволока из стали аустенитного класса – ОК Autrod 347Si диаметром 0,8 мм;
- сварочная проволока из алюминия – ML 1070 диаметром 1,2 мм;
- сварочная проволока из меди – ML CuSi3 диаметром 1 мм;
- сварочная проволока из титана – ВТ1-00 диаметром 1,2 мм.

Основные параметры режимов получения порошков микродиапазона из сварочных проволок изменялись в следующих диапазонах: сила тока  $I_{св} = 40–200$  А, давление плазмообразующего газа  $p_{пл} = 0,5–0,9$  атм., скорость подачи проволоки  $v_{св} = 20–80$  мм/с.

Процесс отработки режимов осуществлялся следующим образом. Катушка с проволокой необходимого диаметра и химического состава устанавливалась на лабораторную установку, включался источник питания плазмотрона и компрессор, на источнике питания плазмотрона устанавливалась необходимая сила тока, далее открывался баллон с инертным газом, на редукторе которого устанавливалось необходимое давление плазмообразующего газа, затем включался охладитель сопла плазмотрона. На источнике питания плазмотрона нажималась кнопка пуск и загоралась дежурная дуга. Далее запускался механизм подачи проволоки, на котором устанавливалась необходимая скорость подачи проволоки (в экспериментах рассматривали два вида подачи проволоки: с постоянной скоростью и импульсная). После того когда проволока достигала сопла плазмотрона загоралась основная дуга.

Если проволока двигалась с постоянной скоростью, то дуга горела постоянно, если проволока двигалась импульсно, то основная дуга при движении проволоки загоралась, а при остановке проволоки тухла. В результате данных действий в уловителе частиц конденсируются порошки.

Обработка режимов начиналась с минимальных значений, т. е.  $I_{св} = 50$  А (интервал варьирования 40 А),  $\rho_{пт} = 0,5$  атм. (интервал варьирования 0,1 атм.),  $v_{св} = 20$  мм/с (интервал варьирования 20 мм/с).

Лабораторные исследования заключались в определении оптимальных параметров режима получения порошков микронного диапазона из сварочных проволок различного химического состава и диаметра.

При получении порошков нано- и микродиапазона для чистоты эксперимента на каждую проволоку проводилось 125 лабораторных экспериментов. Итого было проведено 625 экспериментов по обработке режимов.

Обработка и корректировка режимов технологии получения частиц в лабораторных условиях производилась по методике полнофакторного эксперимента.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась методами дисперсионного и регрессионного анализов, с использованием пакетов Microsoft Office Excel. Путем обработки статистических данных сравнительных лабораторных исследований получили численные значения параметров процесса генерации капель микронного диапазона.

Для получения порошков нано- и микродиапазона из проволок различного диаметра и химического состава были получены режимы. Результаты лабораторных экспериментов представлены в таблице 6.

Таблица 6

*Режимы получения порошков*

Проволока	Сила тока, А	Давление плазмообразующего газа, атм.	Скорость подачи проволоки, мм/с
Св-08Г2С, диаметр 1,2 мм	80	0,8	20
ОК Autrod 347Si, диаметр 0,8 мм	80	0,7	20
ML 1070, диаметр 1,2 мм	50	0,6	80
ML CuSi3, диаметр 1 мм	60	0,6	40
BT1-00, диаметр 1,2 мм	50	0,6	60

В результате проведения экспериментальных исследований были получены порошки с различной формой и размерами. Порошки, которые были получены из низкоуглеродистой, низколегированной стали и из стали аустенитного класса имеют сферическую форму и средний размер частиц 50–100 мкм (рисунок 1).



а

б

*Рис. 1. Оптическая микроскопия стальных частиц:*

*а – частица из стальной проволоки, б – частица из стальной нержавеющей проволоки*

Частицы порошков, которые были изготовлены из алюминиевой, титановой, медной проволок, имеют не правильную форму и размер 100–500 мкм (рисунок 2).

Для дальнейшего использования порошков, которые имеют неправильную форму, сильно отличающую от сферической, необходим процесс сфероидизации.

Разработанная конструкция сопла плазмотрона не позволяет получать порошки сферической формы из всех существующих металлов, потому что все металлы имеют различные теплофизические свойства. В зависимости от теплофизических свойств металлов необходимо модернизировать конструкцию сопла плазмотрона, т. е. изменить некоторые параметры.

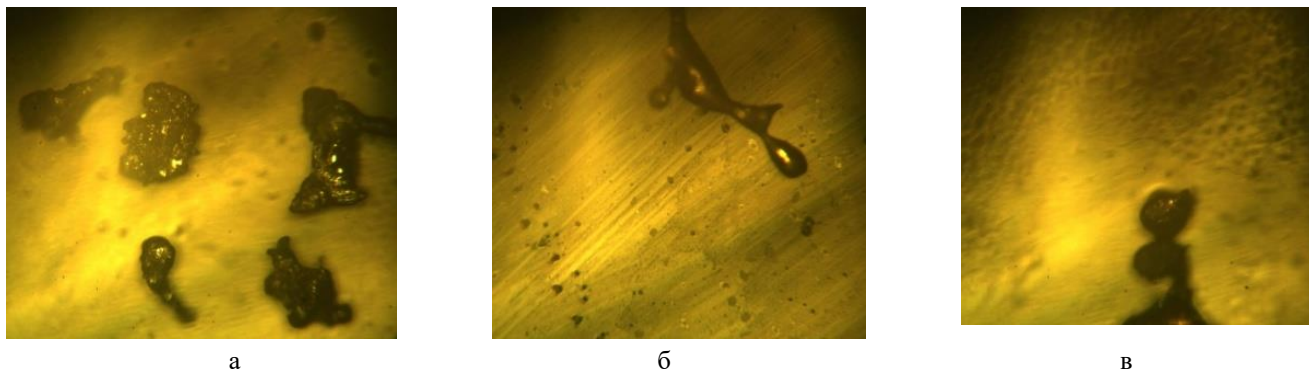


Рис. 2. Оптическая микроскопия частиц из цветных металлов:

а – частица из алюминиевой проволоки, б – частица из медной проволоки, в – частица из титановой проволоки

**Выводы:**

1. Оработаны режимы получения порошков микронного диапазона из сварочных проволок различного химического (из низкоуглеродистой, низколегированной стали; из стали аустенитного класса; из алюминия; из меди; из титана) состава и диаметра (0,8 мм, 1 мм, 1,2 мм).
2. Получены порошки из низкоуглеродистой, низколегированной стали и из стали аустенитного класса сферической формы и средним размером частиц 50–100 мкм.
3. Получены порошки из алюминиевой, титановой, медной проволок с формой, отличающейся от сферической, со средним размером частиц 100–500 мкм.

**Список использованных источников:**

1. Paton В.Е. Application of nanotechnology of permanent joining of advanced light-weight metallic materials for aerospace engineering / В.Е. Paton, А.Ya. Ishchenko, А.И. Ustinov // The Paton Welding Journal. – 2008. – Vol. 12. – P. 2–8.
2. Pal K. Dynamic application of novel electro-optic switchable device modulation by graphene oxide dispersed liquid crystal cell assembling CdS nanowires / K. Pal, М.М. Mohan, S. Thomas // Organic Electronics: physics, materials, applications. – 2016. – Vol. 39. – P. 25–37.
3. Reisgen U. Nanophase hardfacing new possibilities for functional surfaces / U. Reisgen, В. Balashov, L. Stein, C. Geffers // Materials Science Forum. – 2010. – Vol. 638–642. – P. 870–875.
4. Development of Executive Equipment Design for Implementing the Process of Generating of Drops of Micro- and Nanoscale Range / М.А. Kuznetsov, D.P. Пjyashchenko, А.В. Kryukov [и др.] // Devices and Methods of Measurements. – 2021. – Vol. 12. – №. 1. – P. 38–45.
5. Study of the Effect of Shielding Gas on the Plasma Flow of an Electric Arc and on the Droplet of a Molten Metal / М.А. Kuznetsov, S.A. Solodsky, А.В. Kryukov [и др.] // Plasma Physics Reports. – 2021 – Vol. 47 – №. 1. – P. 100–104.

**IMPROVING THE ACCURACY OF MODELING SURFACE ROUGHNESS PROFILES  
WITH REGULAR MICRORELIEF**

V.E. Ovsyannikov<sup>1,a</sup>, Candidate of Technical Sciences, assistant professor, R.J. Nekrasov,<sup>1c</sup>  
D.P. Il'yaschenko<sup>2,3 b</sup>, Candidate of Technical Sciences, assistant professor, A.S. Gubenko<sup>1</sup> student

<sup>1</sup>Tyumen Industrial University, 625000, Tyumen, st. Volodarskogo, 38

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University 634050, Tomsk, Lenin Ave. 30

<sup>3</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
634055, Tomsk, prosp. Academic, 2/4

E-mails: <sup>a</sup> vik9800@mail.ru, <sup>b</sup> mita8@tpu.ru

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются вопросы повышения точности моделирования профиля шероховатости поверхности при регулярном характере микрорельефа. В качестве исходных данных для рассмотрения взяты поверхности, обработанные чистовой токарной обработкой и алмазным заглаживанием с жесткой фиксацией индентора. Модель шероховатости поверхности основана на использовании методологического аппарата фрактальной геометрии.

Построение модели основано на использовании алгоритма случайного сложения. Исходными данными являются фрактальная размерность профиля и параметры закона распределения. Показано, что использование традиционных законов распределения случайных величин: нормального (Гаусса), Рэля и Вейбуля не позволяет получить требуемую точность моделей.

**Ключевые слова:** шероховатость, моделирование, точность, закон распределения, критерии приемлемости.

**Abstract:** This article discusses the issues of improving the accuracy of surface roughness profile modeling in case of regular microrelief character. As initial data for consideration, surfaces treated with finishing turning and diamond smoothing with rigid fixation of the indenter are taken. The surface roughness model is based on the use of the methodological apparatus of fractal geometry.

The construction of the model is based on the use of a random addition algorithm. The source data is the fractal dimension of the profile and the distribution law parameters. It is shown that the use of traditional laws of distribution of random variables: normal (Gauss), Rayleigh and Weibul does not allow obtaining the required accuracy of models.

**Keywords:** roughness, modeling, accuracy, distribution law, acceptance criteria.

#### Introduction

Surface roughness is a normalized indicator and the most commonly used characteristic of surface quality. In most cases, the surface roughness in design and technological documents is required only to the height parameters of roughness: either the arithmetic mean deviation of the profile (Ra, microns), or the roughness of 10 points (Rz, microns). However, these values do not fully characterize the surface profile. In general, it should be said that the problem of describing the surface roughness has not been completely solved to date. Fundamentally, two approaches are used to solve this problem. The first approach can be called parametric [1]. He assumes that the description of the surface roughness is realized by using some system of numerical parameters. The second approach [2], in order to characterize the surface roughness profile, operates with such categories as the distribution of tangents of the angles of inclination of the sides of the profile, the height distribution function of the profile, the function that describes the reference curve, etc.

The most widely used in domestic practice is the assessment of surface roughness using parameters that are regulated by GOST 2789. This regulatory document assumes the use of both altitude parameters (Ra, Rz, Rmax), and step (S, Sm) and reference (tp). In addition, the standard provides for the possibility of specifying the features of the profile geometry (for example, the direction of irregularities). However, only a qualitative assessment of these aspects of the profile is possible.

The international standard ISO 4281/1–1984 expands the set of parameters for assessing surface roughness, prescribing not only scale factors, but also quantitative parameters of the shape and location of irregularities. For these purposes, the values of the arithmetic mean slope of the irregularities are used  $\Delta_q$  and the root-mean-square slope of the irregularities  $\Delta_q$ . These parameters are determined by the following calculated dependencies:

$$\Delta_q = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right)^2}$$

$$\Delta_a = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right|,$$

where  $x$ ,  $y$  are, respectively, the abscissa and ordinate of points on the curve of the surface profilogram.

In general, we can say that today more than 50 parameters are used to characterize the surface roughness. A common disadvantage of the parametric approach to the description of surface roughness is that no parameter system provides an exhaustive description of the profile, and in addition, the parametric approach is not applicable to solving a number of design problems (for example, studies of tightness, contact interaction, etc.).

One of the first studies regarding the description of surface roughness by means of a nonparametric approach were carried out in the works of V.A. Zhuravlev and Greenwood [3]. At the same time, it was assumed that the altitude values of the microprofile have, obey the normal distribution law. This approach was further developed in the works of the scientific school under the leadership of Yu.R. Wittenberg [4], where correlation functions were used to characterize the surface roughness. In this case, the roughness parameters can be obtained from the relations of the form:

$$R_a = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \times K(0)$$

$$R_q = \sqrt{K(0)},$$

where  $K(0)$  is the value of the autocorrelation function of the profile at the zero point.

The models shown above have the same disadvantages as the parametric approach. In the works of the scientific school of I.V. Kragelsky, N.B. Demkin, and others [5], surface roughness is considered as a set of geometric primitives. This approach made it possible to solve the problems of evaluating the study of the operational properties of surfaces. However, the disadvantage of the approach is that the profile curve is deterministic, and the structural properties of the profile are not taken into account. Recently, fractal geometry has become increasingly common in the modeling of geometric objects.

Studies have been devoted to the application of fractal theory in modeling profiles and surfaces of parts [6, 7]. The method of random additions gives very good results when modeling surface roughness [7]. However, in [7] it is shown that the use of the normal distribution in its pure form does not allow to provide the required accuracy.

Therefore, in [7], an adjustment of the algorithm was made, which actually consisted in fitting the law to real surface profiles. The disadvantage of such a solution is that it is not universal and requires an individual approach in relation to each specific case. For example, the results obtained in [7] are valid only for surfaces treated with finishing turning. Therefore, it is necessary to conduct research and choose a distribution law that obeys the roughness heights of surfaces with a regular profile, which are processed by different methods (turning and smoothing).

The purpose of the study improving the accuracy of modeling the roughness of surfaces with a regular profile by upgrading the algorithm for constructing a fractal curve.

Material and methods of research as initial data, the values of the heights of the roughness profiles of surfaces processed on a lathe by finishing turning and diamond smoothing were used. The roughness of the surfaces was measured using a profilometer-profilograph of the Abris PM-7 brand. An example of a profilogram of the treated surface is shown in Figure 1.

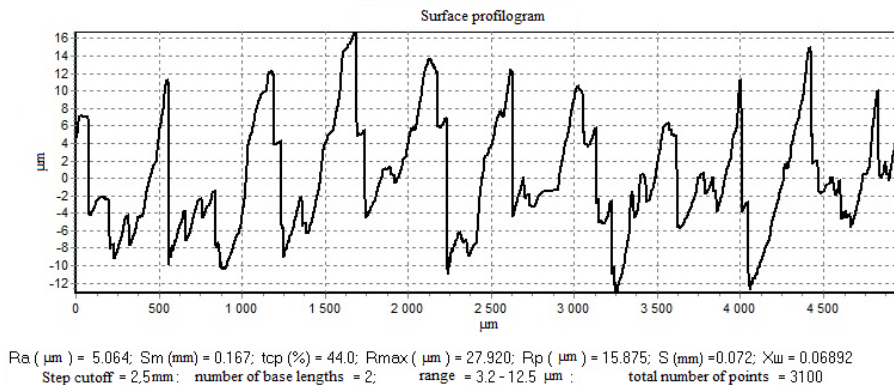


Fig. 1. Surface profilogram

The obtained values of the profile coordinates were used as initial data to test the hypothesis of compliance with the distribution law. The following laws were checked:

1. The normal distribution law, the parameters of which are determined by known dependencies [8]:

$$\phi(x, a, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

where  $a, \sigma$  are the parameters of the distribution law.

2. Weibull distribution law [8]:

$$\phi(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b},$$

where  $a, b$  are the parameters of the distribution law.

3. Rayleigh's distribution law [8]:

$$\phi(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), & x > 0 \end{cases}$$

4. Nakagami Distribution Law [8]:

$$\phi(x) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m x^{2m-1} \exp(-mx^2/\Omega),$$

where  $\Gamma(m)$  is the gamma function;  $m, \Omega$  are the parameters of the distribution law.

In this case, the parameter  $m$  can be obtained from the following expression:

$$m = 1 + \gamma^4 / (1 + 2\gamma^2) = 1 + (\alpha_p^2 / 2\sigma_B^2)^2 / (1 + \alpha_p^2 / 2\sigma_B^2),$$

where  $\gamma^2 = \alpha_p^2 / 2\sigma_B^2$  – a parameter that reflects the ratio of the deterministic ( $\sigma_p$ ) and stochastic ( $\sigma_e$ ) components.

At the same time, the values  $\sigma_B$  and  $\sigma_p$  it can be obtained on the basis of correlation analysis of surface profilograms and determination of the implementation of the autocorrelation function  $K_{XX}(t)$ . Expressions for calculating the components of the correlation function have the form [7]:

$$K_\beta(\tau) \cong \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n A_i^2 \cos \omega_i \tau$$

$$K_p(\tau) = \frac{1}{l-\tau} \int_0^{l-\tau} y_\gamma(t) y_\gamma(t+\tau) dt$$

Parameters  $\sigma_B$  and  $\sigma_p$  correspond to the values  $K_\beta(0)$  and  $K_p(0)$ .

At the same time, it can be noted that the Nakagami distribution law has an important property: when the parameter  $m$  changes, it changes to normal.

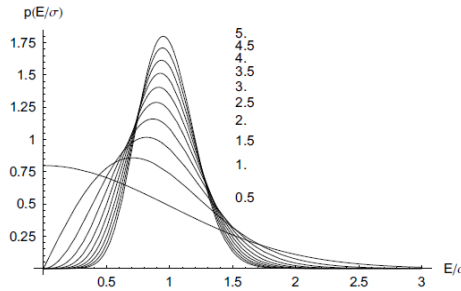


Fig. 2. Dependence of the shape of the curve of the Nakagami distribution law on the parameter  $m$

Verification of compliance with the distribution law was carried out according to the Kolmogorov-Smirnov criterion [8].

The fractal model of surface roughness was constructed using the random addition method [7]. At the same time, the enlarged sequence of calculations looks like this:

1. As the initial values of the abscissa profile, the values are taken  $x_i = 0; 0.5; 1$ ;
2. The initial ordinate values at these points are assumed to be zero;
3. Ordinate values are generated and added to the original ones. In this case, a generator with a Gaussian distribution is used by default.
4. The obtained ordinate values are averaged according to the dependence of the form:

$$y\left(\frac{x_{i+(i+1)}}{2}\right) = \frac{y(x_i) + y(x_{i+1})}{2},$$



5. The scattering parameters are adjusted:

$$\sigma_{i+1}^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{2H} \times \sigma_i^2,$$

where H is the empirical Hurst exponent.

In this case, the Hurst index is an estimate of the value of the fractal dimension D, since these values are interconnected by expressions of the form [7]:

- for flat objects:  $D = 2 - H$ ;
- for three-dimensional objects:  $D = 2 - H$ .

6. New abscissa values are determined by averaging the previous values.

Research results and their discussion Figure 3 shows examples of calculations of the parameters of the distribution laws.

Similarly, distribution curves were constructed for other laws under consideration. Due to the absence of the Nakagami distribution law in standard statistical analysis packages, calculations were carried out in the author's computer program. As a result of statistical processing of more than 150 profilograms of surfaces, it was found that according to the Kolmogorov-Smirnov agreement criterion, the surface roughness corresponds to the Nakagami distribution law and does not correspond to the other three considered.

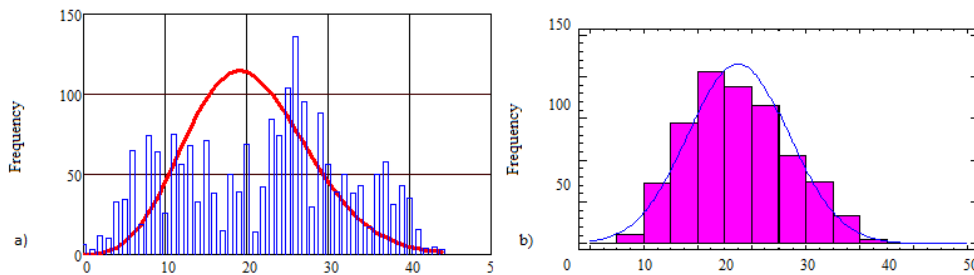


Fig. 3. Calculation results: a – normal distribution; b – Nakagami distribution

The ordinate generator of the fractal profile model based on the Nakagami distribution law was implemented. Figure 4 shows examples of a simulated two-dimensional profile and a three-dimensional rough surface.

To assess the accuracy of the results obtained, profiles were modeled with initial parameters that were determined from real objects (taken from real profilograms). Then, the obtained fractal curves were used to determine the surface roughness parameters in accordance with GOST 2789. Figure 5 shows an example of the results of determining parameters according to GOST 2789 for real profiles, models constructed using a profile ordinate generator based on the Gauss (normal) distribution law and Nakagami distribution law.

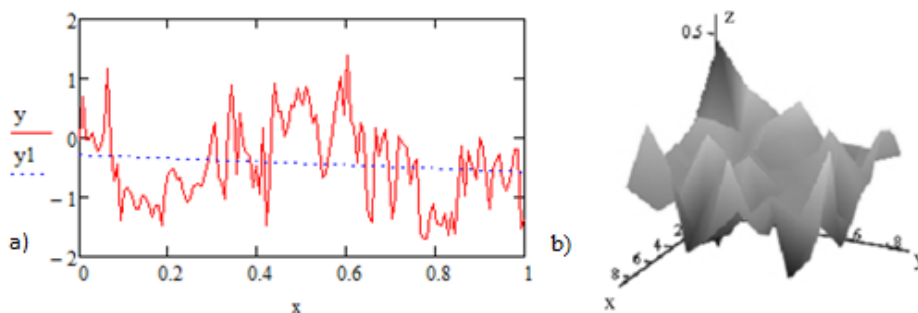


Fig. 4. Example of simulation results: a – fractal curve of the roughness profile; b – surface

As can be seen from Figure 5, the use of a profile ordinate generator based on the Gauss distribution law gives a significant error (more than 25 %). The ordinate generator based on the Nakagami distribution law allows us to obtain an error not exceeding 10 %, which is quite sufficient for solving both problems of describing surface roughness and solving applied problems related to the study of operational properties.

Conclusions or conclusion as a result of statistical analysis of profilograms of surfaces having a regular micro-profile, it is proved that their ordinates obey the Nakagami distribution law. The implementation of the profile ordinate generator based on the use of the Nakagami distribution law makes it possible to obtain fractal models of surface roughness with an error that does not exceed 10 %.

An important advantage is the versatility of the generator in terms of modeling profiles and three-dimensional surfaces of parts that are processed by finishing turning and diamond smoothing with rigid fixing of the indenter without the use of smoothing windows [7].

The combined use of fractal geometry and the Nakagami distribution law allows us to take into account both the structural features of the profile texture (through the values of the fractal dimension) and the technological aspects of its formation (through the ratio of the deterministic and random component).

The application of the developed model is fundamentally possible when solving problems unrelated to those considered in this article. In particular, with the help of the developed tools, it is possible to model the microprofiles of roads [9–10] and other rough objects in different areas of modeling practice.

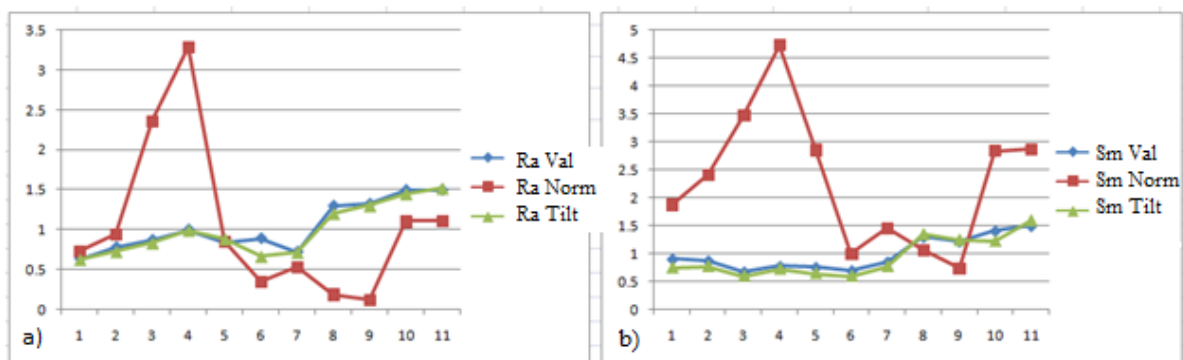


Fig. 5. Example of model accuracy: a – Ra values for real profiles and models; b – same for Sm

List of sources used:

1. Prikhodko V.M. Formation of operational properties of machine parts by ultrasonic methods: monograph / V.M. Prikhodko, I.A. Medelyaev, D.S. Fatyukhin. – M.: MADI, 2015. – 264 p.
2. M. Tomov Development of mathematical models for surface roughness parameter prediction in turning depending on the process condition / M. Tomov, M. Kuzinovski, P. Cichosz // Int. J. Mech. – 2016. –Sci. 113. – 120–132.
3. Shapovalov V.V. Tribotechnik: textbook / V.V. Shapovalov, A.Ch. Ereknov, V.A. Kohanovsky. – Moscow: publishing house «Phoenix», 2017. – 351 p.
4. Konakova I.P. Surface roughness and their practical application in the KOMPAS software : textbook / I.P. Konakova, I.I. Pirogova. – Yekaterinburg: publishing house of UrFU, 2014. – 104 p.
5. Shets S.P. Interrelation of tightness of bearing friction units with abrasive wear of their tribo-conjugations / S.P. Shets, V.I. Sakalo, A.G. Suslov // Bulletin of the Bryansk State Technical University. – 2016. – № 2 (50). – P. 36–40.
6. Ogar P.M. Mechanics of contacting rough surfaces / P.M. Ogar, D.B. Gorokhov, A.V. Turchenko. – Bratsk: BrSU, 2016. – 282 p.
7. Ovsyannikov V.E. Application of wavelet analysis to assess the quality parameters of the surface layer of machine parts / V.E. Ovsyannikov // Vestnik KuzSTU. – 2014. – № 2. – C. 56–57.
8. Pleskunov M.A. Probability theory: guide / M.A. Pleskunov, L.V. Korchemkina. – Yekaterinburg, 2017. – 136 p.
9. Korchagin P.A. Results of the study of the operability of the side working equipment of the grader / P.A. Korchagin, A.B. Letopolsky, I.A. Teterina // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. – 2018. – vol. 15. – №. 4 (62). – P. 492–501.
10. Teterina I.A. Investigation of the influence of the operational parameters of a utility vehicle on the vibration load of the operator's workplace / I.A. Teterina, P.A. Korchagin // Dynamics of systems, mechanisms and machines. – 2018. – Vol. 6. – №. 1. – P. 128–135.

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА И СПОСОБА FFF ПЕЧАТИ С АРМИРОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНЫМ УГЛЕВОЛОКНОМ

А.В. Дроботов, к.т.н., доц., А.Л. Плотников, д.т.н., проф., И.С. Торубаров<sup>а</sup>, аспирант,  
Волгоградский государственный технический университет  
400005 г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, тел. (8442) 23-00-76  
E-mail: <sup>а</sup>is.torubarov@gmail.com

**Аннотация:** в работе проанализированы подходы к повышению прочности полимерных изделий в аддитивном производстве по технологии послойного наплавления, а также данные о прочности чистых и армированных полимерных материалов при растяжении и изгибе. Предложен и разработан способ объёмной печати с армированием непрерывным углеволокном, в т. ч. устройство для трёх- и пятиосевой печати с армированием и программное обеспечение для подготовки управляющих программ для него.

**Ключевые слова:** аддитивное производство, послойное наплавление материала, FFF, FDM, 5D печать, полимерный композиционный материал, непрерывное армирование, непрерывное волокно

**Abstract:** The paper analyzes approaches to increasing the strength of polymer products in additive manufacturing using fused filament fabrication technology, as well as data on the strength of pure and reinforced polymer materials during tensile and flexural testing. A method of volumetric printing with continuous carbon fiber reinforcement is proposed and developed, including a device for three- and five-axis printing with reinforcement and software for preparing control programs for it.

**Keyword:** additive manufacturing, fused filament fabrication, FFF, FDM, 5D printing, polymer matrix composite, continuous reinforcement, continuous fiber

Аддитивная технология послойного наплавления материала (Fused Filament Fabrication, FFF) активно применяется для производства функциональных изделий из термопластов в масштабах мелкосерийного и единичного производства, в т. ч. для оперативного ремонта, когда отсутствует возможность быстро получить оригинальную запасную часть механизма. В настоящее время существует множество материалов для FFF печати с различными механическими и физико-химическими свойствами, благодаря чему несложно подобрать аналог для многих изделий, произведённых более традиционными способами. Общим препятствием применению для них аддитивной технологии FFF является невысокая прочность самих полимерных материалов и анизотропия механических свойств напечатанного объекта.

На рис. 1 приведены средние значения временного сопротивления при растяжении и изгибе для некоторых полимерных материалов, применяемых в аддитивной технологии FFF (по данным источников [1, 2, 3] и частично по материалам обзора из работы [4]). Сравнительные испытания убедительно показывают, что такой распространённый способ упрочнения полимеров, как использование коротких волокон (углеволокна, стекловолокна и др.), повышает прочность исходного материала только на 10–30 %.

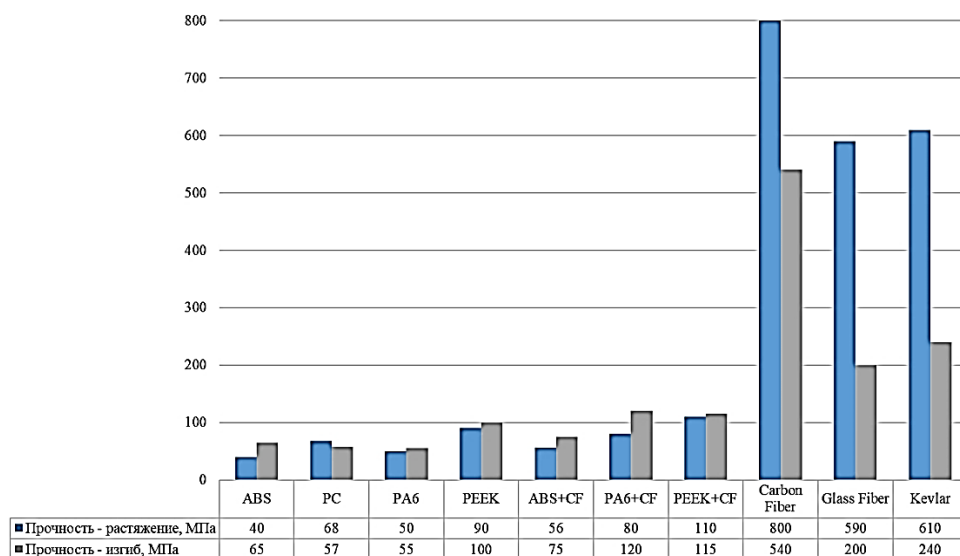


Рис. 1. Значения временного сопротивления разрушению при растяжении и изгибе для различных материалов, применяемых в аддитивной технологии FFF

Для полноценной замены оригинальных изделий, произведённых из алюминиевых сплавов и традиционных ПКМ, требуется использовать в печатной детали армирование из непрерывного волокна. Одним из наиболее простых и экономичных способов объёмной печати с армированием является укладка в определённых слоях изделия препрега, представляющего собой жгут из непрерывного волокна с пропиткой из термопластика. Технология объёмной печати с выкладкой такого препрега реализована компанией Markforged, результаты испытаний армированных образцов Markforged приведены в диаграмме по официальным данным компании [5].

Как было показано во множестве публикаций, такой способ армирования обеспечивает увеличение прочности при растяжении и изгибе в разы и десятки раз по сравнению с неармированными образцами (например, 100..500 МПа против 40..50 МПа при растяжении по данным исследования [6]).

В рамках настоящей работы была разработана и реализована конструкция экструдера для непрерывного волокна, пригодного для использования в 3D принтере, работающем по технологии FFF. Экструдер устанавливается в печатающей головке принтера вместе с основным экструдером для печати обычным полимерным материалом, из которого производится тело армированного изделия (матрица). При работе экструдер для волокна реализует следующие основные функции: подачу и нагрев препрега (филамента с 50 % содержанием непрерывного волокна), укладку нагретого препрега на поверхности слоя, отсечение препрега в местах завершения траекторий армирования.

Также в рамках настоящей работы было модернизировано программное обеспечение для подготовки управляющих программ (слайсер), предусмотрен набор настроек для печати с армированием и ряд схем армирования для стандартной 3D печати и пятиосевой печати (5D печати) с использованием наклонно-поворотного модуля. Применение пятикоординатной установки позволяет изготовить по технологии FFF многие изделия, которые невозможно рационально сориентировать на платформе принтера при обычной трёхосевой печати (из-за большого количества поддержек или повышенного риска расслоения детали под нагрузкой).

На предыдущем этапе работы авторами были произведены и испытаны на изгиб образцы из PA12, армированные непрерывным углеволокном по плоской (3D печать) и объёмно-спиральной (5D печать) схемам [4]. Данные образцы показали максимальную прочность 44..82 МПа против 27..30 МПа для неармированных образцов. С целью увеличения прочности за счёт лучшего сцепления между армированием (волокном) и матрицей (термопластом, составляющим тело изделия) в рамках данной работы были подобраны другие распространённые в FFF печати материалы и определены рациональные режимы печати для них в 3D и 5D режимах.

В дальнейшей работе предполагается провести испытания новых материалов и оптимизировать их совместные режимы печати с непрерывным волокном для обеспечения наилучшей адгезии между двумя материалами. Также остаётся актуальной задача разработки армирующих филаментов с другими видами волокон (стекловолокном, арамидным и др.) и разработки рациональных режимов печати для них.

Список использованных источников:

1. Влияние технологических режимов FDM-печати и состава используемых материалов на физико-механические характеристики FDM-моделей (обзор) / С.В. Кондрашов, А.А. Пыхтин, С.А. Ларионов, [и др.] // Труды ВИАМ. – 2019. – № 10 (82). – С. 34–49.
2. Zohdi N. Material Anisotropy in Additively Manufactured Polymers and Polymer Composites: A Review / N. Zohdi, R. Yang // *Polymers*. – 2021. – № 13 (19). – 28 с.
3. Судан А. Технологические методы управления деформационно-прочностными характеристиками полимерных изделий, полученных методом FDM-печати / А. Судан, Е.Т. Воропаева // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 74–81.
4. Аддитивное производство изделий с пространственным армированием непрерывным волокном (Additive manufacturing of parts with three-dimensional continuous fiber reinforcement) / И.С. Торубаров, А.В. Дроботов, И.А. Гушин [и др.] // *Frontier Materials & Technologies*. – 2022. – № 2. – 13 с. – URL: <https://www.vektornaukitech.ru/jour/article/view/429/401> (дата обращения 23.03.2023).
5. Markforged Composites Datasheet // Markforged, Inc. – 2022. – URL: <https://www.objects.markforged.com/craft/materials/CompositesV5.2.pdf> (дата обращения 20.03.2023).
6. Sauer M.J. Evaluation of the Mechanical Properties of 3D Printed Carbon Fiber Composites. / M.J. Sauer // *Electronic Theses and Dissertations*. – South Dakota State University. – 2018. – 169 с. – URL: <https://openprairie.sdstate.edu/etd/2436> (дата обращения 21.03.2023).

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Д.О. Долматов, к.т.н. инженер МНОЛ НК ИШНКБ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dolmatovdo@tpu.ru

**Аннотация:** Разработка и эксплуатация автоматизированных систем на базе роботизированных манипуляторов является актуальным вопросом развития средств ультразвукового неразрушающего контроля. В данной работе рассматривается применение подобных систем совместно с цифровой когерентной обработкой сигналов, которая базируется на применении метода синтезированной апертуры. Эффективность подобного подхода рассмотрена для случая контроля пространственно-сложных стальных отливок.

**Ключевые слова:** системы ультразвукового контроля на базе роботизированных манипуляторов, алгоритмы цифровой когерентной обработки, пространственно-сложные изделия.

**Abstract:** The development and operation of automated systems based on robotic manipulators is an urgent issue in the development of ultrasonic nondestructive testing equipment. This paper considers the application of such systems together with post-processing based on the Synthetic Aperture Focusing Technique. The effectiveness of such an approach is considered for the case of complex-shaped steel casting inspection.

**Keywords:** automated ultrasonic testing systems based on robotic manipulators, post-processing algorithms, complex-shaped objects.

На сегодняшний день повышение производительности является актуальной проблемой развития методов и средств ультразвукового неразрушающего контроля. Данным фактом обусловлен интерес к роботизированным системам ультразвуковой дефектоскопии. Подобные системы способны обеспечить высокую скорость сканирования изделий различных форм и высокую повторяемость результатов контроля.

В контексте развития роботизированных систем ультразвукового контроля большой интерес представляет реализация и использование алгоритмов обработки экспериментальных данных с применением цифровой когерентной обработки, использующей метод синтезированной апертуры [1]. Подобный подход способен обеспечивать получение результатов роботизированного контроля в форме изображений дефектов, которые имеют высокое разрешение. Данные изображения позволяют проводить оценку размеров выявленных дефектов с высокой точностью.

Ранее был разработан алгоритм цифровой когерентной обработки в случае использования автоматизированных систем на базе роботизированных систем с шестью степенями свободы [2]. В рамках данной работы эффективность указанного подхода рассматривается для контроля пространственно-сложных стальных отливок. Для этой цели в качестве тестового образца был использован сегмент цилиндрического объекта, содержащий боковые цилиндрические отверстия диаметром 4 мм. Эскиз образца представлен на рисунке 1.

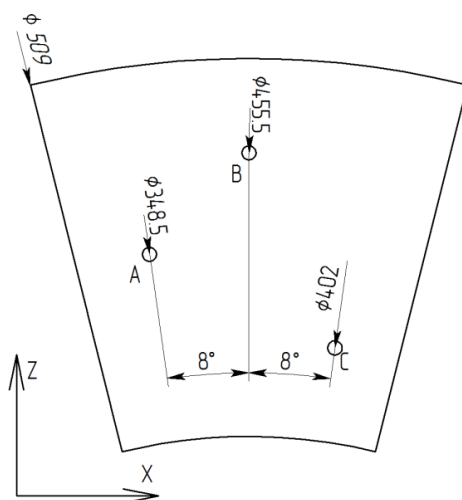


Рис. 1. Эскиз сегмента цилиндрического тестового образца

Контроль проводился на установке роботизированного ультразвукового контроля, представленной на рисунке 2.



Рис. 2. Установка роботизированного ультразвукового контроля:  
1 – роботизированный манипулятор с шестью степенями свободы, 2 – иммерсионная ванна,  
3 – шкаф управления, 4 – тестовый образец

Для этой цели объект размещался в иммерсионной ванне, которая заполнялась водой. Сканирование осуществлялось с шагом 1 мм. В каждой точке ультразвуковой преобразователь частотой 2.25 был ориентирован по нормали к поверхности объекта контроля.

А сканы, полученные при сканировании объекта контроля, служили входными данными для алгоритма, который был реализован в программном пакете MatLab. В результате работы алгоритма восстанавливается изображения дефектов в тестовых образцах. Изображение дефектов в рассмотренном тестовом образце представлено на рисунке 3.

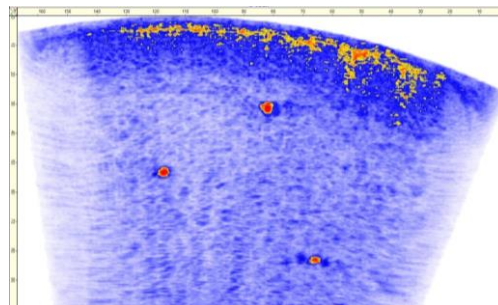


Рис. 3. Изображение дефектов, полученное в результате контроля с применением алгоритма цифровой когерентной обработки

Полученный результат в форме изображения позволяет оценить размеры дефектов с применением метода половины амплитуды (-6 dB drop method). Результаты оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Результаты оценки дефектов в цилиндрическом образце*

Дефект	A	B	C
Диаметр, мм	4,3	4,2	3,7
Относительная погрешность, %	7,5	5,0	7,5

Таким образом, в результате контроля в восстановленном изображении были получены образы всех искусственных дефектов в тестовом образце.

Полученная оценка размеров обнаруженных дефектов была близка к реальным размерам несплошностей. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности разработанного алгоритма.

*Исследование выполнено за счет гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук (проект № МК-1679.2022.4).*

Список использованных источников:

1. Doctor S.R. SAFT – the evolution of a signal processing technology for ultrasonic testing / S.R. Doctor, T.E. Hall, L.D. Reid // NDT international. – 1986. – V. 19. – №. 3. – P. 163–167.
2. Dolmatov D. The development of post-processing algorithm for the ultrasonic evaluation by the application of automated robotic testing systems / D. Dolmatov, V. Zhvyrblya, D. Sednev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 1019 (1).

### КИНЕТИКА МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ И СКОРОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА В ПРОЦЕССЕ РАСТЯЖЕНИЯ Fe-Cr-Ni СПЛАВА

С.А. Баранникова<sup>а</sup>, д.ф.-м.н., в.н.с., П.В. Исхакова<sup>б</sup>, м.н.с.

*Институт физики прочности и материаловедения*

*Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)*

*634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-69-63*

*E-mails: <sup>а</sup>bsa@ispms.ru; <sup>б</sup>iskhakova@ispms.ru*

**Аннотация:** В работе исследовано деформационное поведение плоских образцов Fe-18 % Cr-10 % Ni сплава, в которых реализуется наведенное деформацией  $\gamma$ - $\alpha'$ -фазовое превращение в условиях одноосного растяжения. С помощью измерений ферритометра и изменения скорости ультразвука анализируется кинетика мартенситного превращения в температурном интервале  $140 < T < 340$  К. Обнаружено, что скорость мартенситного превращения увеличивается с понижением температуры. Показано, что  $\alpha'$ -фаза оказывает существенное влияние на стадийность диаграмм растяжения, коэффициент деформационного упрочнения и изменение акустических характеристик сплава.

**Ключевые слова:** прочность, деформация, скорость ультразвука, мартенситные превращения

**Abstract:** In this work, the deformation behavior of flat specimens of the Fe-18 % Cr-10 % Ni alloy, in which the deformation-induced  $\gamma$ - $\alpha'$ -phase transformation occurs under uniaxial tension, is studied. The kinetics of martensitic transformation in the temperature range  $140 < T < 340$  K is analyzed by means of measurements of a ferritometer and changes in the ultrasound velocity. It is found that the rate of martensitic transformation increases with decreasing temperature. It is shown that the  $\alpha'$ -phase has a significant effect on the staging of tension diagrams, work hardening coefficient and changes in the acoustic characteristics of the alloy.

**Keywords:** strength, deformation, ultrasonic velocity, martensitic transformations.

Введение. Возрастающий уровень требований к качеству деталей предполагает расширение использования методов диагностики и неразрушающего контроля [1, 2]. Механические свойства материала, являются определяющими при оценке качества изделий, от них зависит вероятность разрушения, безопасность и целесообразность использования деталей в тех или иных условиях. Поэтому разработка методических аспектов контроля механических характеристик металлов по скорости распространения ультразвуковых волн является актуальной. При выборе материалов, работающих в условиях Арктики и Крайнего Севера, возникает необходимость обеспечения оценки их физико-механических характеристик при различных температурах и их изменение в процессе эксплуатации. Одним из перспективных в этом отношении материалов являются Fe-Cr-Ni сплавы, которые демонстрируют высокую коррозионную стойкость и высокую ударную вязкость при криогенных температурах [3]. Несмотря на большой объем, посвященный исследований Fe-Cr-Ni сплавов, в научной литературе не достаточно внимания уделено изучению их акустических характеристик в процессе пластической деформации в широком температурном интервале.

Целью настоящей работы было исследование закономерностей изменения акустических характеристик в широком температурном интервале на основе анализа стадийности диаграмм растяжения и кинетики мартенситных превращений Fe-Cr-Ni сплава.

Материалы и методика эксперимента. Предварительно подготовленные образцы в форме двойной лопатки с размерами рабочей части  $50 \times 10 \times 2$  мм растягивались со скоростью  $6,67 \times 10^{-5}$  с<sup>-1</sup> на испытательной машине LFM-125. Одновременно с регистрацией кривых нагружения измерялась скорость ультразвуковых релеевских волн с использованием метода автоциркуляции [4].

Микроструктура исследуемого сплава Fe-18 %Cr-10 %Ni представляла собой равномерно распределенные аустенитные зерна, вытянутые в направлении прокатки со средним размером зерна  $13,5 \pm 3$  мкм. Температурный интервал  $140 < T < 340$  К выбирался с учетом возможности реализации в материале прямого  $\gamma \rightarrow \alpha'$  мартенситного превращения [3]. Неустойчивость сплава Fe-18 %Cr-10 %Ni по отношению к мартенситному превращению в основном проявляется при низкотемпературной деформации. Плоские образцы в процессе растяжения находились в прозрачной колбе в при заданной температуре, поддерживаемой постоянной с помощью непрерывной подачи паров азота из сосуда Дьюара [5].

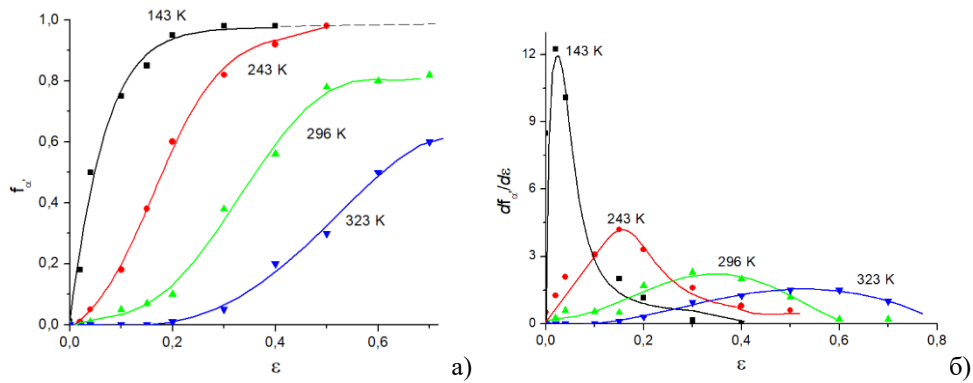


Рис. 1. Влияние температуры на кинетику мартенситного превращения (а) и скорость мартенситного превращения (б) с ростом общей деформации

Результаты и их обсуждение. В деформированных растяжением образцах сплава Fe-18 % Cr -10 % Ni реализуется наведенное деформацией  $\gamma$ - $\alpha'$ -фазовое превращение и выявлена двухфазная структура с различным соотношением  $\alpha'$ - и  $\gamma$ - фаз. Фактическая объемная доля  $\alpha'$ -мартенсита, определенная по показаниям ферритометра, в процессе растяжения для исследуемого температурного интервала варьировалась от 0 до 0,6 при 323 К и от 0 до 0,85 при 180 К (рис. 1а). При  $T > 340$  К  $\alpha'$ - мартенсит не выявляется. Скорость мартенситного превращения увеличивается с понижением температуры (рис. 1б).

Таким образом  $\alpha'$ -фаза оказывает существенное влияние на стадийность диаграмм растяжения в сплаве Fe-18 % Cr-10 % Ni, выявляемую по зависимости коэффициента деформационного упрочнения  $\theta$  от уровня приложенных напряжений  $\sigma$  (рис. 2а). Далее по данным рисунка 2а определяли величину напряжений  $\sigma_{\min}$  и  $\sigma_{\max}$  (точки на кривых), соответствующих минимальным и максимальным значениям скорости деформационного упрочнения  $\theta$  в исследованном температурном интервале.

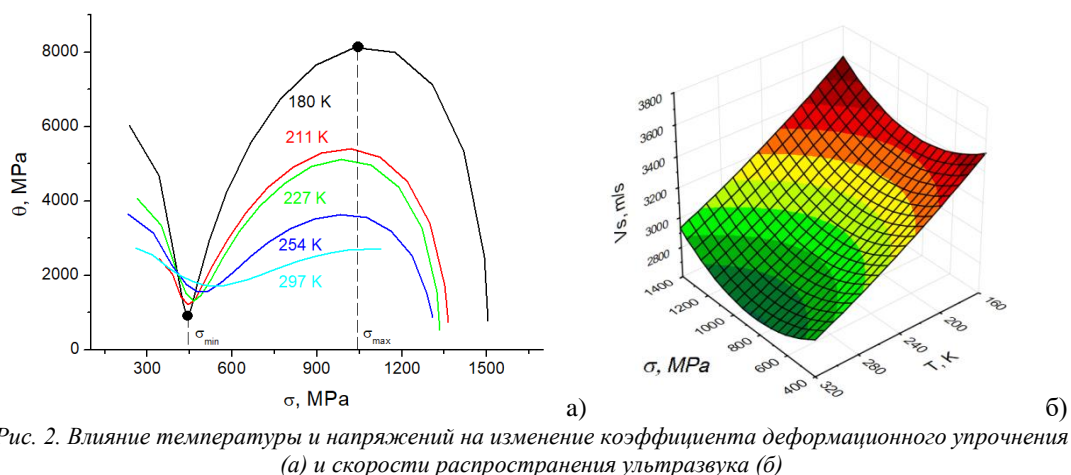


Рис. 2. Влияние температуры и напряжений на изменение коэффициента деформационного упрочнения (а) и скорости распространения ультразвука (б)

На рисунке 2б представлен 3D-график изменения скорости распространения ультразвука  $V_s$  от температуры и напряжений  $\sigma_{\min}$  и  $\sigma_{\max}$  (рис. 2а) в исследуемом сплаве, из которой видно, что понижение температуры приводит к увеличению скорости ультразвука в интервале максимальной скорости  $\gamma$ - $\alpha'$ -фазовое превращения.



Зависимость  $V_s(\sigma, T)$  описывается уравнением поверхности 2-го порядка (рис. 2а):

$$V_s = A - B \cdot \sigma - C \cdot T + D \cdot \sigma^2 + E \cdot \sigma \cdot T + F \cdot T^2, \quad (1)$$

где  $A, B, S, D, E, F$  – константы материала.

Из представленных результатов можно сделать следующие выводы.

В работе экспериментально исследована взаимосвязь акустических параметров с механизмами пластической деформации на основе данных о скорости распространения ультразвука и кинетики фазовых превращений Fe-Cr-Ni сплавов.

Полученные корреляционные зависимости могут быть использованы в качестве информационных параметров, определяющих напряжённо-деформированное состояние металла в условиях пониженных температур и позволяют составить непротиворечивое мнение о природе и режиме развития мартенситных превращений, а также возможности реализации на других сплавах.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 22-29-01608, <https://rscf.ru/project/22-29-01608/>.*

Список использованных источников:

1. Ultrasonic waves for materials evaluation in fatigue, thermal and corrosion damage / V. Marcantonio, D. Monarca, A. Colantoni, M. Cecchini // Mech. Syst. Sign. Proc. – 2019. – Vol. 120. – P. 32–42.
2. Non-destructive techniques for the detection of sigma phase in duplex stainless steel: A comprehensive review / M.V. Biezma, U. Martin, P. Linhardt [et al.] // Eng. Fail. Analys. – 2021. – Vol. 122. – P. 105227.
3. Effect of strain rate on the strain-induced  $\gamma \rightarrow \alpha'$ -martensite transformation and mechanical properties of austenitic stainless steels / J. Talonen, H. Hänninen, P. Nenonen, G. Pape // Met. Mat. Trans. A. – 2005. – Vol. 36. – P. 421–32.
4. Ultrasound velocity variation at plastic deformation of high-chromium steel / S.A. Barannikova, A.V. Bochkareva, A.G. Lunev [et al.] // Izv. Ferr.Metall. – 2016. – Vol. 59. – P. 558–564.
5. Barannikova S.A. Mechanical and acoustic properties of deformable alloys / S.A. Barannikova, M.V. Nadezhkin, P.V. Iskhakova // Izv. Ferr.Metall. – 2023. – Vol. 66. – P. 162–167.

#### СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

*Е.П. Теслева<sup>а</sup>, к. ф.-м. н., доц., К.В. Кожевникова, студент*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета,*

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

*E-mail: <sup>а</sup>tesleva@mail.ru*

**Аннотация:** рассматривается способ предотвращения попадания шлака в готовую продукцию предприятия, а также уменьшения потерь выплавленного сплава на печках.

**Ключевые слова:** производство ферросилиция, переработка шлака.

**Abstract:** this article discusses a way to prevent the ingress of slag into the finished products of the enterprise, as well as to reduce the losses of the smelted alloy in furnaces.

**Keyword:** ferrosilicon production, slag processing.

Ферросилиций – это сплав железа с кремнием, который применяется для раскисления и легирования стали, а также для получения отливок из чугуна с заданным содержанием кремния [1, 2]. Рудным компонентом шихты при производстве ферросилиция является кварцит. Ферросплавное производство считается бесшлаковым или малошлаковым, поскольку кратность образующегося шлака составляет в среднем около 3 % [3, 4]. Однако увеличение добычи и реализации кварцита на Антоновском руднике привело к повышению содержания как мелких так и крупных фракций в поступающем на производство кварците. Рост содержания кварцита разного размера в шихте привел к ухудшению газопроницаемости колошника, повышению количества шлакообразующих примесей в шихте, снижению извлечения кремния и, как следствие, увеличению процентного содержания шлака, а также брака в готовой продукции [5]. В связи с этим возникла необходимость переработки шлака и поиска способов предотвращения попадания шлака в готовую продукцию предприятия.

Для решения поставленной задачи было предложено установить дополнительную изложницу непосредственно на шлаковню для осуществления сбора ошлакованного ферросилиция и его дальнейшей переработки методом переплава.



Рис. 1. Установка изложницы



Рис. 2. Ошлакованный ферросилиций

Для проведения опытов по извлечению металлической фазы из шлаков выплавки ферросилиция марки ФС 75 были сформированы две партии шлака. Первая партия формировалась во время производства ферросилиция марки FeSi 75 Al 1,5, получаемого путем рафинирования рядового ферросилиция сидеритом (табл. 1, выпуск 1–4); вторая – при производстве рядового ферросилиция без рафинирования (табл. 1, выпуск 5–7).

Таблица 1

Условия отбора опытных партий шлака

№ выпуска	Si <sub>исх.</sub> , % масс.	Навеска сидерита, кг	Si <sub>марк.</sub> , % масс	Al <sub>марк.</sub> , % масс	Масса шлака в шлаковне, кг	Масса конгломерата в изложнице, кг	Всего, кг
1	76,4 %	50	78,2 %	1,07 %	209,8	11,6	221,4

Окончание таблицы 1

№ выпуска	Si <sub>исх.</sub> , % масс.	Навеска сидерита, кг	Si <sub>марк.</sub> , % масс	Al <sub>марк.</sub> , % масс	Масса шлака в шлаковне, кг	Масса конгломерата в изложнице, кг	Всего, кг
2	78,5 %	100	77,1 %	1,22 %	94,5	309,8	404,3
3	78,2 %	100	75,0 %	1,54 %	202,5	19,5	222
4	76,2 %	150	75,0 %	1,53 %	174,5	43	217,5
5	80,2 %	0	79,0 %	1,46 %	221,5	0	221,5
6	73,9 %	0	71,7 %	–	0	241,5	241,5
7	78,0 %	0	76,4 %	1,47 %	0	241,5	241,5

Опытные партии формировались следующим образом. После окончания разливки, остатки ферросилиция из ковша сливались в отдельную изложницу, а шлак выгребали в пустую шлаковню. При этом получали ферросилиций, загрязненный шлаком, и обедненный шлак. Это позволило определить количество металла, теряющегося при разливке. После двадцатиминутного охлаждения, шлак разбивали на куски менее 500 мм и укладывали в металлические барабаны объемом 0,2 м<sup>3</sup>. Барабаны маркировали и взвешивали, чем достигалось раздельное хранение и раздельная последующая подготовка партий шлака. В некоторых случаях отбирались образцы конгломерата из поддона и образцы шлака из шлаковни для анализа на химический состав (табл. 2).

*Химический анализ проб шлака*

Номер выпуска, пробы	Состав проб шлака, % масс.						
	Si	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>общ</sub>	SiC
1	12,9	22,59	19,10	11,75	1,80	4,30	17,58
1'	18,4	18,09	17,30	8,53	3,81	5,44	15,79
1''	28,3	17,30	15,00	8,52	2,69	9,48	9,04
2	26,9	21,84	13,99	6,98	3,13	10,55	8,28
2'	40,3	6,03	11,10	3,89	4,81	12,90	2,94
2''	59,2	5,50	4,59	0,96	0,96	17,20	1,95
2'''	22,7	19,43	14,34	9,64	2,89	7,23	13,02
3'	28,5	15,73	13,54	6,38	3,69	10,76	9,24
4'	26,2	18,85	13,76	7,93	2,30	9,66	10,38
4''	43,1	19,73	8,80	3,92	2,48	14,93	5,14
5	33,1	15,97	13,4	7,9	0,7	8,4	13,8
6'	10,1	21,61	22,1	14,0	1,4	2,94	17,5
7'	17,1	22,76	21,7	11,8	0,9	4,4	18,0

Примечание: номера проб, помеченных штрихами, отбирались от образцов, остальные – средние от выпуска.

По окончании разливки нерафинированного ферросилиция практически весь шлак оказался застывшим в виде шлакометаллических коржей, поэтому слив последних порций металла не вызывал никаких затруднений. В случае рафинированного сидеритом ферросилиция отсечка металла представлялась весьма затруднительной.

Металл в шлаке рафинированного ферросилиция в основном рассредоточен в виде мелких корюшечек, однако имеются и крупные включения. Металлические включения в шлаке нерафинированного ферросилиция представляют собой крупные настлы, которые образуют слоеный шлакометаллический корж.

В результате исследования было определено, что масса теряемого металла колеблется в зависимости от мастерства кранового машиниста и конкретных условий разливки (расположение шлаковых настлей в ковше, жидкоподвижности шлака к концу разливки и т. д.). Потери металла со шлаком связаны с тем, что существует опасность загрязнения слитков при разливке последних порций металла.

Крановые машинисты прекращают разливку при появлении такой опасности. Анализ показал, что с одного выпуска теряется от 25 кг до 45 кг ошлакованного металла, что составляет в среднем 1 % от веса металла.

Таким образом, при проведении в среднем 16 выпусков сплава из одной рудовосстановительной печи в сутки возвращается в производство от 256 до 720 кг металла теряющегося при чистке ковшей, с четырех печей до 2880 кг в сутки.

Учитывая проведенные опытные кампании по отделению ошлакованного металла от основного шлака экономически целесообразно произвести установку изложницы на шлаковню для сбора ошлакованного металла при разливке ферросилиция. После формирования слитка ошлакованного металла в изложнице необходимо производить его переработку методом переплава.

Это позволит минимизировать потери выплавленного сплава на печах, а также повысить качество отгружаемого потребителю ферросилиция и исключить попадание ошлакованного металла в товарную продукцию.

Список использованных источников:

1. Воскобойников В.Г. Общая металлургия: учебник для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушева – 6-изд., перераб и доп. – ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с. : 253 ил.
2. Зубов В.Л. Электрометаллургия ферросилиция / В.Л. Зубов, М.И. Гасик. – Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704 с.
3. Толстогузов Н.В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов / Н.В. Толстогузов. – М.: Металлургия. 1992 г. – 241 с.

4. Теслев С.А. Использование железорудных неофлюсованных окатышей при производстве ферросилиция / С.А. Теслев, Е.П. Теслева // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. – Томск: ТПУ, 2015. – С. 155–158.
5. ГОСТ 1415–93. Ферросилиций. Технические требования и условия поставки: издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации от 2 июня 1994 г. No 160: дата введения 1997-01-01. – Минск.

**РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ПОДТАЛКИВАТЕЛЬ КОРМОВ  
ПОВЫШЕННОЙ МОБИЛЬНОСТИ С АКТИВНЫМ ШНЕКОРОТОРОМ**

*А.В. Проскоков<sup>1б</sup>, к.т.н., доц., А.В. Алексин<sup>1</sup>, студент, В.Р. Рашитов<sup>2а</sup>, директор ООО ЮНИТ  
<sup>1</sup>Юргинский технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского Томского политехнического университета,  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
<sup>2</sup>ООО «Юргинские научно-инженерные технологии»  
652065, Кемеровская обл., г. Юрга, пр. Победы 28Б  
E-mails: <sup>а</sup>yurga-unit@mail.ru, proskokov@tpu.ru<sup>б</sup>*

**Аннотация:** В данной статье представлено описание конструкции самоходного робота-толкателя для животноводческой фермы. Благодаря улучшенным ходовым характеристикам он способен составить конкуренцию известным аналогам. Автономность самоходного робота толкателя позволяет минимизировать участие человека в работе. Владельцу такого устройства необходимо только проводить техническое обслуживание: внешний осмотр, смазка трущихся деталей, обслуживание аккумуляторной батареи. Для составления программы прохождения робота оператору необходимо провести робота по маршруту, который запоминается и может повторяться многократно. При необходимости в любой момент времени можно вносить изменения в программу.

**Ключевые слова:** Робот-толкатель, роботизированная ферма, система управления, траектория движения, система позиционирования.

**Abstract:** This article describes the design of a self-propelled pusher robot for a livestock farm. Thanks to the improved driving characteristics, it is able to compete with well-known analogues. The autonomy of the self-propelled pusher robot allows minimizing human participation in the work. The owner of such a device only needs to carry out maintenance: external inspection, lubrication of rubbing parts, maintenance of the battery. To create a program for passing the robot, the operator needs to guide the robot along a route that is remembered and can be repeated many times. If necessary, you can make changes to the program at any time.

**Keywords:** Robot pusher, robotic farm, control system, motion trajectory, positioning system.

В условиях современной животноводческой фермы с целью повышения производительности подача свежего корма в кормушки осуществляется круглосуточном режиме с помощью специальных кормораздатчиков. Животные, находящиеся на стойловом содержании при поедании корма выбирают более привлекательные массы, при этом отодвигают большую его часть от себя. Чтобы обеспечить стабильным доступом к кормам постоянно требуется его периодическое подталкивание к животным. Автономность самоходного робота толкателя позволяет минимизировать участие человека в его работе. Владельцу такого устройства необходимо только проводить техническое обслуживание: внешний осмотр, подкачка колес, смазка трущихся деталей, обслуживание аккумуляторной батареи.

Данный продукт позволит механизировать тяжелый ручной труд фермеров и снизить зависимость от человеческого фактора. Применение робота толкателя возможно, как начальный уровень перехода на роботизированные технологии умной фермы.

В целом на рынке имеется довольно большое количество вариантов роботов-толкателей кормов. По принципу смещения можно выделить две основные разновидности: смещение кормов за счет сдвига весом робота, и машины с активным шнекоротором для перемешивания кормов. Рассмотрим технические характеристики некоторых из них.

Известен кормоподталкивающий робот JOZ Moov барабанного типа [1], который имеет систему навигации, состоящую из транспондеров и гироскопа, что позволяет роботу всегда проходить максимально точно свой маршрут. Система связи, установленная на устройстве позволяет управлять движением с помощью беспроводного соединения со станцией управления J-load, что позволяет управлять роботом на компьютере или смартфоне с помощью сервиса JOZ Management Servise. Также возможно управление через пульт.

Робот передвигается при помощи двух приводных колёс и одного опорного. Одним из важных требований такого толкателя – ровный пол по пути маршрута движения.

Известна конструкция подталкивателя кормов Butler Gold [2], представленный на рис.1 который предназначен для автономного перемещения корма посредством вращающегося двухспирального шнекового транспортера, который помогает сохранять свежесть корма, сохраняя его в непрессованном виде. Зарядка аккумуляторов производится на свободно размещаемой напольной станции, которая выдерживает проезд по ней тракторной техники. Подталкиватель может эксплуатироваться при наклоне пола коровника (до 5 градусов), он способен работать в помещениях с различной шириной кормовых проходов, самостоятельно перемещаться не только по коровнику, но и между дворами. Навигация осуществляется по магнитам размером 5 мм установленным в бетонный пол на расстоянии 2 м друг от друга. Маршрут движения один раз программируется в блоке управления роботом. Также этот толкатель является одним из самых тяжелых среди своих представителей.

Наиболее близким к заявляемому является робот-пушер DeLaval – OptiDuo [3] – управляемый робот см. рис.2, который обеспечивает коровам постоянный доступ к свежему корму. Согласно заявленной технологии система позволяет одновременно перемещать корм до момента его перемещения на кормовой стол, благодаря вращающемуся шнеку с двойной спиралью и функцией адаптивного привода. При этом заполняются все места, в которых корм был полностью съеден животными и коровы с более низким рангом не вытесняются к пустым кормушкам. Недостаток – это ограниченное использование только на одном ряду в связи с низкой мобильностью платформы.

Несмотря на широкие возможности представленной выше техники, имеются и недостатки, которые стоит отметить. Все представленные роботы для выполнения программы ориентируются по датчикам, установленным на роботе. Точное местоположение неизвестно, в результате чего часто возникают внештатные ситуации, которые не позволяют продолжить программу с нужного места. К тому же в результате сбоя сигнала, полученного от индуктивного датчика нередко случаи пропуска положения зарядной станции.

Жесткая привязка к датчикам не позволяет обрабатывать несколько пролетов для расширения зоны обслуживания. При этом низкий клиренс не предусматривает проезд через порожки и препятствия.



Рис. 1. Кормовой толкатель BUTLER XL



Рис. 2. Робот-пушер OptiDuo - DeLaval

В Юргинском технологическом институте разрабатывается конструкция нового усовершенствованного роботизированного толкателя кормов рис. 3. Робот толкатель представляет собой мобильную платформу с активным навесным шнекоротором. Рама платформы включает в себя нижнюю часть 10 с двумя установленными ведущими мотор-колесами 3 мощностью до 500Вт, осуществляющими движение робота вперед, назад и повороты с опорным колесом 6, верхнюю раму 4 с исполнительным органом в виде активного шнекоротора 1, отличающегося тем, что имеется возможность подъема от кормового стола для совершения маневров, за счет соединения верхней и нижней рам при помощи подшипников 12 и приводов линейных перемещений 2. Активный шнекоротор содержит электродвигатель 5, передающий вращение на исполнительный барабан через ременную передачу 7. Питание всей системы осуществляется от двух последовательно подключенных свинцовых аккумуляторов 8 с гелевым электролитом. Вся электронная составляющая, осуществляющая включение электроприводов, задание скорости и направления перемещения робота, а также вращение шнекоротора, размещены в шкафу управления 11. При движении вдоль кормовых столов подталкиватель пододвигает корма животным.

На холостом ходу и при повороте шнекоротор приподнимается вверх за счет приводов линейных перемещений и в этом состоянии совершает маневры. Это повышает мобильность подталкивателя, предотвращает износ шнекоротора и экономит энергию аккумуляторных батарей. Во время рабочего хода подталкиватель может повторять рельеф за счет качания приводов линейных перемещений на планке 9.

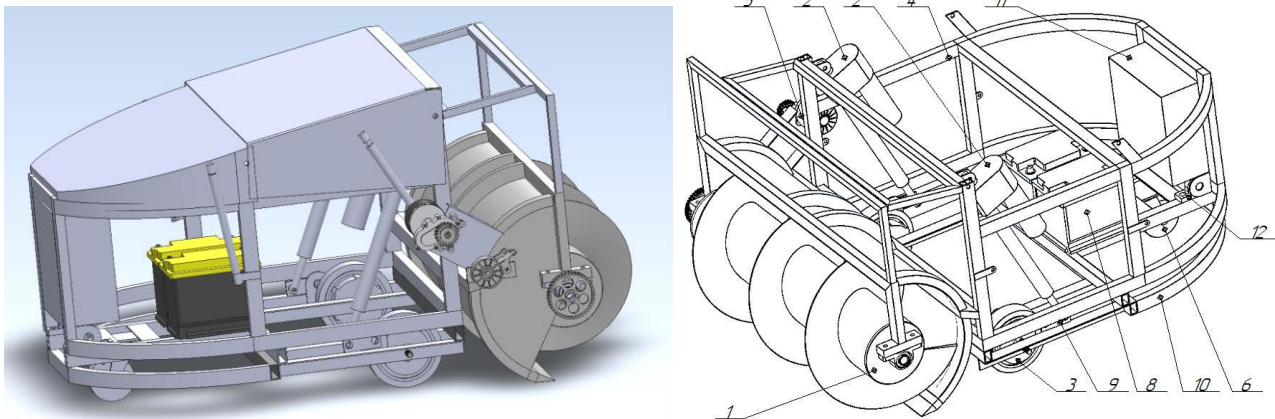


Рис. 3. Общий вид подталкивателя кормов: 1 – шнекоротор; 2 – линейный электропривод; 3 – ведущее мотор-колесо с редуктором; 4 – рама верхняя; 5 – привод шнекоротора; 6 – колесо опорное поворотное; 7 – ремень приводной шнекоротора; 8 – аккумулятор; 9 – планка компенсационная; 10 – рама нижняя; 11 – ящик электрооборудования; 12 – подшипник корпусной

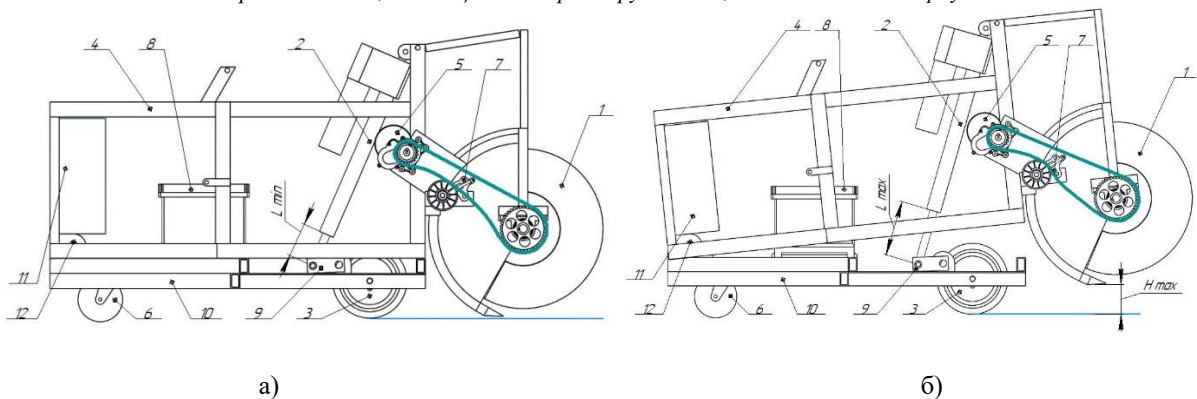


Рис. 3. Подталкиватель кормов: а) рабочее положение шнекоротора; б) транспортное положение шнекоротора

Для организации системы позиционирования в данной работе предлагается система фирмы Marvelmind Robotics [5], изображенная на рис 4. Эта система состоит из не менее четырех ультразвуковых маячков, установленных по периметру участка и одного центрального маячка, установленного на движущемся средстве. Система позволяет определять координаты робота с точностью до 2 см с площадью покрытия до 1000 м<sup>2</sup>. Для корректировки прямолинейности текущего направления движения робот также оснащен электронным гироскопом, акселерометром и электронным компасом, которые размещены в микросхеме модуля MPU6050 от RobotClass. Эти приборы позволяют сохранять прямолинейное направление движения робота в случае проскальзывания ведущих колес с грунтом или несоответствия скоростей вращения колес.

Для успешной реализации проекта основной целью является создание комплексной системы управления роботом, которая позволит усовершенствовать существующие технологии позиционирования мобильной робототехники. Для этого в проекте будут применены системы распознавания графических образов, системы технического зрения с использованием активных электронных датчиков. Новая комплексная система позволит применять робота, оснащенного данной системой позиционирования не только в сельском хозяйстве в закрытых помещениях, но и расширить промышленное применение в качестве транспорта на складских помещениях безлюдных технологий.

Таким образом, в ближайшей перспективе планируется изготовление нового прототипа робота толкателя с активным шнекоротором, который сможет обслуживать до пяти пролетов с животными. Кроме того, в условиях ограничения поставок зарубежных фирм-конкурентов и увеличения стоимости оригинальных комплектующих подобных роботов открывается возможность занятия рынка более ускоренными темпами.



Рис. 4. Комплект ультразвуковых датчиков Marvelmind Robotics

Список использованных источников:

1. JOZ представил нового робота для отрасли животноводства // Главпхарь: сайт. – URL: <https://glavpahar.ru/news/joz-predstavil-novogo-robota-dlya-otrasli-zhivotnovodstva#.html> (дата обращения 10.04.2023). – Текст: электронный.
2. Пододвигатель кормов BUTLER GOLD // Topix Group: сайт. – URL: <https://topixagro.com/catalog/avtomatizaciya-fermy/pododvigatel-korma-butler.html> (дата обращения 10.04.2023). – Текст: электронный.
3. Компания ДеЛаваль представляет свой новый автоматизированный подталкиватель для корма DeLaval OptiDuo. // The dairy news: сайт. – URL: <http://www.dairynews.ru/news/kompaniya-delaval-predstavlyayet-svoynovu-avtomat.html> (дата обращения 10.04.2023). – Текст: электронный.
4. Systems of Geo Positioning of the Mobile Robot / M.V. Momot, A.V. Proskokov, D.N. Nesteruk [et al.] // IOP Conference Series: materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 221 – №. 1. – P. 1–7.
5. Precise ( $\pm 2\text{cm}$ ) Indoor Positioning System for autonomous robots, drones, vehicles and humans // Marvelmind Indoor Navigation System: сайт. – URL: <https://marvelmind.com> (дата обращения 10.04.2023). – Текст: электронный.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*А.И. Дмитриев, д.ф.-м.н., г.н.с.*

*Институт физики прочности и материаловедения*

*Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)*

*634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-68-26*

*E-mail: dmitr@ispms.ru*

**Аннотация:** В работе приводятся некоторые примеры построения многомасштабных вычислительных моделей, используемых для описания процессов, сопутствующих технологии аддитивного производства (АП), а также изделий, получаемых посредством 3D печати. Представлены модели нано- и макро-масштабов. Полученные данные позволяют прогнозировать некоторые свойства материалов, получаемых в ходе АП.

**Ключевые слова:** аддитивное производство, компьютерное моделирование, многомасштабные модели.

**Abstract:** The paper provides some examples of building multiscale computational models used to describe the processes associated with additive manufacturing (AM) technology and products obtained through 3D printing. Nano- and macro-scale models are presented. The data obtained make it possible to predict some properties of materials obtained using AM.

**Keywords:** additive manufacture, computer simulation, multiscale models.

Введение. Аддитивное производство (АП) металлов – современная перспективная технология, позволяющая изготавливать детали сложной формы с заданными свойствами с помощью послойного нанесения материала [1]. Эта технология использует локальный мощный источник тепла, такой как лазер или электронный луч, для расплавления металлического материала, подводимого в виде порошка или проволоки. По мере удаления источника тепла от расплавленной области материал затвердевает, формируя форму будущей детали. Таким образом, основное преимущество АП по сравнению с традиционным производством заключается в возможности производства практически любого по форме изделия за один этап, сокращая при этом отходы, энергопотребление, время и затраты на последующую сборку. Аддитивное производство демонстрирует большой потенциал и перспективы развития, преодолевая недостатки традиционных подходов. Оно широко используется в аэрокосмической, автомобильной, медицинской и других областях.

Однако процесс соединения нескольких металлических материалов с различными физико-механическими и химическими свойствами, концентрированный подвод энергии и сложное поведение расплавленной ванны в конечном итоге оказывают значительное влияние на качество изготавливаемых деталей. Градиент температуры металлических материалов сильно меняется в процессе АП, а быстрое плавление, охлаждение и затвердевание металлических порошков или проволоки вызывают значительные напряжения, в том числе и остаточные, в конечных изделиях. Кроме того, из-за послойного характера построения при АП компоненты в затвердевших слоях также испытывают многократное термическое воздействие. Когда напряжения достигают критических значений, возникают трещины, что резко снижает механические свойства и значительно сокращает срок службы получаемых изделий. Более того, помимо задач оптимизации реальной формы и/или топологии изделия сама по себе структура получаемого материала оказывается намного сложнее, чем с использованием традиционных технологий производства.

Столбчатая дендритная структура, в которой элементы в разной степени сегрегируются вдоль направления сборки печатных деталей, представляет собой серьезную проблему для разработки продуктов с использованием АП. При этом пространственные масштабы результирующей структуры могут варьироваться в пределах многих порядков, а длительность физических процессов, сопутствующих АП, начинается от долей микросекунд и достигает часов или даже дней.

Для решения указанных проблем эффективным представляется использование методов компьютерного моделирования, в рамках которого возможно не только проанализировать поведение материала на различных пространственных и временных масштабах, но и провести исследование влияния отдельных параметров структуры и технологического процесса АП на свойства получаемого материала или изделия. Термическая история, показывающая распределение температуры по затвердевшим слоям, полезна для понимания эволюции микро-структуры, а методы численного и аналитического моделирования могут использоваться для оценки температурного профиля во время АП. Таким образом, целью настоящей работы является рассмотрение актуального вопроса о возможности построения мультифизических и многомасштабных вычислительных моделей и использовании численного моделирования для прогнозирования свойств и оптимизации конструкций, полученных с использованием технологии АП.

Многомасштабные вычислительные методы в АП. Моделирование процессов АП требует многомасштабного подхода: макроскопического масштаба для описания эволюции термомеханических полей, мезоскопического масштаба для прогнозирования динамики ванны расплава и микромасштаба для описания формирования микро-структуры.

Моделирование процессов на основе методов конечных элементов или вычислительной гидродинамики часто дополняют экспериментальные измерения для прогнозирования появления различных технологических дефектов, таких как трещин или пор, а также для оценки шероховатости поверхности готовых деталей [2]. На мезо- и микроуровне стохастические модели, такие как клеточные автоматы или кинетический метод Монте-Карло, могут предоставить микрофотографии зернистых структур, близких к экспериментально наблюдаемым. Тем не менее, такие модели оставляют в стороне многие физические явления, полагаясь на эффективные подгоночные параметры, которые не могут быть универсальными и должны быть приспособлены для каждого нового интересующего материала. Напротив, моделирование в рамках метода фазового поля обеспечивает гораздо более полное описание процесса затвердевания на микроуровне, которое включает образование дендритов, микросегрегацию и осаждение. Компьютерные модели метода фазовых полей могут быть объединены с моделями метода классических клеточных автоматов для изучения конкурентного роста столбчатых дендритных зерен в условиях температурного градиента [3]. Метод многомасштабного фазового поля также можно использовать для описания гетерогенного зарождения, отбора зерен и эпитаксиального роста для оценки роли различных технологических параметров 3D печати [4].



На наномасштабном уровне с использованием моделирования методом молекулярной динамики (МД) чаще всего изучается процесс микроселективного лазерного сплавления для исследования закономерностей плавления и затвердевания металлических нанопорошинок. При этом, несмотря на малые пространственные и временные масштабы, многие процессы затвердевания были исследованы именно на наноуровне.

Наномасштаб. В пионерской работе Лу и Спзунар [5] с использованием МД моделирования были описаны структурные изменения, вызванные быстрым затвердеванием. Установлено, что быстрая закалка приводит к неравновесному стеклообразному состоянию, а медленное охлаждение приводит к кристаллическому состоянию. Характеристики фронта затвердевания были измерены методом МД в двухфазных металлических системах в изотермических условиях для различных ориентаций границы твердое тело – жидкость с целью получения кинетических коэффициентов [6]. Случай направленного затвердевания был изучен с использованием неравновесного МД моделирования для сплавов Al-Cu [7] и сталей, легированных CrNi [8]. Крупномасштабное моделирование МД с несколькими миллионами атомов использовалось для изучения самых первых стадий затвердевания в различных металлических системах. В работе [9] изучалось гомогенное зародышеобразование при постоянной температуре переохлаждения или при постоянной скорости охлаждения расплавленного металла.

Неравновесный фазовый переход, инициированный мощным объемным тепловым источником в наночастице меди, был исследован в работе [10]. Согласно полученным результатам при определенных условиях плотности мощности источника и размера частицы картина фазового перехода меняется. Возникают условия для образования локально неустойчивого состояния нанокристалла и возникновению в глубине образца одной или несколько областей расплава.

На рисунке 1 показано пространственное распределение параметра порядка, температуры и структуры, для частицы диаметром 50 нм и содержащей более восьми миллионов атомов, в момент времени, когда частица находится в процессе фазового перехода плавления. Хорошо видно «кольцо» материала, сохранившего кристаллическую структуру, тогда как в центре и на периферии материал перешёл в жидкое состояние. При этом температура нерасплавленного «кольца» заметно выше температуры плавления и температуры окружающего расплава. Если рассматривать всю частицу целиком, то в процессе фазового перехода плавления образуется сфера, сохранившая кристаллическое состояние и окруженная расплавом, как с внешней стороны, так и в центральной части. В случае уменьшения размера частицы при той же плотности мощности источника процесс плавления происходит только со свободной поверхности и внутренних точек расплава не наблюдается. Для более крупной частицы появление внутренних областей расплава возможно при меньших значениях плотности мощности источника.

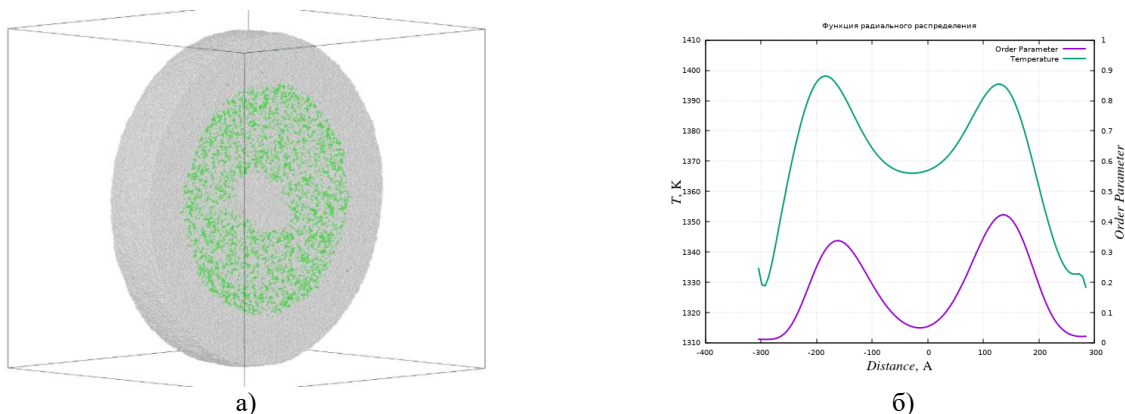


Рис. 1. Структура (а), зависимость температуры и параметра порядка вдоль выбранного слоя (б).  
На рисунке (а) цветом отмечены атомные конфигурации с различными типами кристаллической структуры, определёнными согласно СНА анализу: зелёным – ГЦК, серым – остальные (неидентифицируемые)

На рисунке 2 показана структура слоя атомов моделируемой частицы на этапе кристаллизации, инициированной путем контакта порошинки с холодной стенкой. Видно, что для частично расплавленного образца (рис. 2а) формируется монокристаллическая структура, однако при этом образуется небольшое количество планарных дефектов, соответствующих различным дефектам упаковки.

При охлаждении полностью расплавленной частицы наблюдается формирование нанокристаллической структуры, содержащей большое число планарных дефектов типа дефектов упаковки и двойников в отдельных нанозернах (рис. 2б).

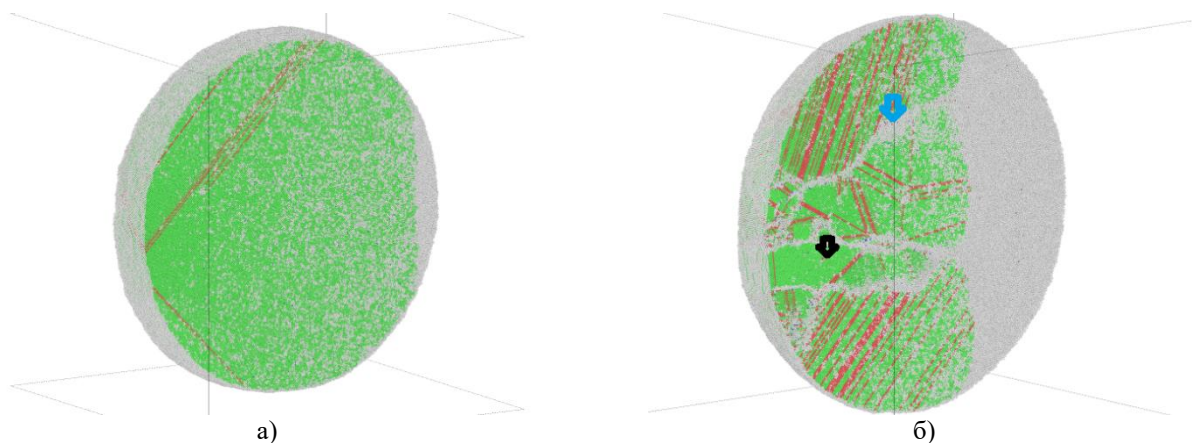


Рис. 2. Структура частиц на этапе завершения процесса кристаллизации исходно содержащих различную долю кристаллической структуры: около 20% (а) полностью расплавленная (б).

Красные полосы – плоскости с ГПУ локальной структурой.  
Стрелками отмечены отдельно нанозерно и межзеренная граница

Формирование подобных нанокристаллических структур в ходе процесса кристаллизации отмечалось также в работе [11], где этот процесс анализировался в зависимости от градиента температуры. На рис. 3 приведены результирующие структуры для системы Ti-Nb, полученные для различных скоростей охлаждения: 9.5, 5.7 и 3.1 град/пс. Видно, что доля атомов с решеткой ОЦК зависит от скорости охлаждения и составляет 11.2 %, 56.2 % и 87.7 %, соответственно. Дальнейшее снижение скорости охлаждения системы не привело к заметному изменению доли атомов с ОЦК решеткой в результирующем состоянии. Таким образом, скорость охлаждения 3.1 град/пс или менее для рассматриваемой двухкомпонентной системы оказалась достаточной для формирования результирующей поликристаллической структуры бета сплава системы Ti-Nb. Оставшиеся 12 % соответствуют атомам, расположенным, вблизи образовавшихся межзеренных границ.

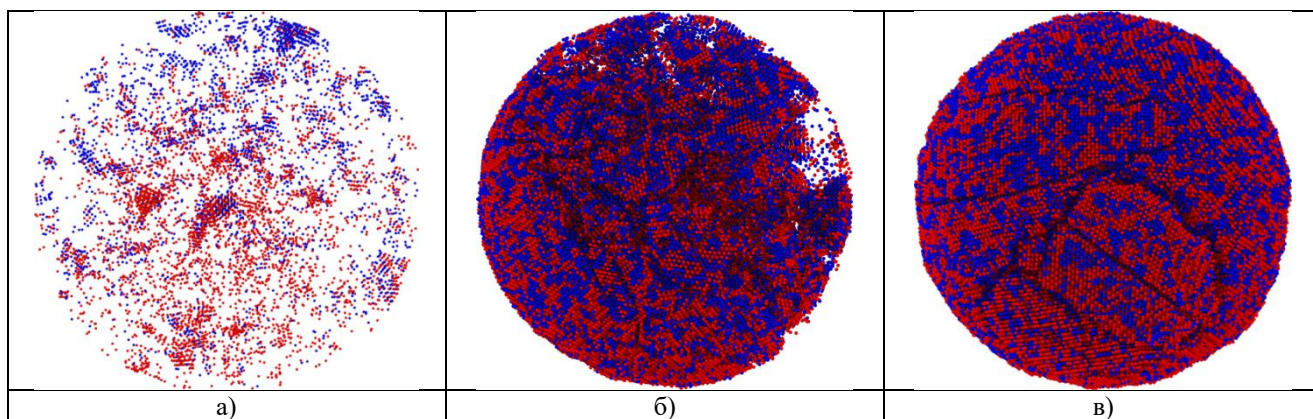


Рис. 3. Результаты МД моделирования процесса кристаллизации системы Ti-Nb

Макромасштаб. Как отмечалось выше, компьютерные модели макромасштаба традиционно используются в АП для описания эволюции термомеханических полей в ходе статического или динамического внешнего воздействия всего изделия или его значительного фрагмента. Примером такого подхода может быть численное описание механического отклика на одноосное растяжение мета-материала, представляющего собой каркас с регулярной структурой, изображенный на рис. 4.

Особенность таких материалов заключается в демонстрации аномальных механических свойств, как то отрицательный коэффициент Пуассона, нулевой или отрицательный коэффициент теплового расширения.

С помощью конечно-элементного моделирования было установлено, что добиться проявления отрицательного коэффициента Пуассона для мета-материала удастся в случае, если часть его стержневой системы будет образовывать некоторый угол с осью нагружения. Дизайн элементарной ячейки такого мета-материала с углом порядка  $\pm 74^\circ$  проиллюстрирован на рисунке 4а. В результате приложения растягивающей нагрузки вдоль оси Z получается поле смещений, представленное на рисунке 4б. Аналогично поведению элементарной ячейки, вся конструкция также демонстрирует механическое поведение, свойственное материалам ауксетикам – конструкция испытывает растяжение при внешней растягивающей нагрузке.

Из представленных результатов можно сделать следующие выводы.

В работе продемонстрированы примеры построения многомасштабных вычислительных моделей и приведены результаты численного моделирования, позволяющие спрогнозировать некоторые свойства материалов и изделий, получаемых с использованием технологии АП. В частности на атомном масштабе представлены результаты МД моделирования процесса фазового перехода плавления, инициированного мощным объемным тепловым источником в наночастице меди и процесса затвердевания при различных внешних условиях. Отмечается формирование нано-кристаллической структуры в затвердевающих частицах и определены оптимальные условия для данного процесса. На макромасштабе, с использованием конечно-элементного моделирования определены условия, необходимые для изготовления структуры мета-материала, демонстрирующего отрицательный коэффициент Пуассона. Очевидно, что достоверность результатов моделирования должна быть валидирована результатами экспериментальных исследований.

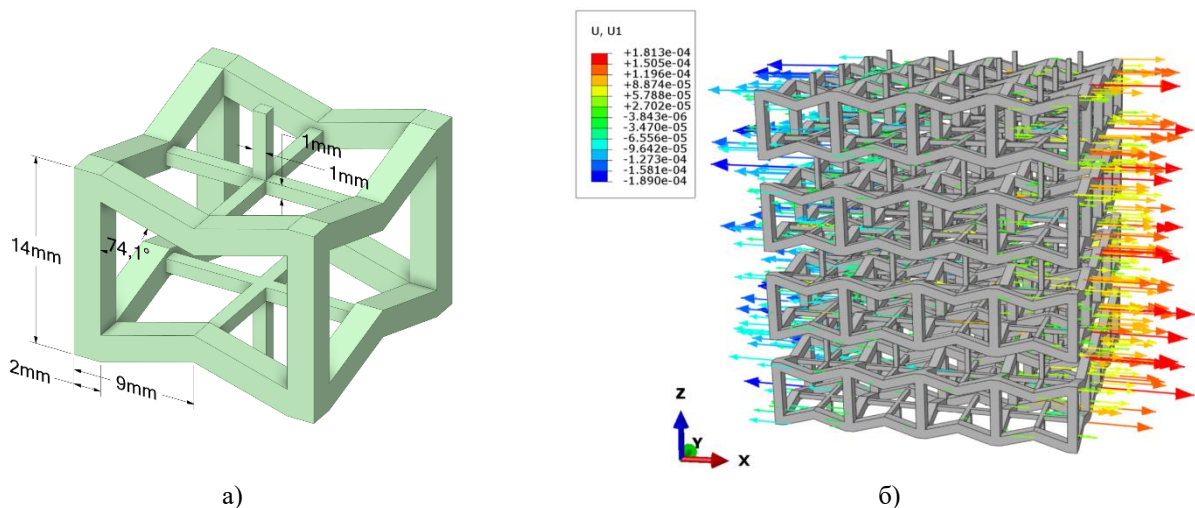


Рис. 4. Структура элементарной ячейки (а)  
и поле смещений узлов конечно-элементной сетки при одноосном растяжении (б) мета-материала

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0005.

Список использованных источников:

1. Kim F.H. Literature review of metal additive manufacturing defects in NIST AMS 100-16 / F.H. Kim, S.P. Moylan // Gaithersburg, MD: NIST. – 2018.
2. Tan J.H.K. Microstructure modelling for metallic additive manufacturing: a review / J.H.K. Tan, S.L. Sing, W.Y. Yeong // Virtual Phys. Prototyp. – 2020. – Vol. 15. – P. 87–105.
3. Growth competition between columnar dendritic grains – The role of microstructural length scales / E. Dorari [et al.] // Acta Mater. – 2022. – Vol. 223. – P. 117395.
4. Insight into the mechanisms of columnar to equiaxed grain transition during T metallic additive manufacturing / P. Liu [et al.] // Addit. Manuf. – 2019. – Vol. 26. – P. 22–29.
5. Lu J. Molecular-dynamics simulation of rapid solidification of aluminum / J. Lu, J.A. Szipunar // Acta Metall. Mater. – 1993. – Vol. 41. – P. 2291–2295.

6. Celestini F. Measuring kinetic coefficients by molecular dynamics simulation of zone melting / F. Celestini, J.M. Debierre // *Phys. Rev. E.* – 2002. – Vol. 65. – P. 041605.
7. Mahata A. Effects of solidification defects on nanoscale mechanical properties of rapid T directionally solidified Al-Cu Alloy: A large scale molecular dynamics study / A. Mahata, M.A. Zaem // *J. Cryst. Growth.* – 2019. – Vol. 527. – P. 125255.
8. Nano-scale simulation of directional solidification in TWIP stainless steels: A focus on plastic deformation mechanisms / M. Bahramyan [et al.] // *Mater. Sci. Eng. A.* – 2021. – Vol 812. – P. 140999.
9. Heterogeneity in homogeneous nucleation from billion-atom molecular dynamics simulation of solidification of pure metal / Y. Shibuta [et al.] // *Nat. Commun.* – 2017. – Vol. 8. – P. 10.
10. Korostelev S.Y. The Physical Foundations of 3D-Printing Technology. Molecular Dynamics Simulation / S.Y. Korostelev, E.E. Slyadnikov, I.Y. Turchanovsky // *Russ. Phys. J.* – 2022. – Vol. 65. – P. 1290–1298.
11. Numerical study of mechanical properties of nanoparticles of  $\beta$ -type Ti-Nb alloy under conditions identical to laser sintering. Multilevel approach / Nikonov A.Yu. [et al.] // *Phys. Mesomech.* – 2018. – Vol. 21. – P. 43–51.

# **Секция 2**

---

**Информационные технологии  
и автоматизация  
производственных процессов**

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НОРМОКОНТРОЛЯ В ВУЗЕ: МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ

*А.А. Захарова<sup>а</sup>, проф., д.т.н., А.М. Аверьянова<sup>б</sup>, К.Д. Глухих<sup>в</sup>, магистранты  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40*

*E-mails: <sup>а</sup> zacharovaa@mail.ru, <sup>б</sup> averjyanova-anna@mail.ru, <sup>в</sup> ksenia2801@mail.ru*

**Аннотация:** Стандартизация в процессе разработки конструкторской и проектной документации является одним из условий качественной и эффективной реализации производственных процессов, а, соответственно, требует формирования навыков создания документации в соответствии со стандартами у выпускников профессиональных образовательных учреждений. Существенные трудовые и финансовые затраты, связанные с нормоконтролем студенческих работ, а также наличие рутинных операций определяет актуальность задачи автоматизации процессов по управлению нормоконтролем в вузе. В статье представлены результаты моделирования процессов управления, диаграммы по организации и планированию нормоконтроля в университете в двух нотациях: DFD, IDEF3. Кроме того, приводятся преимущества использования автоматизированных систем для реализации проверки документов в университете.

**Ключевые слова:** нормоконтроль, моделирование, процессы, университет, автоматизированная информационная система, DFD, IDEF3.

**Abstract:** Standardization in the process of developing design and project documentation is one of the conditions for the high-quality and efficient implementation of production processes, and, accordingly, requires the formation of skills for creating documentation in accordance with the standards of graduates of professional educational institutions. Significant labor and financial costs associated with the normative control of student work, as well as the presence of routine operations, determine the relevance of the task of automating the processes of managing normative control at the university. The article presents the results of modeling management processes, diagrams on the organization and planning of normative control at the university in two notations: DFD, IDEF3. In addition, the advantages of using automated systems for the implementation of document verification at the university are given.

**Keywords:** norm control, modeling, processes, university, automated information system, DFD, IDEF3,

Нормоконтроль конструкторской и проектной документации является неотъемлемым условием достижения заданного уровня качества продукции, а, соответственно, влияет на экономические и финансовые показатели деятельности наукоемкого и высокотехнологичного предприятия [1]. Согласно ГОСТ [2] нормоконтролю подлежат документы различного вида: чертежи, текстовые документы, ведомости и спецификации, другие конструкторские документы, в т. ч. электронные. В связи наличием рутинных операций вопросы автоматизации нормоконтроля являются актуальными, но в связи со спецификой отраслей и видов деятельности предприятий, программные продукты создаются под потребности конкретной организации. Например, программа электронного нормоконтроля проектной документации [3] создана для проектных работ в нефтяной промышленности, в ней автоматизирован процесс проверки корректности заполнения штампа графических и текстовых документов.

Навыки правильного оформления конструкторской и другой документации является важнейшей компетенцией выпускников технического профиля, что определяет важность введения процессов нормоконтроля в учебной деятельности любых профессиональных учебных заведений [4]. Соответственно, это требует организации процессов нормоконтроля на методологическом, нормативном и финансово-экономическом уровнях. При этом в связи с большими объемами работ, проходящих нормоконтроль, высокой трудоемкостью, значительными финансовыми затратами на процесс нормоконтроля, а также наличием рутинных операций, актуальной задачей является автоматизация процесса нормоконтроля [5]. В статье рассмотрим процесс автоматизации нормоконтроля на примере вуза и только относительно текстовых документов, поскольку таких документов в вузах большинство: отчеты о лабораторных работах, курсовые работы и проекты, отчеты по практикам, выпускные квалификационные работы; также студенты пишут научные статьи, оформляют отчет о НИР.

Для создания автоматизированной информационной системы требуется понять, как происходит процесс планирования и реализации нормоконтроля в ВУЗе.

Учебное управление университета занимается организацией и проведением учебного процесса с целью грамотной подготовки профессионалов высокого уровня, соблюдения стандартов образования и координации работы преподавательского состава в рамках образовательной программы.

Структура учебного управления [6]:

- учебный отдел;
- организационно-методический отдел (ОМО);

– отдел сопровождения образовательного процесса (ОСОП).

По большей части нас интересует учебный отдел, так как в его задачи входит:

– корректировка, проверка, согласование и представление на утверждение ректору рабочих учебных планов (РУП) и изменений в них в соответствии с требованиями ФГОС ВО для специальностей и направлений подготовки всех форм и технологий обучения в университете;

– организация составления деканатами семестровых рабочих планов занятий на учебный год и контроль их соответствия утверждённым и исправленным РУП;

– организация, разработка и внедрение в университете новых технологий планирования учебного процесса с применением автоматизированных систем;

– разработка и совершенствование методик распределения штатов ППС и УВП между учебными подразделениями университета, а также предложений по нормированию учебной работы преподавателей [1].

Из рабочих учебных планов, выясняется объём проверяемой документации, нагрузка и оплата за проверку нормоконтроля, следовательно, внешней сущностью будет являться учебное управление, в частности учебный отдел. После утверждения объема проверяемой документации назначаются ответственные за нормоконтроль. Процесс проверки происходит таким образом:

1. Студент отправляет работу, подлежащую проверке на нормоконтроль ответственному лицу.
2. Работа проверяется.
3. Либо возвращается на доработку с замечаниями, либо принимается.
4. После успешной сдачи нормоконтроля работа находится на кафедре.

На рисунке 1 представлена диаграмма DFD (Data Flow Diagrams) (as-is), а на рисунке 2 представлена диаграмма DFD (Data Flow Diagrams) (as-to-be).

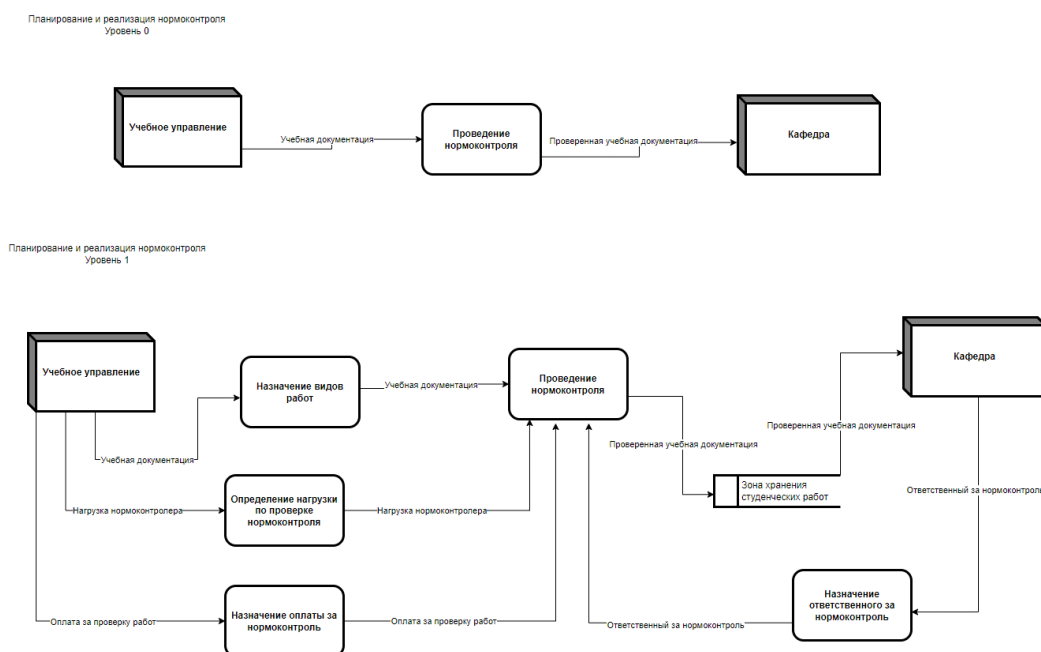


Рис. 1. Диаграмма DFD (as-is)

На диаграмме to-be появляется архив проверенных работ. Создание общего архива для хранения проверенных работ всего университета имеет несколько положительных качеств:

1. Снижение нагрузки на кафедру. Кафедре не придется нести большую ответственность за сохранность и утерю работ.

2. Удобство хранения. Создание общего архива позволяет хранить все проверенные работы в одном месте, что упрощает их поиск и доступность.

3. Улучшение качества обучения. Сотрудники университета могут использовать проверенные работы в качестве образцов для студентов, что помогает им понимать, как требуется выполнять задания.

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

4. Защита от потерь. При хранении работ в одном месте, при этом в определенном порядке, обеспечивается защита от потери информации.
5. Совместное использование. Общий архив может быть использован сразу несколькими преподавателями с разных кафедр, улучшая взаимодействие и координацию между ними.
6. Эффективность проверки. Проверяющие могут быстро сравнивать работы студентов из разных групп и семестров, обращая внимание на тенденции, слабости и сильные стороны содержания ранее проверенных работ.

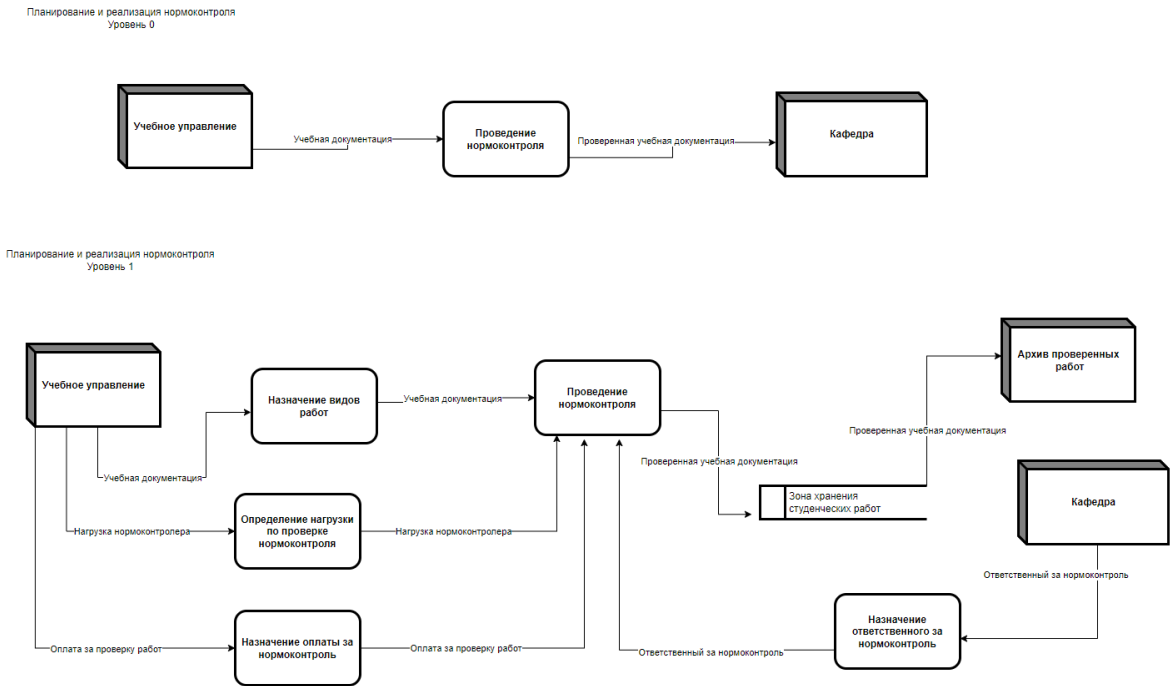


Рис. 2. Диаграмма DFD (as-to-be)

Для более наглядного и детального представления рассмотрим процесс планирования и реализации нормоконтроля в ВУЗе в нотации IDEF3 (Integrated DEFinition for Process Description Capture Method). Данная диаграмма представлена на рисунках 3–4. Данная диаграмма построена на основе DFD диаграммы (as-is).

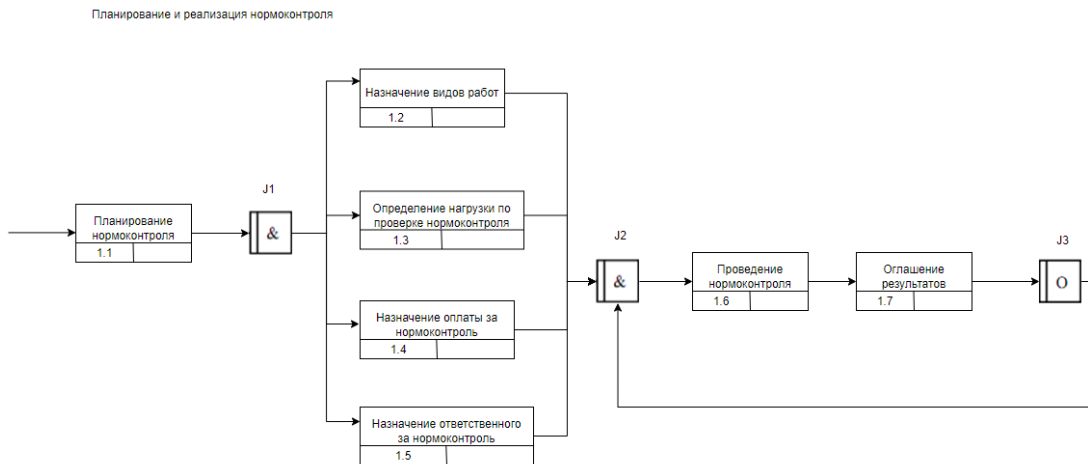


Рис. 3. Диаграмма IDEF3 часть 1



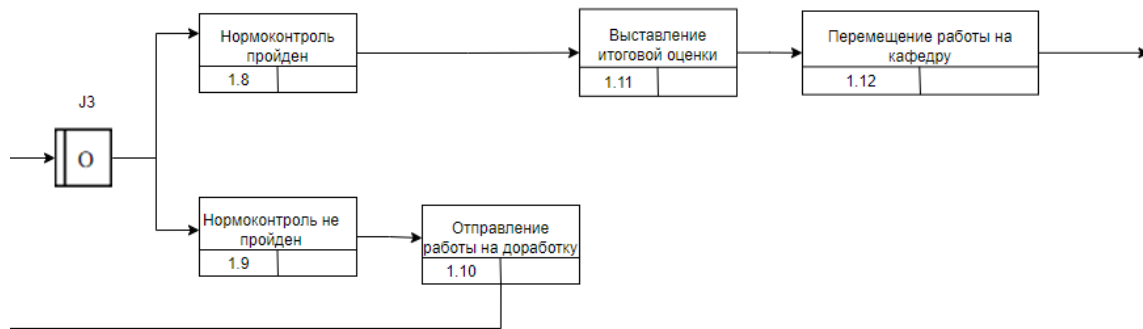


Рис. 4. Диаграмма IDEF3 часть 2

В заключении можно отметить, что создание автоматизированной информационной системы по проверке работ в университете является актуальной проблемой в настоящее время. Ее внедрение позволит значительно упростить и ускорить процесс проверки студенческих работ, а также повысить качество образовательного процесса в целом.

Разработанное приложение позволит автоматизировать процесс проверки работ на соответствие установленным требованиям, уменьшить затраты времени на проверку, повысить эффективность учебного процесса и улучшить коммуникацию между преподавателями и студентами.

Кроме того, автоматизация проверки работ снизит риск ошибок и исключит возможность пропуска ошибок при проверке, что в свою очередь повысит качество образовательного процесса в целом.

Таким образом, проектирование автоматизированной информационной системы по проверке работ в университете является важным шагом в улучшении качества образования и повышении эффективности учебного процесса.

Список использованных источников:

1. Назарцева А.А. Роль нормоконтроля в повышение качества продукции машиностроения / А.А. Назарцева, А.В. Губарев // Современные материалы, техника и технология : сборник научных статей 7-й международной научно-практической конференции. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2017. – С. 256–260.
2. ГОСТ 2.111–2013 Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль. – М.: Стандартинформ, 2019. – 13 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019664116. Российская Федерация. Программа электронного нормоконтроля проектной документации («Нормоконтроль») / З.В. Юхимчук, Л.Д. Зубова; заявитель Акционерное общество «Институт по проектированию и исследовательским работам в нефтяной промышленности «ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ». – № 2019663175; заявл. 22.10.2019; опублик. 30.10.2019.
4. Соколов А.М. Нормоконтроль в техническом вузе: проблемы и пути их решения / А.М. Соколов // Высшее образование сегодня. – 2015. – № 8. – С. 26–28.
5. Захарова А.А. Проблема автоматизации проведения нормоконтроля студенческих работ в вузах / А.А. Захарова, А.М. Аверьянова, К.Д. Глухих // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2022. – № 1-2. – С. 106–109.
6. Учебный отдел: сайт ТУСУРа. – URL : <https://tusur.ru/ru/o-tusure/struktura-i-organy-upravleniya/departament-obrazovaniya/uchebnoe-upravlenie/uchebnyy-otdel> (дата обращения: 13.04.2023). – Текст электронный.

## ОБЛАКА ДЛЯ БАНКОВ: НЕИЗБЕЖНЫЙ ПЕРЕХОД И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

*С.В. Разумников, к.т.н., доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального Томского политехнического университета  
652055, г. Юрга, Ленинградская 26, тел. 8(38451)77764*

*E-mail: demolove7@inbox.ru*

**Аннотация.** Между банками идет борьба в цифровом пространстве: у кого лучше приложения, выше уровень ИБ, оптимальнее продуктовая линейка и пр. Обеспечить максимально быстрое развитие банков в digital можно только с использованием облачных сервисов, а также различных вариантов комбинации облачных платформ с собственными ИТ-ресурсами банков.

**Ключевые слова:** банки, облачные технологии, переход, искусственный интеллект (ИИ), информационная безопасность (ИБ).

**Annotation.** There is a struggle between banks in the digital space: who has the best applications, the highest level of information security, the best product line, etc. It is possible to ensure the fastest possible development of banks in digital only using cloud services, as well as various options for combining cloud platforms with the banks' own IT resources .

**Keywords:** banks, cloud technologies, transition, artificial intelligence (AI), information security (IS).

В новой реальности

По данным глобального исследования компании Accenture 2021 года, 80 % банков во всем мире в последние 2–3 года столкнулись с беспрецедентными по скорости и масштабам технологическими изменениями.

Так, значительные перемены происходят на уровне требований регуляторов, а также в сфере ИБ. Центробанкам приходится искать баланс между регулированием и стремительной цифровизацией отрасли, что приводит к появлению новых регуляторов (например, система AnaCredit ЕЦБ).

Новые киберугрозы определяют необходимость использования максимально эффективных инструментов и подходов к реагированию на инциденты, а также к их профилактике.

Появляются и чисто отраслевые вызовы, не существовавшие ранее. Например, по тем же данным Accenture, 38 % выручки классических банков Азиатско-Тихоокеанского региона (АРАС) к 2025 году может быть упущена из-за быстро растущих цифровых конкурентов в сегменте финтех.

Переход к цифровому банкингу остается одним из главных трендов в отрасли: все больше клиентов ожидают индивидуального подхода при взаимодействии с банком. И уже в 2020 году 50 % всех клиентов пользовались мобильным приложением или интернет-банком не реже 1 раза в неделю.

77 % руководителей финансовых учреждений, опрошенных Accenture, на этом фоне считают технологическую архитектуру критичной для успеха всей организации.

Кроме того, уход западных вендоров заставил банки в РФ задуматься об устойчивости технологического стека. На этом фоне многие пересмотрели подходы к архитектуре построения ИТ-инфраструктуры и, в частности приложений.

Возник вопрос сохранения работоспособности уже реализованной ИТ-инфраструктуры и развернутых на ней систем. Часть «коробочных» приложений была «взломана» (нашлись различные пути обхода ограничений на работу в РФ), для другой части были подобраны аналоги – open source, собственная разработка.

Многим лидирующим банкам пришлось поменять стратегию развития ИТ-ландшафта в сторону digital decoupling и оптимизации использования вычислительных мощностей.

Для банков второго десятка крайне актуальным стал вопрос организации облачных конструкций и более активное использование облачных сервисов, в том числе по модели PaaS и SaaS.

Один из главных вызовов сегодня – вопросы к уровню зрелости российских облачных провайдеров в части предлагаемых сервисов. Так, почти всем банкам нужны зрелые инструменты управления гибридными и мультиоблаками, которые никто из российских вендоров и провайдеров не предлагает.

Стандарт XXI века

Основной лейтмотив цифровизации банков – развитие новых эффективных, гибких и безопасных сервисов невозможен без облачных решений. Почему? Современная парадигма разработки клиентских сервисов диктует высокую скорость вывода новых продуктов на рынок при постоянно растущем уровне качества клиентского опыта.

Между банками идет постоянная конкурентная борьба в цифровом пространстве: у кого лучше пользовательский интерфейс приложения, выше уровень безопасности цифровых инструментов, больше экосистема партнеров в цифровом пространстве и т. д.

Обеспечить максимально быстрое развитие банков в digital можно только на основе отказоустойчивой, гибкой, масштабируемой, защищенной и обеспечивающей быструю скорость разработки инфраструктуре.

Для большинства это достижимо с использованием значимых объемов облачных сервисов – будь то частное или публичное облако, а также различных вариантов комбинации облачных платформ с собственными ИТ-ресурсами банков.

Например, безопасный конвейер разработки оптимально разворачивать с использованием облака. Это ускоряет процесс разработки за счет экономии на инфраструктурных задачах и настройке оптимальной среды под специфические задачи написания и тестирования кода.

Мост в будущее

Говоря о ценности облаков для банков в современных реалиях, отметим упрощение проведения цифрового декаплинга (digital decoupling) – разделение монолитных коробочных решений на микросервисы, обладающие конкретной функциональностью, для обеспечения гибкости новых продуктов и экосистемы.

Во многих банках (особенно старых и крупных) существует проблема унаследованных (legacy) архитектур. Ключевые для бизнес-процессов банка ИТ-системы развернуты на дорогом проприетарном оборудовании, с годами эта привязка к «железу» определенного типа становится проблемой.

По мере того как динамика бизнеса ускоряется, появляется потребность в быстрой доработке таких ИТ-систем для вывода новых продуктов. Нередко без декаплинга, например, выноса продуктового слоя на облачные микросервисные платформы, эту проблему не решить.

Таким образом, создается своего рода «ИТ-слой», на основе которого можно проектировать и разворачивать дополнительные сервисы, комбинирующие традиционные банковские продукты с инструментами участников партнерских экосистем, в том числе финтех-компаний.

Сегодня также оптимально использовать облачные интеллектуальные аналитические решения, например, различные алгоритмы ИИ и средства продвинутой аналитики в целях повышения эффективности продаж, качества обслуживания клиентов и т. д. Эти же инструменты позволяют «прокачать» качество анализа рисков, кредитного скоринга и финансовой отчетности.

Облака в сочетании с микросервисной архитектурой также позволяют сразу интегрировать пакеты и решения SaaS в цепочку создания ценности банка через их взаимодействие со всей ИТ-архитектурой – как раз за счет более «подвижного» ИТ-ядра, основанного на микросервисах и облачных решениях

Планы и возможности

Несмотря на то, что классический подход к ИТ в банках продолжит существовать, со временем большинство приложений и нагрузок неизбежно мигрируют на облачные платформы.

Причем некоторые бизнес-критичные приложения будут реализованы изначально как cloud-native решения, например ИИ-платформы и сценарии, связанные с машинным обучением.

Это подтверждается глобальными показателями современной динамики адаптации облаков в целом: по данным Flexera, сегодня около 93 % предприятий в мире разработали мультиоблачную стратегию ИТ-развития (87 % – стратегию использования гибридного облака), а 53 % так или иначе используют несколько публичных и частных облаков в повседневной практике.

Переход ставит перед банками ряд вызовов, например организацию управления сложным ландшафтом рисков, который помимо чисто технических задач включает в себя выполнение регуляторных и нормативных требований.

Внутри банка адаптация гибридных моделей ИТ-инфраструктуры затрагивает широкий круг стейкхолдеров, заставляя их решать задачи перераспределения ответственности, продумывать архитектурные решения в привязке к обеспечению ИБ и конфиденциальности данных, совместимости со стекком партнеров и провайдеров внешних ИТ-ресурсов.

Однако если решить все эти вызовы успешно, банки получают возможность выйти на новые скорости запуска современных продуктов, что позволит улучшить мобильность и гибкость при освоении новых сегментов рынка.

Например, в Bank of Baroda внедрение облачной платформы данных и продвинутой аналитики для разработки пользовательских профилей и путей взаимодействия помогло наладить быструю генерацию инсайтов и сценариев. Это принесло дополнительные \$600 млн выручки от новых кросс-продаж.

Банк Santander через трансформацию автокредитных операций с использованием облачного аналитического решения SynOps увеличил рост выручки по направлению на 64 %.

В Bankia по итогам внедрения гибкого, масштабируемого решения с использованием облачных инструментов RPA и ИИ удалось обеспечить рост операционной эффективности на 50 %.

#### Заключение

Облачные решения сегодня нужны многим банкам, а основной адресат cloud-предложения в данный момент – банки второго дивизиона. Между тем некоторым игрокам из топ-10 облака также помогли бы решить ряд задач цифрового развития.

Однако осуществить его можно только устранив барьеры трансформации: многим сегодня необходимо менять управление рисками и ИБ, например, через применение риск-ориентированного подхода, который позволяет гораздо быстрее адаптировать облачные решения.

Помимо этого, банкам следует плотнее сотрудничать с отечественными облачными провайдерами, чтобы последние лучше понимали потребность отрасли и предлагали нужные решения. Это могут быть либо свои разработки, либо решения технологических партнеров.

Этим уже необходимо заниматься, поскольку исходные условия в виде достойных аналитических платформ, например Data Lens от Яндекс, уже обеспечено. Так, данную платформу при определенных доработках можно использовать для оценки заемщиков и скоринга.

#### Список использованных источников:

1. Разумников С.В. Планирование развития облачной стратегии на основе применения многокритериальной оптимизации и метода STEM / С.В. Разумников // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 23. – № 1. – С. 53–61.
2. Разумников С.В. Разработка программного обеспечения агрегированных рейтингов на основе метода порогового агрегирования / С.В. Разумников // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2021. – № 2. – С. 138–152.
3. Разумников С.В. Модели, алгоритмы и программное обеспечение поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии: монография / С.В. Разумников // Изд-во Томского политехнического университета. – 2020. – 176 с.

### ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ

*Е.В. Телипенко, к.т.н., доцент,*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета*

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

*E-mail: telipenko@tpu.ru*

**Аннотация:** в статье рассматривается информационная система для оценки и анализа производственных рисков методом анкетирования, а также расчета индивидуального профессионального риска работника в зависимости от условий труда, состояния здоровья, его возраста и трудового стажа.

**Ключевые слова:** оценка риска, индивидуальный профессиональный риск (ИПР), предприятие, справочник, документ, отчет, учет, анализ.

**Abstract:** the article discusses an information system for assessing and analyzing industrial risks by the method of questioning, as well as calculating the individual occupational risk of an employee depending on working conditions, health status, age and work experience.

**Keywords:** risk assessment, individual occupational risk, enterprise, directory, document, report, accounting, analysis.

Вопросы сохранения жизни и здоровья человека всегда были и остаются одними из приоритетных, особенно если речь идет о работе на промышленных предприятиях и производствах. Работники таких предприятий нередко подвержены влиянию различных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть как при штатном режиме работы, так и при внештатной ситуации. Работая продолжительное время на производстве, человек приобретает заболевания, связанные с его профессиональной деятельностью. Таким образом, остро стоит задача обеспечения безопасности труда рабочих. Для того чтобы решить эту задачу, необходим комплекс мер: выявление вредных и опасных факторов на рабочих местах, оценка риска на рабочих местах, отслеживание динамики риска, учет заболеваний и несчастных случаев, выработка мер по устранению проблем и нарушений. Для обеспечения качественного решения поставленных задач необходим специальный инструмент. В качестве такого инструмента может выступать информационная система по оценке и анализу производственных рисков.

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

Выявление опасностей на рабочих местах можно выполнять с помощью анкет. Каждая анкета включает в себя 4 группы рисков. При этом в каждой анкете обозначено порядка 20 факторов опасности или опасных ситуаций. Учитываются различные группы факторов опасности: физические; химические; эргономические; психологическая нагрузка; риск несчастного случая.

Анкеты могут быть использованы автономно друг от друга, но при этом в совокупности они покрывают все возможные опасности и риски, которые могут возникнуть (рис.1). На отдельных наиболее проблемных или опасных участках производства можно использовать расширенные виды тематических анкет.

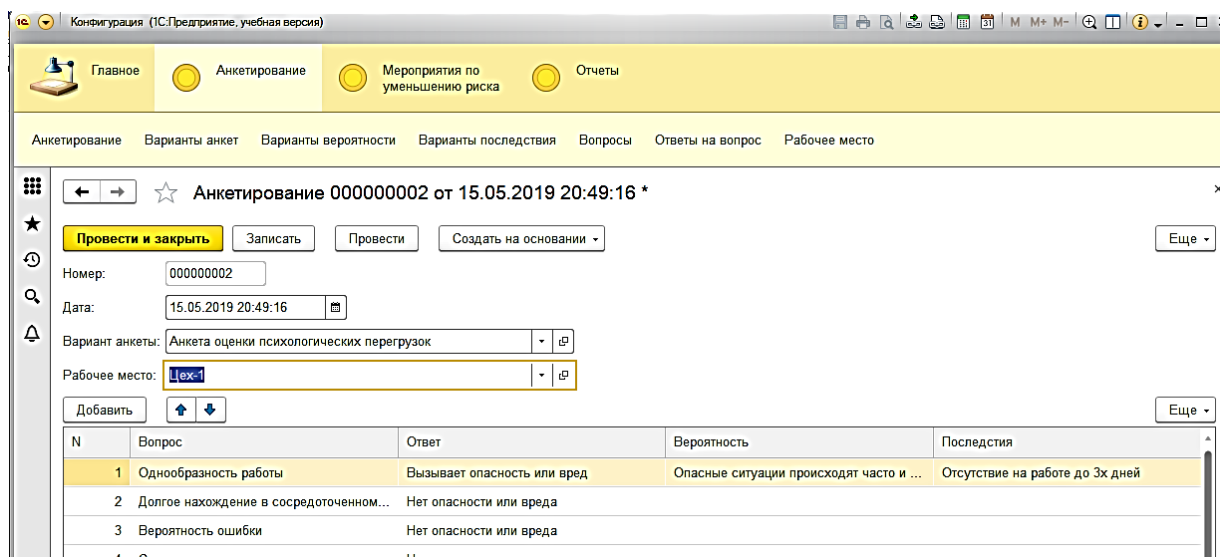


Рис. 1. Документ «Анкетирование»

Из отдельных анкет затем можно произвести отбор нужных анкет и ответов, что позволяет отсортировать анкеты по вариантам и собрать ответы из всех анкет (рис. 2–3). На основе полученной агрегированной информации можно проводить анализ, принимать управленческие решения.

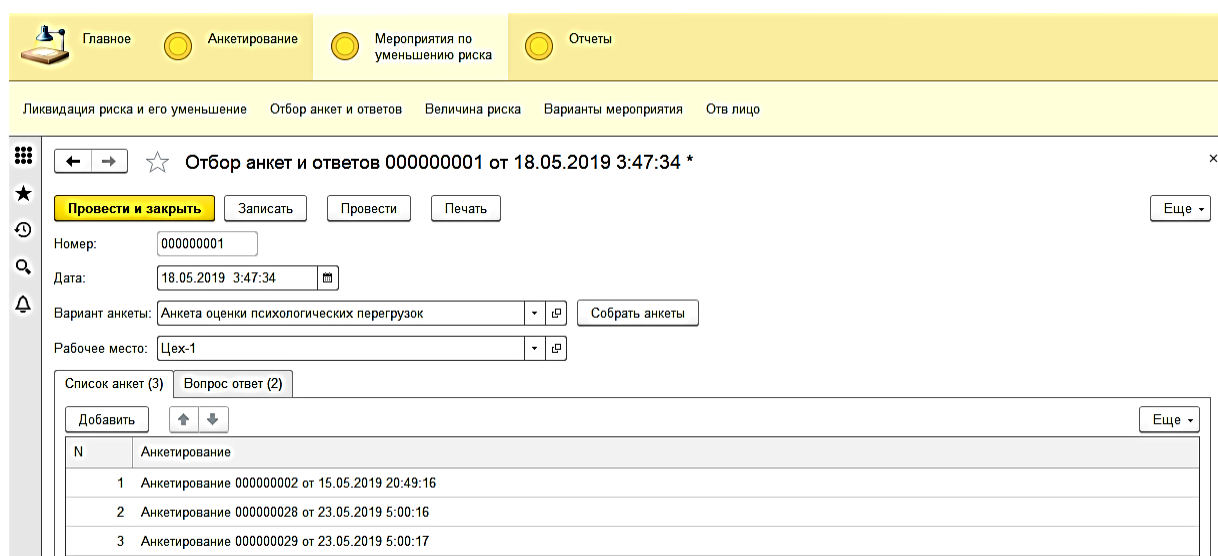


Рис. 2. Документ «Отбор анкет и ответов» (вкладка сбор анкет)

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

The screenshot shows a web application interface with a yellow header containing navigation tabs: 'Главное', 'Анкетирование', 'Мероприятия по уменьшению риска', and 'Отчеты'. Below the header is a sub-header with menu items: 'Ликвидация риска и его уменьшение', 'Отбор анкет и ответов', 'Величина риска', 'Варианты мероприятия', and 'Отв лицо'. The main content area is titled 'Отбор анкет и ответов 000000001 от 18.05.2019 3:47:34 \*'. It includes buttons for 'Провести и закрыть', 'Записать', 'Провести', and 'Печать', along with a search icon and a 'Еще -' dropdown. Below these are input fields for 'Номер:' (000000001), 'Дата:' (18.05.2019 3:47:34), 'Вариант анкеты:' (Анкета оценки психологических перегрузок), and 'Рабочее место:' (Цех-1). A 'Собрать анкеты' button is also present. A section titled 'Список анкет (3) Вопрос ответ (2)' contains a table with columns: N, Вопрос, Ответ, Вероятность, and Последствия. The table lists two items: 1. 'Однообразность работы' with an answer 'Вызывает опасность или вред', probability 'Опасные ситуации происходят часто и ...', and consequence 'Отсутствие на работе до 3х дней'; 2. 'Пыль и волокна' with an answer 'Вызывает опасность или вред', probability 'Случайные опасные ситуации возника...', and consequence 'Отсутствие на работе от 3 до 30 дней'.

Рис. 3. Документ «Сбор анкет и ответов» (вкладка вопрос ответ)

Затем можно посчитать риски, внести необходимые мероприятия назначить ответственного и поставить отметку о выполнении мероприятия (рис. 4).

The screenshot shows the same software interface as Figure 3, but the main content area is titled 'Ликвидация риска и его уменьшение 000000003 от 23.05.2019 5:29:52 \*'. It includes buttons for 'Провести и закрыть', 'Записать', 'Провести', and 'Печать', along with a search icon and a 'Еще -' dropdown. Below these are input fields for 'Номер:' (000000003), 'Дата:' (23.05.2019 5:29:52), 'Выбор варианта собранных анкет:' (Отбор анкет и ответов 000000001 от 18.05.2019 3:47:34), 'Наименование:' (Анкета оценки психологических перегрузок), and 'Рабочее место:' (Цех-1). A 'Вывести риски' button is also present. A section titled 'Добавить' contains a table with columns: N, Вопрос, Ответ, Вероятность, Последствия, Риск, Мероприятия, Срок устранения, Отв лицо, and 'Отметка о выполнении'. The table lists three items: 1. 'Однообразность работы' with an answer 'Вызывает опасност...', probability 'Опасные ситуации п...', consequence 'Отсутствие на работ...', risk 'Умеренный риск(3)', measure 'увеличить к...', deadline '31.05.2019', responsible 'Петров ...', and completion status 'Нет'; 2. 'Пыль и волокна' with an answer 'Вызывает опасност...', probability 'Случайные опасные...', consequence 'Отсутствие на работ...', risk 'Малый риск(2)', measure 'провести вп...', deadline '31.05.2019', responsible 'Петров ...', and completion status 'Нет'; 3. 'Пыль и волокна' with an answer 'Вызывает опасност...', probability 'Случайные опасные...', consequence 'Отсутствие на работ...', risk 'Малый риск(2)', measure 'провести вп...', deadline '31.05.2019', responsible 'Петров ...', and completion status 'Нет'.

Рис. 4. Документ «Ликвидация риска и его уменьшение»

Для оценки общей ситуации и принятия решений необходимо формирование отчетности.

Отчет «Анализ ликвидированных рисков» позволяет увидеть на графике сколько было обнаружено рисков за год и сколько ликвидировано, а также в табличной форме можно увидеть процент ликвидированных рисков на рабочих местах форма отчета (рис. 5).

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»



Рис. 5. Отчет «Анализ ликвидированных рисков»

Отчет «Динамика уровня риска» позволяет увидеть динамику уровня риска за прошедший период (рис. 6)

← → ☆ Отчет по динамике риска

Сформировать | Выбрать вариант... | Настройки... | Еще -

РАБОЧЕЕ МЕСТО	01.06.2018		01.07.2018		01.08.2018		01.08.2018		Уровень риска
	Уровень риска	Значение	Уровень риска	Значение	Уровень риска	Значение	Уровень риска	Значение	
Цех-1	2	малый риск	1	малозначимый риск	1	малозначимый риск	2	малый риск	2
Цех-2	3	умеренный риск	1	малозначимый риск	2	малый риск	1	малозначимый риск	3
Цех-3	2	малозначимый риск	2	малый риск	3	умеренный риск	2	малый риск	1
ИТОГО	3	умеренный риск	2	малый риск	3	умеренный риск	2	малый риск	3

Рис. 6. Отчет «Динамика уровня риска»

Отчет «Отчет по выбранным мероприятиям» позволяет увидеть количество проведенных мероприятий (рис. 7).

← → ☆ Отчет по выбранным мероприятиям

Сформировать | Выбрать вариант... | Настройки... | Еще -

Мероприятие. Вариант анкеты	Дата	Вопрос	Мероприятия	Отв лицо	Отметка о выполнении	Риск	Срок устранения	Рабочее место
Анкета оценки психологических перегрузок								
	25.06.2018 12:00:01	Однообразность работы	провести беседу	Петров П.П.	Да	Умеренный риск(3)	31.05.2019	Цех-1
		Пыль и волокна	провести влажную уборку	Петров П.П.	Нет	Малый риск(2)	31.05.2019	Цех-1
		Однообразность работы	провести беседу	Петров П.П.	Да	Умеренный риск(3)	31.05.2019	Цех-1
		Пыль и волокна	провести влажную уборку	Петров П.П.	Да	Умеренный риск(3)	31.05.2019	Цех-1
	25.07.2018 12:00:01							
	25.08.2018 12:00:01							

Рис. 7. Отчет «Отчет по выбранным мероприятиям»

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

Отчет «Отчет по уровням риска на рабочих местах» позволяет увидеть отчет по уровням риска для каждого кабинета за год. Форма отчета (рис.8).

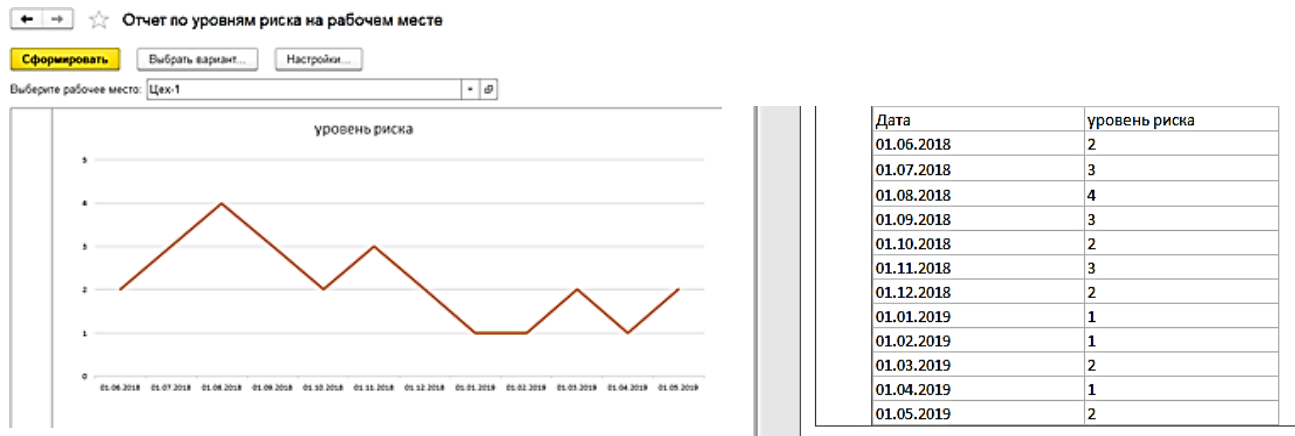


Рис. 8. Отчет «Отчет по уровням риска на рабочих местах»

Можно также рассчитать индивидуальный профессиональный риск работника, который зависит от условий труда, состояния здоровья работника, возраста и рудового стажа (рис.9).

Скриншот формы «Расчет ИПР работника». В меню: «Главное», «Ввод данных», «Расчет ИПР». Текущий раздел: «Расчет ИПР работника». Заголовок документа: «Расчет ИПР работника 000000015 от 22.04.2022 12:00:14». Кнопки: «Провести и закрыть», «Записать», «Провести», «Печать». Поля ввода: «Дата расчета: 22.04.2022 12:00:14», «Фамилия имя отчество: Колбас Станислав Николаевич», «Фактическое рабочее место: Кладовщика», «Расчетное рабочее место: Кладовщика». Кнопка «Расчитать ИПР». Результаты: «ИПР работника: 0,18», «Характеристика риска: Средний риск».

Рис. 9. Документ «Расчет ИПР работника»

В форме списка можно увидеть все индивидуальные оценки риска на рабочих местах (рис.10).

Отчет «Анализ ИПР работников по рабочим местам» – показывает данные по рабочим местам, работникам, ИПР работника и характеристику риска с выделением цветовой палитрой в зависимости от тяжести риска, с возможностью отбора по рабочим местам и характеристике риска (рис.11).



XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

Дата расчета	Фамилия имя отчество	Расчетное рабочее место	ИПР рабо...	Характеристика риска
22.04.2022 12:00:03	Волков Иван Васильевич	Заливщика форм полимерной смесью	1,08	Очень высокий риск
22.04.2022 12:00:04	Герт Татьяна Владимировна	Заливщика форм полимерной смесью	0,95	Очень высокий риск
22.04.2022 12:00:05	Гинзбург Анатолий Анатолье...	Заливщика форм полимерной смесью	1,01	Очень высокий риск
22.04.2022 12:00:06	Глушко Василий Николаевич	Подсобного работника	0,51	Очень высокий риск
22.04.2022 12:00:07	Гончаров Денис Степанович	Сотрудника охраны	0,15	Средний риск
22.04.2022 12:00:08	Громов Матвей Юрьевич	Сотрудника охраны	0,15	Средний риск
22.04.2022 12:00:09	Дунаева Марина Михайловна	Кладовщика	0,25	Высокий риск
22.04.2022 12:00:10	Злыдин Алексей Константи...	Начальника отдела кадров	0,19	Средний риск
22.04.2022 12:00:11	Иванов Вячеслав Сергеевич	Главного бухгалтера	0,11	Низкий риск
22.04.2022 12:00:12	Каструбо Анжелика Юрьевна	Бухгалтера	0,17	Средний риск
22.04.2022 12:00:13	Коваленко Екатерина Михай...	Бухгалтера	0,10	Низкий риск
22.04.2022 12:00:14	Колбас Станислав Николаевич	Кладовщика	0,18	Средний риск
22.04.2022 12:00:15	Колесникова Вероника Серг...	Уборщика производственных помещений	0,35	Высокий риск
22.04.2022 12:00:16	Крацкь Олег Афанасьевич	Сотрудника охраны	0,09	Низкий риск

Рис. 10. Форма списка «Расчет ИПР работника»

Рабочее место	Фамилия Имя Отчество	ИПР работника	Характеристика риска
Бухгалтера	Каструбо Анжелика Юрьевна	0,17	Средний риск
Бухгалтера	Коваленко Екатерина Михайловна	0,10	Низкий риск
Генерального директора	Павлов Петр Васильевич	0,09	Низкий риск
Главного бухгалтера	Иванов Вячеслав Сергеевич	0,11	Низкий риск
Заливщика форм полимерной смесью	Багратион Михаил Константинович	0,95	Очень высокий риск
Заливщика форм полимерной смесью	Волков Иван Васильевич	1,08	Очень высокий риск
Заливщика форм полимерной смесью	Герт Татьяна Владимировна	0,95	Очень высокий риск
Заливщика форм полимерной смесью	Гинзбург Анатолий Анатольевич	1,01	Очень высокий риск
Заливщика форм полимерной смесью	Турищев Михаил Павлович	1,01	Очень высокий риск
Кладовщика	Дунаева Марина Михайловна	0,25	Высокий риск
Кладовщика	Колбас Станислав Николаевич	0,18	Средний риск
Начальника отдела кадров	Злыдин Алексей Константинович	0,19	Средний риск
Начальника цеха	Михайлов Алексей Григорьевич	0,40	Очень высокий риск
Подсобного работника	Азиатцев Михаил Валерьевич	0,38	Высокий риск
Подсобного работника	Глушко Василий Николаевич	0,51	Очень высокий риск
Сотрудника отдела кадров	Андреева Наталья Сергеевна	0,24	Высокий риск
Сотрудника отдела кадров	Полевой Александр Сергеевич	0,21	Средний риск
Сотрудника охраны	Гончаров Денис Степанович	0,15	Средний риск
Сотрудника охраны	Громов Матвей Юрьевич	0,15	Средний риск
Сотрудника охраны	Крацкь Олег Афанасьевич	0,09	Низкий риск
Специалиста по охране труда	Флакин Максим Павлович	0,21	Средний риск
Уборщика офисных помещений	Кунгурова Марина Петровна	0,15	Средний риск
Уборщика офисных помещений	Негода Ольга Сергеевна	0,09	Низкий риск
Уборщика производственных помещений	Колесникова Вероника Сергеевна	0,35	Высокий риск
Уборщика производственных помещений	Тартуга Василиса Федоровна	0,48	Очень высокий риск
Уборщика производственных помещений	Чистякова Алла Михайловна	0,56	Очень высокий риск
Формовщика	Семьяков Константин Иванович	0,40	Очень высокий риск
Химика-технолога	Раскольников Кирилл Андреевич	0,20	Средний риск

Рис. 11. Отчет «Анализ ИПР работников по рабочим местам»

Применение представленной информационной системы поможет существенно снизить трудоемкость рутинных задач специалиста по охране труда и организовать систему безопасности труда на предприятии.

Регулярное применение разработанной системы позволит своевременно проводить оценку рисков, отслеживать динамику их изменения, проводить их анализ, что способствует снижению риска получить травму.

Внедрение разработанной системы является крайне актуальным для предприятия, т. к. на сегодняшний день эффективность работы, по оценке рисков значительно ниже ее возможных потенциалов. Это снижение эффективности вызвано большим количеством ручного труда, а также отсутствием аналитической и статистической обработки имеющихся данных.

Список использованных источников:

1. Единая общероссийская справочно-информационная система по охране труда: сайт. – Текст: электронный. – URL : <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-i-okhrany-truda#> (дата обращения 12.04.2023).
2. Разработка «Методики расчета индивидуального профессионального риска в зависимости от условий труда и состояния здоровья работника» и «Методики расчета интегрального показателя уровня профессионального риска в организации»: сайт. – Текст: электронный. – URL : <https://www.trudcontrol.ru/press/news/216> (дата обращения 12.04.2023).

### ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СЕКУНД С ОШИБКАМИ В ЦИФРОВЫХ ТРАКТАХ

К.А. Батенков, д.т.н., доцент  
РТУ МИРЭА

119454, Россия, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

E-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru)

**Аннотация:** Показаны основные события ошибок в цифровом канале и тракте. Продemonстрировано, что различают два метода измерения количества секунд с ошибками: синхронный и асинхронный.

**Ключевые слова:** события ошибок, секунда с ошибками, битовая ошибка, сбой, цифровая система передачи.

**Abstract:** The main error events in the digital channel and path are shown. It is demonstrated that there are two methods of measuring the number of seconds with errors: synchronous and asynchronous.

**Keyword:** error events, second with errors, bit error, failure, digital transmission system.

В цифровом канале выделяют следующие события ошибок (рис. 1) [1]:

– секунда с ошибками  $s_e$  (*ES – errored second*) – интервал, длительностью одна секунда, в течение которого обнаружен один или несколько битов с ошибками, или в течение которого регистрируется потеря сигнала (*LOS – loss of signal*) или сигнал, указывающий на тревогу (*AIS – alarm indication signal*).

– секунда с существенными ошибками  $s_s$  (*SES – Severely Errored Second*) – период в одну секунду, содержащий коэффициент битовых ошибок, больший 0,001, или в течение которого регистрируется потеря сигнала (*LOS*) или сигнал, указывающий на тревогу (*AIS*).

	состояние готовности	дефект	аномалии
увеличение на единицу числа секунд с ошибками ES	менее десяти подряд идущих секунд с существенными ошибками SES	наличие хотя бы одного дефекта	хотя бы одна битовая ошибка
увеличение на единицу числа секунд с существенными ошибками SES			коэффициент битовых ошибок более 0,001

Рис. 1. Схема регистрации событий ошибок в цифровом канале

События ошибок в цифровом тракте (рис. 2) [1]:

– блок с ошибками  $b_m$  (*EB – errored block*) – блок, содержащий один или несколько ошибочных битов;

- секунда с ошибками  $s_e$  (*ES – errored second*) – период, длительностью одна секунда, в течение которого зафиксирован один или несколько блоков с ошибками, или, по меньшей мере, с одним дефектом;
- секунда с существенными ошибками  $s_s$  (*SES – Severely Errored Second*) – период в одну секунду, имеющий более тридцати процентов блоков с ошибками, или, по меньшей мере, с одним дефектом; SES – это часть ES;
- блок с фоновыми ошибками  $b_b$  (*BBE – background block error*): блок с ошибками, не включенный в секунды  $s_s$  с существенными ошибками SES;
- период с существенными ошибками  $t_p$  (*SEP – severely errored period*) – это последовательность от трех до девяти подряд идущих секунд с существенными ошибками SES, завершением периода считается секунда, которая не входит в секунды с существенными ошибками SES [2].

	состояние готовности	дефект	аномалии
увеличение на единицу числа секунд с ошибками ES	десяти подряд идущих секунд с существенными ошибками SES	наличие хотя бы одного дефекта	хотя бы один блок с ошибками
увеличение на единицу числа секунд с существенными ошибками SES			более 30 % блоков с ошибками
увеличение на число блоков с ошибками в данной секунде числа блоков с ошибками EB			менее 30 % блоков с ошибками

Рис. 2. Схема регистрации событий ошибок в цифровом тракте

Постоянный поток секунд с существенными ошибками обычно является предвестником интервалов неготовности (*unavailability*). Интервалы подряд идущих секунд с существенными ошибками продолжительностью  $T$  секунд ( $2 \leq T < 10$ ) (зачастую операторы рассматривают эти события «сбоями»), в большинстве случаев оказывают серьезное влияние на качество обслуживания, например, вынудить отказ коммутируемых служб.

Следующим, наиболее часто применяемым параметром (вторым по значимости после коэффициента ошибочных битов) для оценки цифровых каналов оказывается количество секунд с ошибками ES. Данный параметр является чрезвычайно важным для организаторов цифровых систем передачи, так как определяет долю суммарного времени, когда канал свободен от ошибок [3].

Существует два метода измерения числа секунд с ошибками: асинхронный и синхронный (рис. 3).

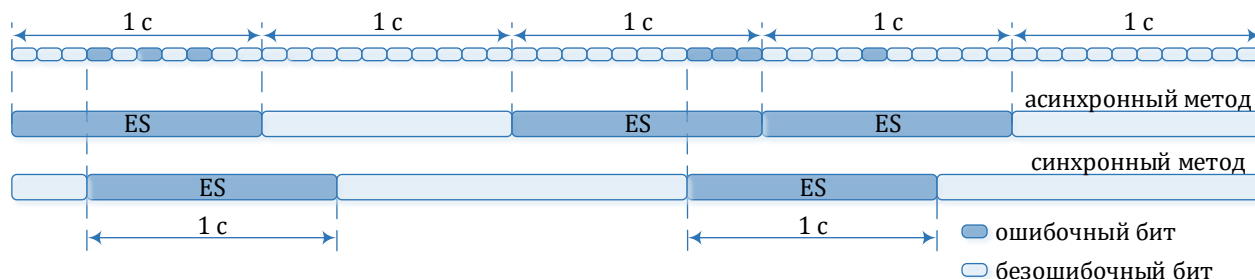


Рис. 3. Методы измерения количества секунд с ошибками ES

Асинхронный метод рассматривает разделение времени измерений на интервалы длительностью одна секунда и подсчет числа интервалов, когда принималась хотя бы одна битовая ошибка (европейский подход).

В синхронном методе секундой с ошибками ES является односекундный интервал, который следует за возникновением ошибки (американский подход). Таким образом, измерение этого параметра синхронизируется с моментом появления ошибок.

В реальной ситуации применение методов дает различные результаты. Так, в случае появления ошибок в виде последовательности разница в параметрах, оцененных разными методами, достигает восемнадцати процентов [3]. Простота реализации первого подхода в приборах является главным его преимуществом. Инвариантность относительно начала измерения, приводящая к отличной повторяемости измерений в цифровом канале или его частях. Главным недостатком синхронного метода анализа числа секунд с ошибками ES оказывается вторичное значение секунд без ошибок (EFS – error free seconds) – другого важного параметра. Действительно, в синхронном измерении числа секунд с ошибками ES количество секунд без ошибок EFS нельзя определить явно – оно вычисляется лишь как производная первого параметра [4, 5, 6].

Список использованных источников:

1. Rec. G.826. End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections / G. Rec. – 2002–12. – Geneva : ITU-T, 2002. – 34 p.
2. Rec. G.828. Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate synchronous digital paths / G. Rec. – 2000–03. – Geneva : ITU-T, 2001. – 24 p.
3. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи / И. Г. Бакланов. – М. : Эко-трендз, 1999. – 204 с.
4. Батенков К.А. К вопросу оценки надежности двухполюсных и многополюсных сетей связи / К.А. Батенков // Успехи современной радиоэлектроники. – 2017. – С. 604.
5. Батенков К.А. Моделирование непрерывных каналов связи в форме операторов преобразования некоторых пространств / К.А. Батенков // Труды СПИИРАН. – 2014. – № 1 (32). – С. 171–198.
6. Батенков А.А. Формирование сечений телекоммуникационных сетей для анализа их устойчивости с различными мерами связности / А.А. Батенков, К.А. Батенков, А.Б. Фокин // Информатика и автоматизация. – 2021. – Т. 20. – № 2. – С. 371–406.

#### ВЛИЯНИЕ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ (РУБЕЖ XX–XXI ВЕКОВ)

*И.С. Соловенко, д.и.н., профессор*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета*

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

*E-mail: solovenko71@mail.ru*

**Аннотация:** В работе рассматривается влияние компьютеризации предприятий ТЭК на энергетическую безопасность России рубежа XX–XXI вв. Анализируются особенности, тенденции и закономерности данного процесса. Выделяются четыре его уровня – это управленческий, научно-исследовательский, научно-производственный и производственный. Делается вывод о том, что влияние компьютеризации являлось всё возрастающим, а её результаты положительно повлияли на топливно-энергетический баланс страны и конкурентные преимущества отечественных предприятий и компаний на мировых рынках. Вместе с тем компьютеризация так и не стала одним из ключевых факторов обеспечения энергетической безопасности России в анализируемый период. Её недооценка привела к дальнейшему усилению технико-технологической зависимости от стран Запада.

**Ключевые слова:** Россия, рыночные реформы, компьютеризация, топливно-энергетический комплекс, энергетическая безопасность.

**Abstract:** The article discusses the impact of computerization of fuel and energy complex enterprises on the energy security of Russia at the turn of the 20th – 21st centuries. The features, trends and regularities of this process are analyzed. Four of its levels are distinguished - these are managerial, research, scientific and production and production. It is concluded that the influence of computerization was ever-increasing, and its results had a positive impact on the country's fuel and energy balance and the competitive advantages of domestic enterprises and companies in world markets. At the same time, computerization has not become one of the key factors in ensuring Russia's energy security in the analyzed period. Its underestimation led to a further strengthening of technical and technological dependence on Western countries.

**Keywords:** Russia, market reforms, computerization, fuel and energy complex, energy security.

Одним из ведущих трендов в жизни современного общества является цифровая трансформация всех его сфер. Начало данного процесса относится к середине XX в. Именно тогда начинается и компьютерная эра человечества. Однако эволюция этих взаимосвязанных явлений имела неоднородный характер, тем более в нашем государстве. Особенно это относится к рубежу XX–XXI вв., когда наши граждане оказались в условиях выхода из системного кризиса, связанного с разрушением основ советского государства и построением новой российской государственности. В то время как развитые страны мира в 1990-е гг. активно внедряли компьютеры и информационные технологии, например, появились и совершенствовались: ЭВМ, Автоматизированная информационная технология (АИТ), базы данных, системы коммуникаций и навигации, новые микропроцессоры, Интернет, Суперкомпьютеры и др., российские предприятия были вынуждены бороться за сохранение своего экономического потенциала, в меньшей мере – за его приумножение. Вместе с тем, устранение тогда российским правительством излишних межстрановых барьеров в экономической деятельности серьёзным образом изменило научно-технические возможности отечественных субъектов народного хозяйства. Появились новые формы сотрудничества с иностранными компаниями, расширились возможности приобретения передовой техники и оборудования, позволившие усилить технические и технологические возможности повышения конкурентоспособности отечественных предприятий и компаний, в том числе за рубежом. В контексте данных противоречий особый интерес представляют предприятия топливно-энергетического комплекса России, которые образуют, прежде всего, такие важные отрасли, как: газовая, нефтяная, угольная, атомная и энергетическая. В конце XX в. в данном сегменте народного хозяйства имелся весьма высокий уровень противоречий по широкому спектру параметров (например, удельный вес в общем объёме производства условного топлива, степень капитализации, уровень доходности и др.). Между тем имелось немало общего, в том числе проблем и задач, среди которых выделялась и компьютеризация управленческих, научно-исследовательских и производственных процессов. Замечу, что в современной литературе под «компьютеризацией» подразумевают процесс всеобъемлющего внедрения в практическую деятельность электронных устройств (компьютеров) с целью автоматизированной обработки информации.

Научный интерес к топливно-энергетическому комплексу России и процессу его компьютеризации вызван многими причинами, в числе которых такие, как: высокий уровень их фундаментальности для экономики и экспортного потенциала, существенный вклад в пополняемость бюджета государства, серьёзное влияние на энергетическую, экономическую и национальную безопасность страны и др. Высокую степень актуальности придаёт и недостаточное внимание к феномену научно-технологического развития со стороны социальных наук, в том числе истории. В рассматриваемый период компьютеризация, несомненно, являлась одним из его важнейших двигателей. Поэтому ретроспективный анализ влияния компьютеризации предприятий ТЭК на энергетическую безопасность России позволит дополнить и расширить картину знаний по весьма не популярному среди историков направлению, которое требует специфических технико-экономических знаний.

Компьютеризация как направление научно-технологической и экономической деятельности имела широкий спектр применения в деятельности предприятий ТЭК. Благодаря компьютерным технологиям повышался уровень оперативности решения управленческих и производственно-экономических задач, снижалась себестоимость продукции, создавались новые формы реализации инновационных идей, решались вопросы безопасности и т.д. Однако в конечном итоге вся эта деятельность была направлена на достижение такой ключевой цели как укрепление энергетической безопасности Российского государства, главным признаками которой являются импортнезависимость бездефицитность топливно-энергетического баланса. Это определило цель работы – показать влияние компьютеризации предприятий ТЭК на энергетическую безопасность России. Хронологические рамки определяются временем начала активной фазы цифровой трансформации – рубеж XX–XXI вв., которая пришла на смену компьютерной революции. Это весьма «свежий» период в научно-технологическом развитии отечественной промышленности. Поэтому тщательный анализ влияния компьютеризации предприятий ТЭК на энергетическую безопасность рубежа XX–XXI вв. позволит не только выделить особенности, тенденции и закономерности изучаемого феномена, но и определить весьма важные уроки для современного этапа модернизации экономики России. Тем более в научных трудах, посвящённых проблемам энергобезопасности в рассматриваемый период, вопросам компьютеризации уделяется очень мало внимания. Отсутствие достаточной информации по этой теме не только в литературе, но и в источниковой базе (прежде всего, архивных документах) позволяет сделать пока промежуточные, во многом обобщающие выводы. Однако это не умаляет высокой ценности представленного анализа.

Рубеж XX–XXI вв. является содержательным с точки зрения научно-технологических и экономических перемен, как в мире, так и в России, в частности.

Однако в это время наше государство осуществляло переход на рыночные рельсы развития, что объективно осложнило решение многих стратегически важных вопросов модернизации экономики, в том числе создание и использование новейших компьютерных технологий в деле укрепления энергетической безопасности страны. При этом, самым сложным отрезком в процессе компьютеризации предприятий ТЭК современной России, также как и других отраслей промышленности, безусловно, были 1990-е гг. По мнению авторитетных экспертов, «серьёзнейшая стратегическая угроза энергетической безопасности» была вызвана сокращением и качественным ухудшением сырьевой базы нефтегазового комплекса [1. С. 189]. Трудные времена переживали и другие отрасли топливно-энергетического комплекса, особенно угольная промышленность, которая в наибольшей степени оказалась уязвима в ходе рыночных реформ. Вместе с тем, на всех уровнях производственно-экономической деятельности было чёткое осознание необходимости активного внедрения компьютерных технологий. На фоне разгосударствления собственности и динамичного спада промышленного производства главной проблемой, сдерживавшей развитие такого капиталоемкого продукта, был дефицит финансовых ресурсов. Ситуацию осложняло и то, что отечественных информационно-телекоммуникационных технологий было крайне мало, имелось их отставание от зарубежных аналогов в качестве. Несмотря на высокую цену иностранных компьютеров и информационно-коммуникационных технологий, они являлись более востребованы на российском рынке. И этот рынок постоянно увеличивался. Соответственно, формировавшаяся технологическая зависимость объективно несла угрозу энергетической безопасности страны. Внимание государства, прежде всего со стороны Президента Б.Н. Ельцина и Правительства РФ, к этой проблеме ослаблялось набиравшей обороты «дружбой» со странами Запада. Она успокаивала и вселяла уверенность на долгую перспективу использования зарубежных компьютерных технологий на благо России. В пользу такой позиции был и стабильный экспорт российских углеводородов в Европу.

Необходимо признать, в данном сегменте научно-технологического развития наша страна к тому времени имела заметное отставание. Советским планам широкомасштабной информатизации народного хозяйства в 1990-е гг. не суждено было сбыться. Всё это определило оперативную озабоченность Президента и Правительства РФ проблемой внедрения современных информационных технологий и продуктов. Уже в январе 1992 г. при непосредственном участии Правительства РФ активно разрабатывалась «Национальная программа развития электроники России», которая подразумевала использование отечественных разработок и в топливно-энергетическом комплексе [2]. Данная политика продолжилась и в дальнейшем. В 1999 г. была разработана Федеральная целевая программа «Развитие вычислительной техники и компьютерных технологий». Все мероприятия были нацелены на автоматизацию производства и его контроль [3. Л. 74]. С 2002 по 2010 гг. реализовывалась Федеральная целевая программа «Электронная Россия». Все вышеуказанные программы были нацелены на производство готовой электронной техники и прикладных компьютерных технологий. Однако сложно ответить насколько прорывными были эти технологии. Документы свидетельствуют о недостаточном уровне технологической независимости предприятий ТЭК России. Уже тогда эксперты в этом видели стратегическую угрозу перехода от сырьевой к инновационной экономике. Выход им виделся в объединении усилий государства и частного отечественного и зарубежного бизнеса [4. Л. 12]. Причин такой ситуации было много и они со временем менялись. На мой взгляд, если в 1990-е гг. главной причиной данной зависимости являлся дефицит инвестиций, то в начале 2000-х гг. – это комфортные условия развития предприятий ТЭК, вызванные улучшением мировой конъюнктуры на энергоносители. Это успокаивало не только госчиновников, но и топ-менеджеров крупных частных компаний [5].

Новые условия хозяйственной деятельности ломали и «старые» установки осуществления продуктивной деятельности. В советское время на первом месте была системная безопасность, в 1990-е гг. приоритетной задачей, особенно в частном секторе, становится высокая доходность. Соответственно со стороны органов власти и управления требовался новый формат контроля в такой важной сфере как энергетика. Требовалось создание условий максимально эффективного использования достижений в области компьютерных технологий, рациональное ограничение влияния частной собственности и коммерциализации разработок на безопасность функционирования предприятий ТЭК. Особенно это относилось к таким уязвимым отраслям как атомная и энергетическая, что в свою очередь определило высокий удельный вес государства в их инвестиционные ресурсы [6. С. 54].

Компьютеризация отраслей и предприятий ТЭК – это процесс внедрения информационно-коммуникационных технологий, способствующих автоматизации, роботизации и повышению эффективности добычи энергоресурсов (нефти, газа, угля и др.), их транспортировки, переработки, генерации, снижению затрат на производство, улучшению контроля за процессами повышения безопасности на производствах ТЭКа и т. д. В рассматриваемое время данный процесс носил комплексный характер.

Выделяются четыре его уровня – это управленческий, научно-исследовательский, научно-производственный и производственный. Все уровни были важны с точки зрения конечного результата. Однако в силу многих причин быстрее он начал развиваться в офисной инфраструктуре, а не в производственной сфере.

Высокую степень динамичности уже в начале 1990-х гг. ему придало создание финансово-промышленных групп. Повысилась мобильность принятия решений, снизился бюрократизм [7. С. 210]. Это, безусловно, усилило информационную и корпоративную безопасность, а также увеличило степень оперативности принятия важных решений в чрезвычайных ситуациях.

Второй – научно исследовательский, уровень, хоть и серьёзно пострадал в ходе «оптимизации» своего потенциала в 1990-е гг., сохранял высокую значимость в деле технико-технологической модернизации предприятий ТЭК. Он, в основном, реализовывался в рамках научно-исследовательских институтов (НИИ). Они имели накопленный, и во многом не осуществленный, в советское время научно-производственный потенциал, а также высококвалифицированные кадры, отвечавшие международному уровню. Особое значение для предприятий ТЭК имели отраслевые и узкоспециализированные НИИ, которые выделялись высоким уровнем обеспеченности «средствами вычислительной техники», хоть и зарубежной. В основном здесь использовались компьютеры американской фирмы IBM [8. Л. 39]. Деятельность научно-исследовательских институтов протекала не однозначно, так как, с одной стороны, учёные освободились от партийного диктата, что заметно расширяло границы их творчества, с другой – динамичное сокращение финансирования и закрытие многих НИИ привело к высокой текучести кадров и «оптимизации» практико-ориентированной деятельности. Серьёзной проблемой здесь являлась низкая компьютерная грамотность даже среди специалистов среднего и высшего звена, хотя положительная динамика здесь всё-таки наблюдалась. В целом, работа НИИ являлась обнадеживающим фактором для промышленных предприятий, так как, несмотря на все трудности, отечественные производители продолжали создание востребованной вычислительной техники и компьютерных технологий.

На конкретные успехи отраслевых НИИ указывают материалы архивных документов. Большая часть упоминаемых в документах достижений связана с реализацией компьютерных технологий для решения важных вопросов проектной деятельности. Своими достижениями выделялись нефтегазовые научно-исследовательские институты. С середины 1990-х гг. лидерские позиции здесь занимал «ТюменНИИГипрогаз». Учитывая общую ситуацию, некоторые результаты его деятельности впечатляют. Так, например, в 1996 г. в этом институте с помощью компьютерной технологии были разработаны и изготовлены средствами машинографики и печати 95 % всех чертежей на стадиях «проект» и «рабочая документация», локальные, объектные и сводные сметы и др. Общий уровень автоматизации проектных работ возрос по сравнению с предыдущим годом и составил около 85 % [9. Л. 47]. В ОАО ВНИИнефти им. Академика А.П. Крылова велось создание компьютерной экспертной системы по диагностике отклонений процесса разработки залежей нефти от проектных решений об оценке возможных потерь углеводородов [10. Л. 39]. На основании данных примеров можно утверждать о серьёзном вкладе отечественных НИИ в решение таких важных вопросов функционирования предприятий нефтегазовой отрасли, как сокращение сроков проектной деятельности, снижение себестоимости, повышение уровня автоматизации и безопасности производства, рост производительности труда и др. В начале XXI в. в нефтегазовой отрасли стали разрабатываться цифровые модели для обустройства и эксплуатации месторождений [11. С. 310]. Примерно такого же характера были результаты и в деятельности НИИ других отраслей ТЭК. В совокупности данные достижения, конечно же, положительно влияли на энергобаланс страны и конкурентные преимущества российских предприятий ТЭК на мировом уровне.

Третий уровень компьютеризации – это научно-производственный негосударственный сектор, представленный на начальном этапе небольшими фирмами. Некоторые из них в дальнейшем ушли с рынка, другие превратились в довольно известные компании. Как правило, они организовывались специалистами, которые имели опыт научной и производственной деятельности. Спектр деятельности научно-производственных фирм был весьма широк и не всегда ориентировался на потребности только предприятий ТЭК, что, в общем, соответствовало рыночным подходам и делало их более конкурентоспособными. Практическая значимость таких фирм была порой выше, чем деятельность научно-исследовательских институтов. Заметным их преимуществом была способность быстро и точно решить возникшую производственно-экономическую проблему, которая требовала внедрения компьютерных знаний и технологий. В рассматриваемое время наиболее заметными из них являлись «Компакс» и «ВИСТ Групп». Первая ориентировалась, в основном, на потребности нефтегазовой промышленности, вторая – угольной.

Компания «Компакс» занималась внедрением непрерывного компьютерного вибромониторинга, компьютерной диагностики, а также прогнозированием процессов для предотвращения аварий, управления состоянием и эксплуатацией машин и агрегатов газового и нефтяного оборудования. Компьютерные продукты «Компакс» относились к высоким технологиям и высоко ценились компанией ОАО «Газпром» [12. Л. 26, 32].

Не меньшим авторитетом пользовалась компания «ВИСТ Групп», которая в рассматриваемое время создала и активно внедряла на горнодобывающих предприятиях конкурентоспособную автоматизированную систему управления горнотранспортными комплексами открытых горных работ «КАРЬЕР» [13. С. 156–157]. Внедрение данной компанией на предприятиях угольной промышленности «умных технологий» в дальнейшем позволило разработать такие высокотехнологичные продукты как: «Автоматизированная подготовка производства», «Интеллектуальный карьер», «Умная шахта» и др. В результате значительно повышалась автоматизация производства и производительность труда, минимизировались потери и угрозы. Наибольших результатов в области компьютеризации угольных компаний достигли АО «СУЭК» и АО ХК «СДС-уголь».

Четвёртый уровень реализации политики компьютерной модернизации и информационной безопасности на предприятиях ТЭК – это непосредственно производственный. На данном уровне воплощались идеи и продукты как заимствованные из вне, так и внутри страны, а также создавались и внедрялись собственные решения. Основными направлениями компьютеризации производственно-экономической деятельности на предприятиях топливно-энергетического комплекса была автоматизация, разработка новых методов обеспечения безопасности жизнедеятельности (в том числе кибербезопасности), а также формирование интеллектуальных управленческих систем [14. С. 5]. В начале XXI в. компьютеризация производства и управления на предприятиях ТЭК заметно интенсифицировалась [15. С. 238], в том числе и по причине масштабного внедрения компьютеров и информационных технологий (в том числе Интернета) во всех сферах народного хозяйства и жизни общества. Результаты компьютеризации предприятий топливно-энергетического комплекса вполне соответствовали общероссийскому уровню, а по некоторым параметрам даже превосходили.

Таким образом, влияние компьютеризации предприятий ТЭК на энергетическую безопасность России (рубежа XX–XXI вв.) являлось всё возрастающим. В это время произошёл переход от «офисной» компьютеризации к производственной. Основными направлениями данного процесса являлись: автоматизация, безопасность жизнедеятельности (в том числе кибербезопасность), а также формирование интеллектуальных управленческих систем. Результаты компьютеризации предприятий ТЭК положительно повлияли на топливно-энергетический баланс страны и конкурентные преимущества отечественных предприятий и компаний на мировых рынках. Немаловажную роль данный процесс сыграл в укреплении внутри- и межотраслевых связей, а также в деле реиндустриализации нашей страны. Вместе с тем, в силу множества проблем системного характера, компьютеризация так и не стала одним из ключевых факторов обеспечения энергетической безопасности России в анализируемый период. Её недооценка привела к дальнейшему усилению технико-технологической зависимости от стран Запада.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-00987, <https://rscf.ru/project/23-28-00987/>*

Список использованных источников:

1. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения / Н.И. Пяткова [и др.]; отв. ред. Н.И. Воропай, М.Б. Чельцов; Рос. акад. Наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 198 с.
2. Документы по развитию электронной, энергетической и электротехнической промышленности (справки, предложения, письма и др.), 2 апреля 1992 – 25 июня 1992 // Государственный архив Российской Федерации (ГА РФ). – Ф. 10062. – Оп. 1. – Д. 776.
3. Федеральная целевая программа «Развитие вычислительной техники и компьютерных технологий», 1999 г. // Российский государственный архив экономики (РГАЭ). – Ф. 10069. – Оп. 1. – Д. 3812.
4. Энергетический бюллетень (февраль 2014 г.) // ГА РФ. – Ф. 10342. – Оп. 3. – Д. 205.
5. Sganzerla C. Disruptive Innovation in Digital Mining. ProcediaEngineering / C. Sganzerla, C. Seixas, A. Conti. – 2016. – P. 64–71.
6. Концептуальные положения стратегии развития ядерной энергетики России в XXI веке. – М.: ОАО «НИКИЭТ», 2012. – 62 с.



7. Угольный Кузбасс: страницы истории / Ю.И. Дьяков, А.Г. Кузьмин, А.Б. Коновалов, А.Д. Паршуков; Администрация Кемеровской области. Департамент топливно-энергетического комплекса Кемеровской области. – Кемерово: б/и, 2005. – 458 с.
8. Отчёт института «ВНИИГаз» о научно-производственной деятельности за 1992 г. – РГАЭ. – Ф. 799. – Оп. 1. – Д. 1399.
9. Объяснительная записка к отчёту института «ТюменНИИГипрогаз» по научно-технической деятельности за 1996 г. – РГАЭ. – Ф. 977. – Оп. 1. – Д. 914.
10. Пояснительная записка к сводному бухгалтерскому отчёту ОАО ВНИИнефти им. Академика А.П. Крылова за 1999 г. – ГА РФ. – Ф. 10240. – Оп. 1. – Д. 3010.
11. Воробьев А.Е. Цифровизация нефтяной промышленности: монография / А.Е. Воробьев, К.А. Воробьев, Х. Тчаро. – М.: Издательство «Спутник+», 2018. – 327 с.
12. Тезисы докладов к заседанию секции «Новые высокие технологии для газовой промышленности» НТС ОАО «Газпром» – «Технологические проекты на 1998–1999 гг. для реализации научно-технической политики ОАО «Газпром» – РГАЭ. – Ф. 977. – Оп. 1. – Д. 1585.
13. Цифровизация предприятий угольной промышленности России: к постановке проблемы / И.С. Соловenco, А.А. Рожков, В.Г. Лизунков, Е.Ю. Малушко // Вопросы истории. – 2022. – № 5 (2). – С. 152–165.
14. Киберопасность как одна из стратегических угроз энергетической безопасности России / Л.В. Массель, Н.И. Воропай, С.М. Сендеров, А.Г. Массель // Вопросы кибербезопасности. – 2016. – № 4 (17). – С. 2–10.
15. Седых А.Д. История развития газовой промышленности / А.Д. Седых. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2008. – 347 с.

#### ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ

*О.Н. Фисоченко, к.т.н., ст. преподаватель*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета,*

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

*E-mail: fisochenkoon@tpu.ru*

**Аннотация:** В статье представлена информационная система оценки уровня адаптации студентов, разработанная на основе системы поддержки принятия решений для оценки, прогнозирования и управления адаптацией студентов. Информационная система позволит проводить мониторинг уровня адаптации студентов, что даст возможность выявлять студентов, имеющих отходящие от норм показатели адаптации и попадающих в так называемую «группу риска», а так же отслеживать изменение уровня их адаптации после проведении корректирующих мероприятий. Для студента, информационная система даст возможность получить результаты само-тестирования и рекомендации по организации труда и отдыха.

**Ключевые слова:** адаптация студентов, система поддержки принятия решений, информационная система.

**Abstract:** The article presents an information system for assessing the level of student adaptation, developed on the basis of a decision support system for assessing, predicting and managing student adaptation. The information system will allow monitoring the level of adaptation of students, which will make it possible to identify students who have indicators of adaptation that deviate from the norms and fall into the so-called «risk group», as well as track the change in the level of their adaptation after corrective measures. For the student, the information system will make it possible to get the results of self-testing and recommendations on the organization of labor and recreation.

**Keyword:** student adaptation, system of support of decision-making, information system

подавляющее большинство работ по оценке социальной, психологической и психофизиологической адаптации представляют собой разрозненный набор отдельных методик, опросников, оценивающих один из аспектов адаптации. Для реализации процесса управленческих решений в сфере адаптации, необходимо разработать информационную систему поддержки принятия решений на основе комплексного подхода, учитывающего основные аспекты управления адаптацией иностранных студентов. Информационная система позволит проводить оценку адаптационных процессов и прогнозировать ее срыв, а также проводить мониторинг уровня адаптации иностранных студентов для выявления иностранных студентов, нуждающихся в коррекционных мероприятиях (формирование «группы риска») [1].

Для решения поставленной задачи была разработана системы поддержки принятия решений (СППР), а так же на ее основе информационная система для оценки, прогнозирования и управления адаптацией студентов, обучающихся в российском ВУЗе [2, 3].

Автоматизированный комплекс поможет эксперту владеть информацией о степени адаптации студентов, прогнозировать уровень адаптации, получать рекомендации о мероприятиях по снижению уровня дезадаптации по результатам тестирования и проводить мониторинг, что способствует управлению процессом адаптации студента. Для студента автоматизированный комплекс позволит получить результаты самотестирования и механизмы регулирования неудовлетворительных показателей.

В состав СППР входят основные компоненты: база данных, база моделей, база знаний и блок принятия решений (рис. 1).

База данных – собрание текущих данных, полученных в результате тестирования, анкетирования и экспертного оценивания, представляющих собой результаты обработки тестов и анкет, экспертные оценки, пороговые значения показателей, данные об успеваемости. База моделей – собрание аналитических и математических моделей. База знаний – совокупность систематизированных знаний по определенной предметной области, необходимых для решения заданного круга теоретических или практических задач. В нашем случае это совокупность знаний по оценке, прогнозированию и управлению адаптацией иностранных студентов. Модули СППР по оценке, прогнозированию и управлению адаптацией иностранных студентов распределены по этапам представленным на рисунке 1 [2, 3]:

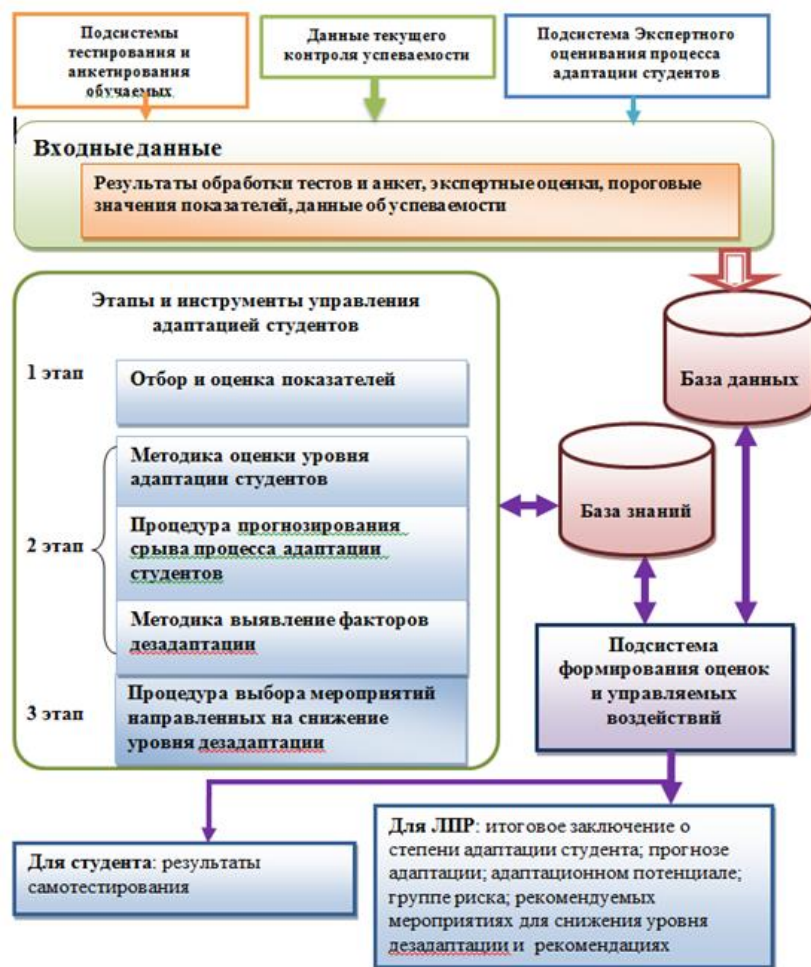


Рис. 1. Система поддержки принятия решения для управления адаптацией студентов

Этап 1 – Отбор факторов, негативное влияние которых может привести к срыву адаптации [4, 5, 6]. Реализован с помощью функций Microsoft Excel.

На данном этапе определяется основной состав показателей, оценивающих все уровни адаптации иностранных студентов. Сокращается признаковое пространство показателей, оказывающих влияние на дезадаптацию иностранных студентов, что снижает трудоемкость принятия решений при управлении уровнем дезадаптации.

Так же на данном этапе происходит отбор психологических методик, с учетом информативности оцениваемых ими показателей, для оценки уровней адаптации (психофизиологический, психологический, социальный уровни, адаптационный потенциал) на следующем этапе СППР.

Этап 2 – Комплексная оценка и прогнозирование уровня адаптации иностранных студентов (психофизиологический, психологический, социальный уровни, адаптационный потенциал) [2]. Данный этап реализован в разработанном программном обеспечении «Оценка адаптации студентов к образовательной среде ВУЗа».

Программное обеспечение позволяет на основе информативных показателей, оценить различные виды адаптации (психофизиологическую, психологическую, социальную, адаптационный потенциал) как в комплексе, так и по отдельности, а так же спрогнозировать развитие адаптационных возможностей студентов. Эксперт, на основе полученной информации о текущем состоянии адаптации студентов и их адаптационных возможностях, может спланировать процесс коррекции текущего состояния студентов с выраженными признаками дезадаптации. Так же данный модуль позволяет проводить повторный мониторинг, для оценки результатов корректирующих мероприятий.

Этап 3 – Разработка технологии снижения уровня дезадаптации [7].

Предложена новая методика снижения уровня дезадаптации на основе иерархической модели, которая позволит решить задачу выбора способа снижения уровня дезадаптации иностранных студентов.

На данном этапе в результате экспертного оценивания происходит отбор мероприятий, направленных на нормализацию отходящих от нормы показателей и снижению состояния дезадаптации. Так же проводится анализ эффективности воздействия альтернативных вероятных сценариев на снижения уровня дезадаптации студентов. Мероприятия, выбранные для снижения уровня дезадаптации, являются частью корректирующих мероприятий, рекомендованных студентам с неудовлетворительными показателями адаптации и экспертам.

Лицо, принимающее решение может использовать как любой этап независимо друг от друга, так и всю систему в целом.

На основе разработанной системы поддержки принятия решений для оценки, прогнозирования и управления адаптацией иностранных студентов, разработано программное обеспечение. Разработанное программное обеспечение позволит проводить оценку уровня адаптации иностранных студентов, обучающихся в Российских ВУЗах, прогнозировать его изменение и формировать рекомендации по управлению процессом адаптации. Программное обеспечение позволит проводить мониторинг уровня адаптации иностранных студентов, что даст возможность выявлять студентов, имеющих отходящие от норм показатели адаптации и попадающих в так называемую «группу риска», а также отслеживать изменение уровня их адаптации после проведения корректирующих мероприятий. Для студента, информационная система даст возможность получить результаты самостестирования и рекомендации по организации труда и отдыха.

Построена функциональная диаграмма информационной системы по оценке и прогнозированию адаптации иностранных студентов. Определены основные функции.

Функции разработанной информационной системы:

1. Тестирование и анкетирование.
2. Оценка уровня адаптации иностранных студентов.
3. Прогнозирование адаптации.
4. Определение профессиональной направленности студентов.
5. Оценка адаптационного потенциала (расчет интегральных показателей).
6. Формирование группы риска.
7. Формирование обобщенного отчета и рекомендаций по результатам тестирования.

Функциональная модель представлена на рисунке 2.

Эксперт, на основе полученной информации о текущем состоянии адаптации студентов и их адаптационных возможностях, может спланировать процесс коррекции текущего состояния студентов с выраженными признаками дезадаптации.

Разработанное программное обеспечение позволяет проводить повторный мониторинг, для оценки результатов корректирующих мероприятий.

Лицо, принимающее решение может использовать как любой этап независимо друг от друга, так и всю систему в целом. В целом программное обеспечение можно использовать как в период поступления, так и непосредственно на всех этапах обучения студентов.

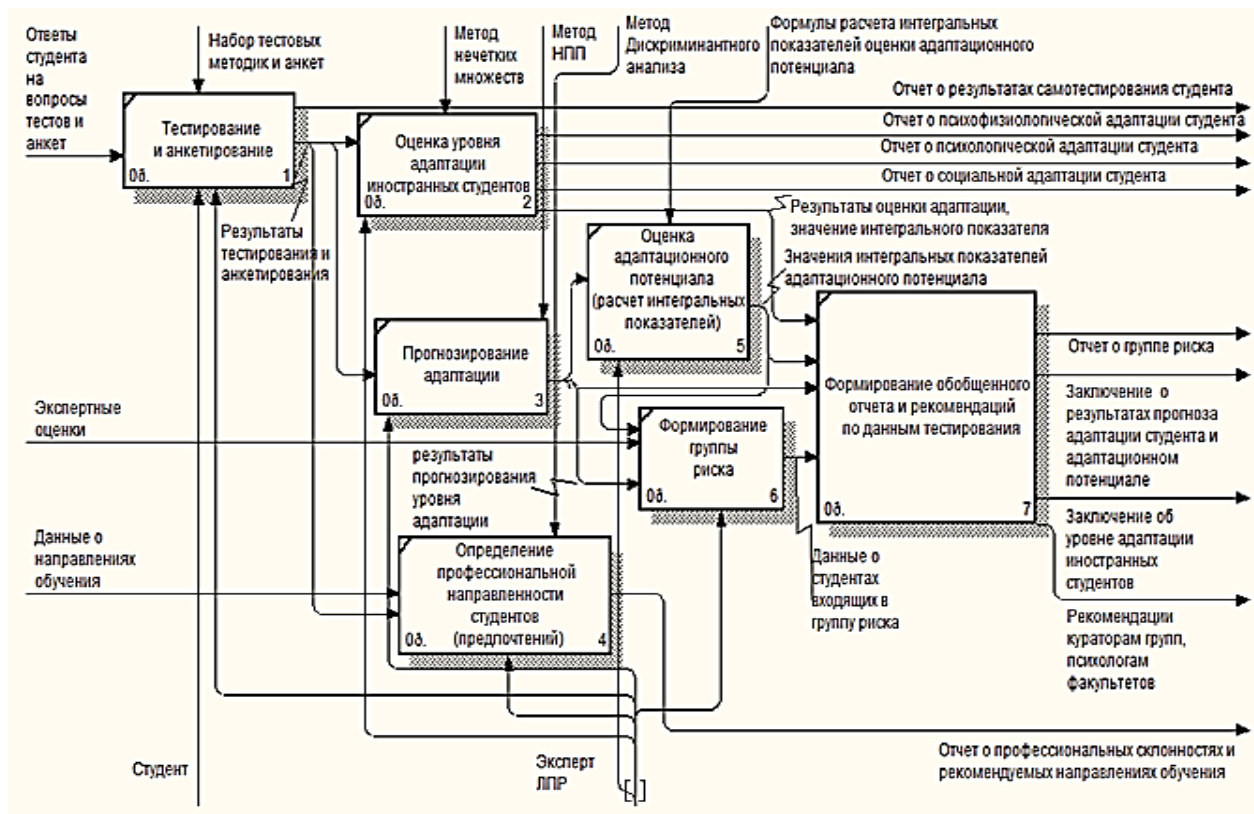


Рис. 2. Функциональная диаграмма информационной системы по оценке и прогнозированию адаптации иностранных студентов

Заключение. Разработана информационная система оценки уровня адаптации студентов, разработанная на основе системы поддержки принятия решений для оценки, прогнозирования и управления адаптацией студентов. Информационная система позволяет обеспечить взаимосвязь основных этапов управления адаптацией иностранных студентов. В качестве математической базы СППР используются авторские модели и методы.

Список использованных источников:

1. Фисоченко О.Н. Сопровождение иностранных студентов в период адаптации к обучению в российском вузе / О.Н. Фисоченко // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов IV Международной научной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – Ч. 2. – С. 88–92.
2. Фисоченко О.Н. Комплексный подход к управлению адаптацией иностранных студентов / О.Н. Фисоченко // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов II Международной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – С. 560–562.
3. Фисоченко О.Н. Система поддержки принятия решений при управлении процессом адаптации иностранных студентов / О.Н. Фисоченко // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине : сборник научных трудов IV Международной научной конференции. – Томск : Изд-во ТПУ, 2017. – Ч. 2. – С. 92–95.

4. Берестнева О.Г. Разработка критериев и системы показателей для оценки адаптации иностранных студентов, обучающихся в российских ВУЗах / О.Г. Берестнева, О.Н. Фисоченко // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 37–41.
5. Фисоченко О.Н. Оценка и прогнозирование уровня адаптации иностранных студентов / О.Н. Фисоченко // Общество, политика, финансы: материалы Российской научнотехнической конференции. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2015. – С. 105–111.
6. Фисоченко О.Н. Определение информативности психологических показателей в задачах оценки адаптации иностранных студентов / О.Н. Фисоченко, Е.В. Берестнева, О.С. Жаркова // Информационные технологии в науке, образовании и управлении: сборник трудов XIV международной конференции и XIV международной конференции молодых учёных IT + S&E`16; под редакцией Е.Л. Глориозова. – 2016. – С. 160–163.
7. Фисоченко О.Н. Применения метода анализа иерархий для решения задачи снижения уровня дезадаптации иностранных студентов / О. Н. Фисоченко // Современные технологии принятия решений в цифровой экономике: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск : Изд-во ТПУ, 2018. – С. 130–133.

#### **СТУДЕНЧЕСКИЙ БИЗНЕС-КЛУБ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ ГРАМОТНОСТИ СРЕДИ МОЛОДЕЖИ**

*Е.А. Стрековцова<sup>а</sup>, преподаватель, Е.С. Пальшин, студент,  
Государственное профессиональное образовательное учреждение  
«Юргинский техникум машиностроения и информационных технологий» (ГПОУ ЮТМиИТ)  
652050, Кемеровская область-Кузбасс, г. Юрга, ул. Ленинградская, 10  
E-mail: <sup>а</sup>katya-strek@mail.ru*

**Аннотация:** В настоящее время Федеральные государственные образовательные стандарты поставили перед профессиональными образовательными организациями новые задачи, одна из них – формирование у студентов общей компетенции в области финансовой грамотности и планирования предпринимательской деятельности в профессиональной сфере. Высокая осведомленность студентов в области финансовой грамотности способствует повышению социально-экономической стабильности государства в будущем. Студенческий бизнес-клуб ГПОУ ЮТМиИТ осуществляет деятельность по двум направлениям – формированию у студентов финансовой грамотности и предпринимательских компетенций.

**Ключевые слова:** финансовая грамотность, предпринимательская деятельность, студенческий бизнес-клуб.

**Abstract:** Currently, the Federal State Educational Standards have set new tasks for professional educational organizations, one of them is the formation of students' general competence in the field of financial literacy and business planning in the professional field. High awareness of students in the field of financial literacy helps to increase the socio-economic stability of the state in the future. The student business club of SPOU UTMiIT carries out activities in two directions - the formation of financial literacy and entrepreneurial competencies among students.

**Keyword:** financial literacy, entrepreneurial activity, student business club.

Высокая осведомленность людей в области финансовой грамотности способствует повышению социально-экономической стабильности государства. Именно знание основных финансовых понятий и умение их использовать на практике даёт возможность людям грамотно управлять своими денежными средствами, ведению учета своих доходов и расходов, а также планированию своего личного бюджета. В этой связи, разработка и внедрение программ по повышению финансовой грамотности населения много лет является одним из приоритетных направлений государственной политики [1].

Среднее профессиональное образование является одним из более частых вариантов получения образования российской молодежи, так как они заинтересованы не только в личностной, но и в профессиональной самореализации. Для преподавателей же появилась новая задача – подготовить будущих специалистов определенных областей знаний не только к труду, но и к вступлению в сложные социально-экономические отношения с различными экономическими субъектами. Однако это возможно только при условиях внедрения в программы подготовки экономической составляющей и компетенций.

Актуальность данной темы заключается в том, что перед профессиональными образовательными организациями в настоящее время стоит задача формирования у студентов общей финансовой грамотности и предпринимательских компетенций в рамках новых федеральных государственных образовательных стандартов.

Цель данного исследования – выявление эффективности студенческого бизнес-клуба для повышения знаний и умений в области финансовой грамотности и предпринимательства у студентов.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- Исследовать способы повышения знаний и умений в области финансовой грамотности;
- Рассмотреть мероприятия студенческого бизнес-клуба «Мотивация» ГПОУ ЮТМиИТ;
- Проанализировать уровень финансовой грамотности среди студентов техникума;
- Провести социальный опрос по выявлению эффективных методов повышения финансовой грамотности среди студентов;
- Предложить мероприятия по развитию студенческого бизнес-клуба.

По мнению большинства специалистов, начинать знакомство с экономическими принципами нужно начинать с детства, но уроки по финансовой грамотности не входят в основную школьную программу. Поэтому нередко молодежь, взрослые и даже пенсионеры совершают много ошибок при различных взаимодействиях с финансами и экономикой.

Можно выделить следующие способы повышения знаний и умений в области финансовой грамотности:

1. Участие в олимпиадах, конкурсах и викторинах по финансовой грамотности с целью финансового просвещения;
2. Прохождение специальных курсов, онлайн-уроков, семинаров по финансовой грамотности;
3. Участие в волонтерской деятельности и в мероприятиях по финансовой грамотности;
4. Разработка тематических занятий по финансовой грамотности.

Таким образом, есть необходимость в площадке, где можно реализовывать данные методы повышения финансовой грамотности. Создание студенческого бизнес-клуба приведет к повышению уровня финансовой грамотности популяризации предпринимательской деятельности среди студентов, что позволит обеспечить выпуск специалистов, готовых к самостоятельной работе, как в профессиональной сфере, так и в сфере предпринимательства.

Студенческий бизнес-клуб – это площадка, на которой происходит взаимодействие студентов с предпринимателями, специалистами в сфере экономики и менеджмента, а также проводятся мероприятия и конкурсы, которые помогают объединять молодежь и повысить их уровень финансовой грамотности.

Мероприятия, направленные на популяризацию в студенческой среде финансово грамотного поведения, организуются в стенах Юргинского техникума машиностроения и информационных технологий. Так, в 2021 году состоялось открытие студенческого бизнес-клуба «Мотивация», цель которого – вовлечение студентов в культуру бизнеса, продвижение проектов, повышение уровня финансовой грамотности среди студентов. Для выполнения данной цели выполняются различные мероприятия: консультации с преподавателями экономических дисциплин, встречи с предпринимателями, банковскими и налоговыми работниками, участия в различных конкурсах. Одним из таких конкурсов является: Всероссийский чемпионат по финансовой грамотности и предпринимательству. Чемпионат состоит из коммуникативных, финансовых и бизнес боев. В ходе одной игры каждая команда выполняла роли «решателя» и «оппонента». Студенты техникума регулярно участвуют в данном чемпионате. Подобный формат мероприятий очень интересен студентам, ребята активно включаются в процесс подготовки, всех захватывает дух соревнований. Также проект «Онлайн-уроки финансовой грамотности» помогает студентам из любой точки России получить равный доступ к финансовым знаниям, предоставляет возможность «живого» общения с профессионалами финансового рынка, способствует формированию принципов ответственного и грамотного подхода к принятию финансовых решений. Программа «Школа волонтеров финансового просвещения Кузбасса» – также эффективный инструмент привлечения студентов к изучению финансовой грамотности. Так 17 студентов ГПОУ ЮТМиИТ осенью 2022 года обучились иполнили ряды корпуса волонтеров финансового просвещения Кузбасса. Волонтер финансового просвещения – это человек, ведущий добровольческую деятельность в целях повышения финансовой грамотности населения на безвозмездной основе. Настольные игры формируют базовые понятия о финансах и предпринимательству, знакомят участников с источниками расходов и доходов, дают представление о планировании бюджета, прививают бережливость, учат рационально оценивать способы и средства достижения целей на пути к успеху. Преподаватели техникума разрабатывают свои настольные игры по финансовой грамотности, так как это эффективное средство обучения студентов.

Ежегодно в ГПОУ ЮТМиИТ участвует во Всероссийской неделе финансовой грамотности. Тематическая неделя насыщена различными полезными и интересными мероприятиями.

Это и встречи студенческого бизнес-клуба «Мотивация» с представителями Администрации г. Юрги на тему «Социальный контракт на запуск своего бизнеса», с представителями Юргинского технологического института Томского политехнического университета на темы: «Предприимчивость – важная характеристика современного студента», «Проектная деятельность как способ развития экономики России», «Росмолодежь. Гранты», с представителями банков на тему: «Финансовые советы студентам». Также с целью формирования у студентов интереса к финансовой грамотности был проведен конкурс стенгазет и стендовых докладов, посвященный Неделе финансовой грамотности и тематическая онлайн-викторина «Основы финансовой грамотности», в которой приняли участие студенты первого курса техникума.

В рамках данного исследования в ГПОУ ЮТМиИТ проводилось онлайн-тестирование по финансовой грамотности на платформе сайта «Ваши финансы. рф» среди студентов специальностей: «08.01.25 Мастер отделочных строительных и декоративных работ», «09.02.07 Информационные системы и программирование», «15.01.36 Дефектоскопист» и «22.02.06 Сварочное производство» в количестве 58 человек.

В результате тестирования выявлен уровень знаний по финансовой грамотности: базовый уровень у 18 студентов, средний – у 19 студентов и высокий уровень – у 21 студентов. Следовательно, можно сделать вывод, что не все студенты имеют высокий уровень знаний в области финансовой грамотности, поэтому необходимо найти эффективные методы повышения знаний в данной области.

Весной 2023 года был проведен социологический опрос среди студентов техникума по следующим вопросам:

1. Как Вы оцениваете свой уровень финансовой грамотности?
2. Знаете ли Вы, что в ГПОУ ЮТМиИТ существует Студенческий бизнес-клуб «Мотивация»?
3. Являетесь ли Вы участником Студенческого бизнес-клуба «Мотивация»?
4. В каких мероприятиях по финансовой грамотности и предпринимательству Вы участвовали?
5. Какое мероприятие по финансовой грамотности для Вас было наиболее полезно?
6. Какое мероприятие Вы бы хотели посетить в рамках Студенческого бизнес-клуба «Мотивация»?
7. Ваши пожелания и предложения по развитию Студенческого бизнес-клуба и направления «Финансовая грамотность».

В результате исследования было выявлено, что около 60 % оценивают свой уровень финансовой грамотности как «высокий» и «средний», около 40 % – «низкий». О том, что в техникуме функционирует студенческий бизнес-клуб, знают почти все опрошенные студенты. Участниками студенческого бизнес-клуба являются 25 % опрошенных, 5 % – изъявили желание стать участником. На вопрос в каких мероприятиях по финансовой грамотности и предпринимательству участвовали, большинство ребят ответили: экономический, финансовый диктант; онлайн-уроки по финансовой грамотности; неделя финансовой грамотности; Школа волонтеров финансового просвещения; встречи с предпринимателями; учебные занятия по дисциплине «Финансовая грамотность» и саморазвитие. И на заключительный вопрос, студенты рекомендовали: создание отдельного кабинета, помещения для бизнес-клуба, увеличение количества активных участников клуба, увеличение консультаций, больше публикаций в группе бизнес-клуба в социальной сети «ВКонтакте» и т.п.

Проведя анализ, сформирован план мероприятий по повышению финансовой грамотности для развития Студенческого бизнес-клуба «Мотивация» ГПОУ ЮТМиИТ: оформление заявки «Росмолодежь. Гранты» на развитие бизнес-клуба (с отдельным кабинетом, техникой, кофе-брейк зоной), проведение ежемесячных встреч «Кофе с предпринимателем» (каждый понедельник месяца). В рамках данного мероприятия будут приглашаться бизнесмены, и студенты в непринужденной обстановке смогут с ними познакомиться, узнать ценный опыт действующих предпринимателей, задать вопросы и получить советы. Также сотрудничество с Кузбасским технопарком и Государственным автономным учреждением Кемеровской области – Кузбасса «Мой Бизнес».

Таким образом, студенческий бизнес-клуб – это сообщество заинтересованных, мотивированных студентов, также это эффективная площадка, на которой ведутся регулярные мероприятия, способствующие в повышении уровня финансовой грамотности среди молодежи.

Список использованных источников:

1. Повышение уровня финансовой грамотности: от реализации проекта всемирного банка к стратегии развития и региональным программам / А. Тухватуллин. – URL: <https://bftcom.com/expert-bft/10334/> (дата обращения: 20.03.2023). – Текст: электронный.

2. Архипова Т.Ю. Формирование финансовой грамотности студентов профессионального образовательного учреждения в рамках образовательного процесса / Т.Ю. Архипова, Н.В. Ардашева // Образование. Карьера. Общество. – 2022. – № 3 (74). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-finansovoy-gramotnosti-studentov-professionalnogo-obrazovatel'nogo-uchrezhdeniya-v-ramkah-obrazovatel'nogo-protssessa> (дата обращения: 29.04.2023).
3. Загребцкая Я.И. Формирование финансовой грамотности и предпринимательских компетенций у студентов техникума / Я.И. Загребцкая // Образование. Карьера. Общество. – 2021. – № 4 (71). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-finansovoy-gramotnosti-i-predprinimatelskih-kompetentsiy-u-studentov-tehnikuma> (дата обращения: 29.03.2023).
4. Иванова С.А. Образовательный проект «Студенческий бизнес-клуб» / С.А. Иванова // Образование. Карьера. Общество. – 2021. – № 1 (68). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrazovatelnyy-proekt-studencheskiy-biznes-klub> (дата обращения: 29.03.2023).



# **Секция 3**

---

**Промышленная безопасность**

## ЗАПЫЛЕННОСТЬ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕХОВ. СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

*А.Г. Мальчик, к.т.н., доц., А.А. Тищук<sup>а</sup>, студент, Р.А. Романюк, студент,  
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail:<sup>а</sup> selen@tpu.ru*

**Аннотация.** Производственные процессы, связанные с механической обработкой изделий, транспортировкой крупных объемов сырья, а также некоторые работы (например, электросварочные), имеют свойство образовывать пыль. Пылью принято называть мелкие частицы, находящиеся в твердом агрегатном состоянии, имеющие органическое или минеральное происхождения, и, представляющие опасность как для человека, так и для технологического процесса.

Одним из производственных процессов, занимающимся механической обработкой, является деревообработка. Для данного процесса характерно образование побочного продукта – пыли. В настоящее время, на фабриках и производствах, занимающихся производством изделий из дерева (мебели, деревянных заготовок), ежедневно выделяются тонны пыли. В данной статье рассматривается проблема запыленности воздушной среды, характерной для деревообрабатывающих цехов, а также приводятся способы снижения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны.

**Ключевые слова:** деревообработка, древесная пыль, древесно-воздушные взвеси, деревянная стружка, пылеуловитель, фильтрация, очиститель воздуха, вентиляция.

**Abstract.** Production processes related to the machining of products, transportation of large volumes of raw materials, as well as some work (for example, electric welding), tend to form dust. Dust is commonly referred to as small particles in a solid aggregate state, having an organic or mineral origin, and posing a danger to both humans and the technological process.

One of the manufacturing processes involved in machining is woodworking. This process is characterized by the formation of a by-product - dust. Currently, in factories and industries engaged in the production of wood products (furniture, wooden blanks), tons of dust are released daily. This article discusses the problem of dustiness of the air environment characteristic of woodworking shops, and also provides ways to reduce the concentration of dust in the air of the working area.

**Keywords:** woodworking, wood dust, wood-air suspensions, wood chips, dust collector, filtration, air purifier, ventilation.

Опасность пылевыведения заключается в том, что пыль может вызывать различные заболевания у человека (астму, аллергию и т.д.). Поэтому многие предприятия вынуждены заниматься данной проблемой, принимать необходимые меры по снижению концентрации пыли в воздухе рабочей зоны, для того, чтобы соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005–88, регламентирующему содержание пыли в воздухе [1].

Как правило, образование пыли происходит при различных технологических процессах, связанных с механической обработкой различных природных минералов, древесных материалов, органической продукции (муки, сахара). Способствуют образованию пыли факторы внешней среды – низкая влажность воздуха, низкая скорость движения воздуха, которые особенно характерны в летний и зимний периоды года. При данных условиях пыль может образовывать с воздухом взрывоопасные смеси, представляющие опасность для всего технологического процесса. Особенно актуально это для деревообрабатывающих цехов, так как образующаяся древесная пыль обладает высокой степенью пожаровзрывоопасности, в соответствии с ГОСТ 12.1.041–83 [2].

При работе, связанной с изготовлением (обработкой) древесных материалов в деревообрабатывающих цехах, как правило, предусматривается устройство для удаления древесной пыли – местный отсос. Данное устройство за счет высоконапорного всасывания пыли обеспечивает снижение ее концентрации в воздухе рабочей зоны. Однако, местный отсос не может обеспечить полное устранение пыли на рабочем месте, и, соответственно, оставшаяся древесная пыль свободно может распространяться по цеху, скапливаясь в воздухе. Для устранения этой проблемы, в деревообрабатывающих цехах, помимо местного отсоса, предусматривается общеобменная вентиляция, которая обеспечивает циркуляцию воздуха в помещении кратностью 1–3 в час [3].

Условия, необходимые для создания оптимальной и эффективной циркуляции воздуха в деревообрабатывающем цехе:

1. При проектировании системы, направленной на снижение концентрации пыли, необходимо учитывать то, что она должна состоять из местных отсосов и общеобменной вентиляции.

2. Конструкция зонта местного отсоса должна обеспечивать изоляцию технологического оборудования и всасывание древесной пыли.

3. Параметры местных отсосов (направленность установки, объем и напор всасывания) должны соответствовать техническим характеристикам технологического оборудования, чтобы обеспечивать полноценную работу системы удаления пыли.

4. Очистка воздуха от древесной пыли должна осуществляться при помощи соответствующего метода (использование фильтров, циклонов и т. д.).

5. Создание необходимого разрежения в зонтах должно обеспечиваться работой вытяжных вентиляторов, которые, в свою очередь, обеспечивают высокую скорость движения воздуха по всему воздуховоду.

6. Необходимо обеспечить приток чистого воздуха в рабочую зону за счет приточных систем.

7. Для очистки воздухопроводов необходимо их снабжать специальными герметичными люками.

Стоит отметить, что не всегда есть возможность использовать общеобменную вентиляцию, поэтому, на предприятиях преимущественно создается система местных отсосов, которым уделяется большое внимание, для обеспечения ее эффективной работы. Для образования воздушных потоков, извне, в воздухе рабочей зоны используется естественная вентиляция. При этом учитывается, что основную концентрацию пыли удаляют местные отсосы.

Также, особенно это актуально для больших и средних по размерам цехов, для защиты от скопления пыли в воздухе рабочей зоны можно использовать потолочные приточные вентиляционные системы. Их главный плюс заключается в том, что подача воздуха происходит сверху, и это препятствует перемещению пыли по рабочей зоне.

Разработка систем, направленных на защиту деревообрабатывающих цехов от образования повышенной концентрации пыли в воздухе рабочей зоны (пылеулавливание, пневмотранспортировка, вентиляция) состоит в расчете, а затем, в подборке необходимого оборудования.

Система пылеулавливания состоит из «ступеней» вентиляторов с фильтрами, которые выполняют функцию очистки воздуха, и используются в зонтах местных отсосов, зонтах вытяжной вентиляции, и в системах воздухопроводов.

Система пневмотранспортировки выполняет функцию перемещения опилок и древесной пыли с помощью воздуха, создаваемым специальной вентиляционной системой, обладающей повышенной износостойкостью и огнестойкостью.

Расчет системы вентиляции для деревообрабатывающих цехов выполняется в соответствии с требованиями СП 60.13330.2020 [4]. Подбор оборудования производится с учетом необходимости смешивания естественной и искусственной вентиляции воздуха с дополнительными функциями (подогрев воздуха, очистка, охлаждение) [5]. Также, для деревообрабатывающих цехов, при расчете общеобменной вентиляции необходимо учитывать, что дополнительно требуется подбор противодымных установок, воздухопроводов, и другого оборудования, для соответствия требованиям санитарно-гигиенического контроля.

Для снижения концентрации опасных веществ в рабочих зонах деревообрабатывающих цехов (на рабочих местах, в окрасочных и сушильных камерах) необходимо внедрение местной вытяжной вентиляционной системы с промышленными вытяжками, которые с помощью труб соединяются с вентиляционными шахтами. Для соблюдения требований СП 60.13330.2020 и СП 7.13130.2013 в зданиях предприятия осуществляется подача отопления из автономных котельных, и устанавливаются системы кондиционирования воздуха помещений, с учетом классификации помещения, и видов вентиляции, необходимой для данного помещения [4, 6].

Принцип работы местного отсоса состоит в следующем: данные установки стационарны для каждого оборудования (станка) и подключены к общей системе воздухопроводов. Воздуховоды объединены общим каналом, который, в свою очередь, подключен к специальному вентилятору, соединенному с приемным бункером и циклоном. При включении, данный вентилятор создает в воздуховодах вакуум, который способствует всасыванию воздуха, содержащего древесную пыль. Далее пыль через общий канал попадают в рабочее колесо вентилятора, а затем в приемный бункер. В следствии увеличения объема пыли, энергия потока снижается и частицы оседают на дно бункера. Далее происходит транспортировка пыли в специальные емкости, для последующей утилизации.

Применение метода отвода запыленного воздуха рабочей зоны непременно связано с отводом тепла. Для поддержания необходимых микроклиматических параметров воздуха рабочей необходим обогрев приточного воздуха.

Данный процесс не всегда рационален, и поэтому на предприятиях применяют метод рекуперации (рециркуляции воздуха рабочей зоны). Данный метод заключается в заборе запыленного воздуха, его очистке, и подачи обратно в рабочую зону.

Эффективность данного метода заключается в высокой степени очистки и сохранении необходимых микроклиматических параметров (температуры воздуха). Однако, метод рекуперации требует повышенного внимания, так как отфильтрованный воздух не должен нарушать санитарные условия труда. Для поддержания условий труда, рекуперационный поток не должен превышать 30 % от общего объема приточного воздуха.

Одно из главных требований, предъявляемых к вентиляторам, заключается в том, что его конструкция должна соответствовать специфике выполняемой работы. Конструкция рабочего колеса пылеулавливающих вентиляторов имеет малое число лопаток. Это необходимо для исключения застревания больших частиц, попадающих в вентилятор, и дальнейшего образования засора. Для устранения засоров в воздуховодах предусматриваются специальные люки. Их расположение позволяет устранять засоры в любом месте воздуховода.

Пылеулавливающие системы необходимы для деревообрабатывающих цехов, так как в данных цехах образуется большое количество древесной пыли. Пылеуловители представляют собой установки для удаления пыли из воздуха рабочей зоны.

В зависимости от размеров улавливаемых частиц, используются различные пылеулавливающие установки. Наиболее широкоприменяемыми установками являются установки типов ПУА и ПУАК.

ПУА применяют для улавливания более крупных частиц пыли. Они имеют в своем составе специальные матерчатые фильтры. При наполнении эти фильтры перестают пропускать воздух, и требуют очистки (как правило, это обычное встряхивание).

ПУАК применяют для улавливания более мелких частиц пыли. Их особенность заключается в применении складчатых матерчатых фильтров. Данные фильтры имеют большую площадь соприкосновения поверхности фильтра с приточным воздухом. Очистка данных фильтров производится аналогично с ПУА. Стоит отметить, что производительность данных типов установок может составлять до 4000 м<sup>3</sup>/ч. Скорость всасывания воздуха при этом около 23 м/с [7].

Однако, данные установки можно использовать только для небольших цехов, и там, используется оборудование с непостоянной загрузкой.

Для больших цехов принято использовать циклоны и рукавные фильтры, имеющие различные размеры и разную производительность.

Циклон представляет собой пылеуловитель инерционного типа. Его действие состоит в том, что с помощью силы инерции происходит отделение пыли от воздушной среды. Циклоны бывают разной конструкции – прямоточные и противоточные.

Прямоточные циклоны основаны на использовании резкого увеличения объема воздуха как фактора изменения энергии потока воздуха. При этом, улавливаемая пыль, теряя импульс, падает на дно емкости под воздействием гравитации.

Противоточные циклоны имеют емкость в форме трубы с большим диаметром. К низу данная труба превращается в конус. Попадая в данную емкость, поток воздуха направляется по касательной к внутренней стенке. Затем он закручивается спиралеобразно, и постепенно направляется вниз. Переносимая потоком воздуха пыль соскальзывая со стенок емкости отправляется на дно емкости.

В обоих случаях, при заполнении емкости, с помощью специального люка, собранная пыль удаляется на утилизацию. Использование циклонов крайне эффективно и просто. Степень очистки с их помощью достигает высоких показателей (до 99 %).

Рукавный фильтр работает по следующему принципу: внутри емкости имеются рукава, являющиеся фильтрами, которые распределены по всему объему емкости. Поступающий загрязненный воздух проходит через данные рукава, при этом пыль оседает на их станках. Затем из рукавов выходит чистый воздух.

Рукава разделяются на два типа, в зависимости от формы сечения – круглые и формы эллипса. Круглые можно использовать только при вертикальном их расположении, эллипсные – при любом. Состоят они из синтетического материала (полимеров). Срок службы данных рукавов около 3 лет.

Рукавный фильтр используют, как правило в цехах, где имеется сильная запыленность. Степень очистки с их помощью достигает высоких показателей (до 99 %) [8].

Рукавам необходимо периодически проводить продувку сжатым воздухом (регенерацию). Это позволяет прочищать фильтры рукавов, и возобновлять их рабочее свойство.

Существует два режима регенерации:

- 1) Online – регенерация выполняется щадящими методами, не прерывая основной работы;
- 2) Offline – рукава посекционно отделяются от общего контура и продуваются в отключенном состоянии.

Первый вариант регенерации проще и применяется на относительно чистых производствах, тогда как второй способ используется только для рукавных фильтров, задействованных в цехах с сильным запылением воздуха.

**Выводы**

Для создания безопасных и комфортных условий труда, в деревообрабатывающих цехах необходимо применение систем, направленных на снижение концентрации деревянной пыли в воздухе рабочей зоны. Для этого применяются, в первую очередь, местные отсосы, непосредственно на самом оборудовании, работа которого связана с пылеобразованием. Для очистки воздуха рабочей зоны можно использовать различные вентиляционные системы (вытяжные, рециркуляционные) и пылеуловители (циклон, рукавный фильтр, ПУА и ПУАК).

Список использованных источников:

1. ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 03.04.2023) – Текст: электронный.
2. ГОСТ 12.1.041–83 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/5200294> (дата обращения 03.04.2023) – Текст: электронный.
3. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003 – URL : <http://sniprf.ru/sp60-13330-2020> (дата обращения: 03.04.2023). – Текст: электронный.
4. Удаление пыли из производственных помещений: сайт. – URL : <https://gas-cleaning.ru/article/industrial-dedusting> (дата обращения: 28.03.2023). – Текст: электронный.
5. СП 7.13130.2013 Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Требования пожарной безопасности. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200098833> (дата обращения: 28.03.2023). – Текст: электронный.
6. Обеспыливание воздуха: сайт. – URL : <https://ekonow.ru/tekhnologii/uvlazhnenie/obespylivanie-vozdukh.html> (дата обращения: 28.03.2023). – Текст: электронный.
7. Вентиляция деревообрабатывающих цехов: сайт. – URL : [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3958](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3958) (дата обращения: 28.03.2023). – Текст: электронный.

### СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ПЕРВИЧНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ПОРЯДОК ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Л.Г. Деменкова, ст. преподаватель, к.пед.н., Т.Н. Давыденко<sup>а</sup>, студент гр. 3-17Г91,  
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: <sup>а</sup>timoha.davydenko93@mail.ru*

**Аннотация:** Любой объект экономики вне зависимости от его назначения, будь то производственное предприятие, образовательное учреждение, медицинское учреждение, должен быть оснащен первичными средствами пожаротушения. Первичные средства пожаротушения зачастую помогают ликвидировать пожар на ранней стадии самостоятельно и быстро, не прибегая к вызову пожарных. В статье рассмотрены первичные средства пожаротушения, применяемые сегодня.

**Ключевые слова:** первичные средства пожаротушения, огнетушитель, теплозащитный экран, пожарный кран, пожарный шкаф, противопожарное полотно, пожарный щит

**Abstract:** Any object of the economy, regardless of its purpose, whether it is a manufacturing enterprise, educational institution, medical institution, must be equipped with primary fire extinguishing means. Primary fire extinguishing means often help to eliminate a fire at an early stage independently and quickly, without resorting to calling fire-fighters. The article discusses the primary means of fire extinguishing used today.

**Keywords:** primary fire extinguishing means, fire extinguisher, heat shield, fire crane, fire cabinet, fire cloth, fire shield

К первичным средствам пожаротушения относятся устройства, инструменты и материалы, предназначенные для локализации и ликвидации пожара на ранней стадии.

Основными первичными средствами пожаротушения являются огнетушители, внутреннее противопожарное водоснабжение (пожарный кран), вода, песок, противопожарное полотно (кошма).

Номенклатура, количество (объем), места размещения первичных средств пожаротушения зависят от функционального назначения здания, от вида и объема хранимого горючего или легко воспламеняемого вещества, от планировки здания, от количества сотрудников и посетителей здания, а также от параметров окружающей среды [1].

Рассмотрим каждое из первичных средств пожаротушения более подробно.

Противопожарное полотно (кошма) представляет собой покрывало, служащее для изоляции очага возгорания. Такими противопожарными полотнами в обязательном порядке комплектуются пожарные щиты. Применяется кошма следующим образом: пламя накрывается противопожарным полотном, в результате отсутствия кислорода, содержащегося в воздухе, процесс горения прекращается. Очаг возгорания при тушении таким способом может быть либо меньше, либо равным размеру полотна, в противном случае применение такого способа тушения пожара бессмысленно.

Немаловажным при тушении пожара является применение пожарного инвентаря и ручного инструмента. К пожарному инструменту относятся багры, конусные ведра, ломы, вилы, тележка, лопаты, ящик с песком, бочка с водой, пожарный рукав, экран защитного действия, ножницы, резиновые коврики и другое [1]. Весь пожарный инструмент размещается в пожарных шкафах или на пожарных стендах. Комплектование пожарного шкафа или пожарного стенда зависит от вида и типа защищаемого объекта.

Пример пожарного стенда представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Пожарный стенд

Следующим первичным средством пожаротушения является пожарный кран. Пожарные краны размещаются в пожарных шкафах (рис. 2). Пожарный кран состоит из запорной арматуры (клапана с вентилем, установленного на внутреннем пожарном водопроводе), соединительной головки, пожарного рукава и ствола. Дополнительно на кран может быть установлен рычаг, который облегчает открывание клапана [2]. Не все здания требуют оснащения пожарными кранами, если в здании не предусмотрен внутренний противопожарный водопровод, то соответственно и пожарные краны в таких зданиях не устанавливаются.



Рис. 2. Пожарный кран

Несмотря на то, что пожарный кран относится к первичным средствам пожаротушения, им не может пользоваться «кто угодно». Пожарными краны могут использовать только обученные люди, имеющие специальные средства защиты, в частности пожарные.

Пожарные краны бывают прямыми и угловыми. В состав пожарного крана входят пожарный вентиль, напорный рукав длиной 10, 15 или 20 м с быстросмыкающимися полугайками, пожарный ствол с наконечником диаметром 13, 16 или 19 мм. Конструкция соединительных головок пожарных кранов должна быть спроектирована таким образом, чтобы подразделения пожарной охраны могли подсоединить к ним свои пожарные рукава [2].

Порядок использования пожарного крана следующий: необходимо открыть пожарный шкаф, раскатать пожарный рукав, открыть клапан крана, используя маховик на клапане крана, подать воду в очаг пожара, направив на очаг пожарный ствол.

Самым распространенным первичным средством пожаротушения является огнетушитель. Огнетушители в зависимости от вида могут применяться на объектах любого функционального назначения, включая транспорт и открытые территории.

Воздушно-пенные огнетушители предназначены для тушения твердых материалов и жидких веществ. Такой огнетушитель оснащен зарядом водного раствора пенообразующих добавок и специальным насадком, конструкция которого обеспечивает получение воздушно-механической пены. Такие огнетушители запрещено применять при тушении электроустановок, они предназначены для тушения тлеющих веществ, проливов горюче-смазочных материалов, тушения пластика, эмали, горящих щелочных металлов и других материалов.

Углекислотный огнетушитель представляет собой огнетушитель закачного типа высокого давления с зарядом жидкой двуокиси углерода, находящейся под давлением насыщенных паров. Углекислотные огнетушители очень востребованы на сегодняшний день за счет своей эффективности и безотходности (в процессе применения такого огнетушителя не остается, пыли, грязи и паров), также такой огнетушитель не деформирует и не загрязняет объекты, подвергшиеся горению. Двуокись углерода препятствует поступлению кислорода, что является дополнительным преимуществом при использовании такого огнетушителя при тушении топлива и ГСМ, не растворяющихся в воде.

Еще одним типом огнетушителей является порошковый огнетушитель. Его работа основана на распылении огнетушащего состава под давлением, напор создается закачаным газом. Принцип действия огнетушащего вещества следующий: мелкодисперсная пыль покрывает и обволакивает поверхность горящего объекта, прекращая доступ кислорода к очагу возгорания, в результате ингибируются и разрушаются элементы, поддерживающие огонь. Недостатком применения таких огнетушителей для человека может стать аллергия, сыпь, раздражение слизистых оболочек, першение в горле или тошнота.

Если сравнивать порошковые и углекислотные огнетушители, то порошковые менее вредны, чем углекислотные, поскольку вторые могут вызвать отравление, угнетение дыхания, а также холодный ожог.

Порошковые огнетушители применяются в общественных местах с массовым скоплением людей, таких как образовательные учреждения, медицинские учреждения, торгово-развлекательные комплексы, кинотеатры и другие. Также порошковые огнетушители применяются для тушения электроприборов, электропроводки, в автотранспорте, на автозаправочных станциях, на предприятиях, работающих с топливом и различными горюче-смазочными материалами.

Порядок применения любого огнетушителя выглядит следующим образом: необходимо сорвать пломбу, выдернуть чеку, направить раструб на пламя, нажать на рычаг. При применении огнетушителя его нельзя держать в горизонтальном положении, нельзя переворачивать. При использовании углекислотного огнетушителя нельзя прикасаться оголенными руками к раструбу, поскольку он сильно охлаждается, можно получить обморожение.

К первичным средствам пожаротушения, применяемым в комплекте с огнетушителем, относятся теплозащитные экраны. Поскольку время действия огнетушителя ограничено и составляет порядка двух минут, а радиус действия составляет от 3 до 6 метров, максимальное приближение к очагу пожара дает большую эффективность при его тушении. Поскольку интенсивный тепловой поток не позволяет приблизиться к очагу пожара, был придуман теплозащитный экран, габариты такого экрана составляют 1000x500 мм, состоящего из стекломата, полиэфирной смолы или асбестового материала [3]. Модель теплозащитного экрана представлена на рисунке 3.

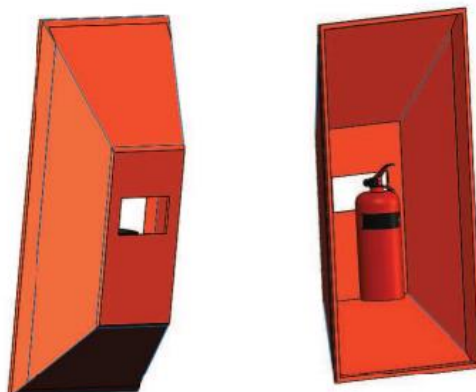


Рис. 3. Теплозащитный экран и крепление огнетушителя

Теплозащитный экран позволяет исключить воздействие теплового потока на человека, что дает возможность минимизировать дистанцию до очага пожара и повысить эффективность тушения пожара.

Также не стоит забывать о таких простых и легко доступных средствах пожаротушения, как вода, песок и земля. Вода позволяет погасить открытое пламя и снизить температуру горячей поверхности, водой нельзя тушить электроприборы и легковоспламеняющиеся жидкости. Песок и земля используются при тушении горючих жидкостей, таких как бензин, масло или керосин.

Итак, первичные средства пожаротушения являются неотъемлемой частью нашей жизни, они позволяют нейтрализовать очаг возгорания на его ранней стадии. Существует множество видов первичных средств пожаротушения, все они продолжают развиваться и совершенствоваться по сей день.

Список использованных источников:

1. Аксенов С.Г. Чем и как тушить пожар. / С.Г. Аксенов, Ф.К. Синагатуллин. // Современные проблемы безопасности (FireSafety 2020) : теория и практика : сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа: РИК УГАТУ, 2020. – С. 146–151.
2. Аксенов С.Г. К вопросу обеспечения первичных мер пожарной безопасности в муниципальных образованиях. / С.Г. Аксенов, Ф.К. Синагатуллин // Проблемы обеспечения безопасности : сборник трудов II Международной научно-практической конференции. – Уфа: РИК УГАТУ, 2020. – С. 242–244.
3. Харламов Р.И. Теплозащитный экран для огнетушителей / Р.И. Харламов, А.Н. Бочкарев, А.С. Ефанов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности. – 2018. – С. 166–168.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ В КАБИНЕ ТРАКТОРА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

*В.В. Масленский, к.т.н., старший преподаватель  
Донской государственной технической университет,  
344003, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1  
E-mail: victor.maslensky@yandex.ru*

**Аннотация:** В статье представлены результаты компьютерного моделирования аэродинамических параметров внутри кабины трактора при проветривании естественным способом. Полученные значения скорости движения воздуха превысили допустимые значения, что может свидетельствовать о наличии риска возникновения простудных заболеваний у оператора. Кроме того, значения избыточного давления, создаваемого приточным воздухом, окажется недостаточно для предотвращения дальнейшего попадания внутрь кабины трактора запыленного воздуха.

**Ключевые слова:** трактор, кабина, аэродинамика, естественная вентиляция.

**Abstract:** The article presents the results of computer simulation of aerodynamic parameters inside the tractor cab during natural ventilation. The obtained values of the air velocity exceeded the permissible values, which may indicate the presence of a risk of colds in the operator. In addition, the excess pressure generated by the supply air will not be sufficient to prevent further dusty air from entering the tractor cab.



**Keywords:** tractor, cab, aerodynamics, natural ventilation.

Труд операторов самоходных машин (тракторов, комбайнов, экскаваторов и т.п.) нельзя назвать легким. Внутреннее пространство кабин порой достаточно ограничено и не превышает  $1,5 \text{ м}^3$ . Такой небольшой объем создает неблагоприятные условия, характеризующиеся недостатком кислорода и наличием вредных химических веществ (углеводородов, паров топлива и продуктов его сгорания). Усугубляют данную ситуацию проникающее солнечное излучение и теплота от двигателя, нагревающие воздух внутри кабин [1, 2].

В связи с этим основными требованиями, предъявляемыми к условиям труда операторов самоходных машин, являются:

- достижение благоприятного состава воздушной среды;
- обеспечение комфортных параметров микроклимата;
- рационализация режимов труда и отдыха.

Согласно [3], концентрация вредных веществ в воздухе внутри кабины должна быть не выше предельно допустимой концентрации (ПДК), которая для диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) составляет  $20 \text{ мг/м}^3$ , для паров топлива –  $100 \text{ мг/м}^3$ . Температура воздуха в теплый период года не должна быть выше  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ , в холодный период, когда наружная температура может достигать отметки  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ , – не ниже  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Скорость движения воздуха внутри кабины при кратности воздухообмена  $20 \text{ ч}^{-1}$  не должна превышать  $1,5 \text{ м/с}$ .

Благоприятный состав воздушной среды достигается благодаря работе системы вентиляции кабины. Помимо этого, кабина должна обладать достаточной герметичностью, что исключит попадание внутрь паров вредных веществ и пыли.

Система вентиляции подразделяется на естественную и механическую. Естественная вентиляция осуществляется за счет открытых окон, дверей, люков. Основным недостатком естественной вентиляции является наличие сквозняков, поэтому рациональнее использовать механическую вентиляцию [4, 5]. При работе данной системы вентиляции обеспечивается требуемая подвижность воздуха на уровне лица оператора, не превышающая  $0,3 \text{ м/с}$ , для профилактики возникновения простудных заболеваний. Кроме того, поддерживаемое внутри кабины избыточное давление предотвращает инфильтрацию наружного воздуха через неплотности, а устанавливаемые в системе фильтры очищают приточный воздух от пыли, что позволяет достигнуть благоприятного состава воздуха внутри кабины.

Вентиляция позволяет также обеспечить комфортные значения температуры воздуха и поверхностей внутри кабин, а также снижает величину теплового потока от солнечного излучения. Помимо вентиляции, к средствам тепловой защиты кабины трактора можно отнести:

- покраска наружных поверхностей кабины в светлые цвета, в результате чего поверхности не так сильно нагреваются;
- теплоизоляция внутренних поверхностей кабины для снижения нагрузки на системы кондиционирования и отопления;
- применение теплоотражательных экранов и солнцезащитных устройств (жалюзи, козырьков);
- использование двойного остекления с динамической системой (с вынужденным движением охлажденного воздуха между стеклами) [6, 7].

Цель работы – определение аэродинамических параметров внутри кабины экскаватора при работе системы естественной вентиляции.

Основная часть. Кабина относится к вспомогательному оборудованию, устанавливаемому на тракторе. Ввиду того, что современные тракторы работают в любое время года и в самых разнообразных климатических условиях, основное ее предназначение – создание комфортных условий работы оператора, защита его от шума, вибрации, атмосферных осадков, солнечной радиации, пыли и загазованности. Помимо этого, встроенный в конструкцию кабины жесткий каркас обеспечивает безопасность оператора при опрокидывании самоходной машины.

Кабина трактора выполняется двухдверной, с большой площадью остекления, обеспечивающей круговой обзор, и, как правило, с термо-, шумо- и виброизоляцией. В кабине размещается мягкое регулируемое сиденье на одно-два места. Кабина должна иметь приточно-вытяжную механическую вентиляцию, естественную вентиляцию, осуществляемую за счет размещенных на крыше и задней стенке люков или открытых дверей, отопление, работающее за счет подачи теплого воздуха от двигателя из подкапотного пространства, а также электрическое освещение, стеклоочистители, противосолнечные щитки и другое оборудование.

На первом этапе для исследования аэродинамики при работе системы естественной вентиляции была создана полноразмерная трехмерная модель кабины трактора (рис. 1).

В качестве конструктивных элементов вентиляции были рассмотрены следующие пути поступления внутрь кабины воздушных потоков – через люк на крыше (1), люк на задней стенке (2) и открытую дверь (3).

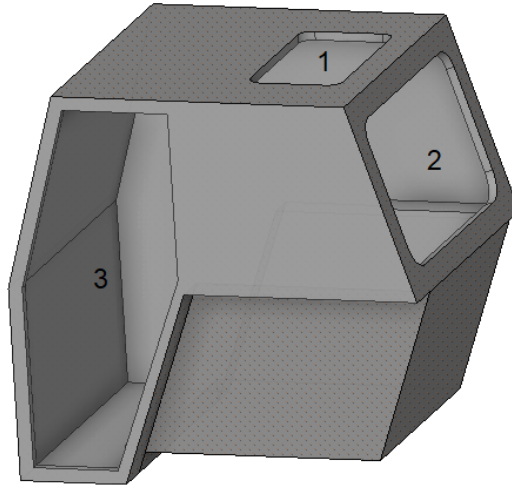


Рис. 1. Трехмерная модель кабины трактора

Эффективность работы систем вентиляции определяется аэродинамическими параметрами, такими как скорость частиц среды, плотность, давление, температура. Получить значения данных параметров можно путем моделирования в среде Ansys. Программная среда позволяет определять значения необходимых параметров в любой точке за счет разбиения исследуемого объекта на  $n$ -е количество конечных элементов, в каждом из которых производится решение заданной нами математической модели.

Математическую модель аэродинамики в кабине трактора зададим записанным в векторной форме уравнением Навье-Стокса, описывающим процесс изменения скорости движения жидкости или газа во времени:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = -(\vec{u} \cdot \nabla)\vec{u} - \frac{1}{\rho}\nabla\vec{p} + \nu\Delta\vec{u} + \vec{f}, \quad (1)$$

где  $-(\vec{u} \cdot \nabla)\vec{u}$  – компонент зависимости скорости от дивергенции, т.е. от расхождения входящего и исходящего потоков;  $-\frac{1}{\rho}\nabla\vec{p}$  – компонент влияния на движение изменяющегося давления;  $\nu\Delta\vec{u}$  – компонент влияния на частицу прилегающих частиц;  $\vec{f}$  – компонент влияния на частицу прочих сил.

Для описания движения турбулентного потока существуют различные модели турбулентности. В нашем случае используем стандартную  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности, представленную в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k; \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon, \end{cases} \quad (2)$$

где  $G_k$  – кинетическая энергия турбулентности;  $G_b$  – кинетическая энергия выталкивающей силы;  $C_{3\varepsilon}$  – параметр, характеризующий величину влияния выталкивающей силы на  $\varepsilon$ ;  $Y_M$  – параметр, определяющий воздействие переменного расширения на скорость диссипации. Оставшиеся параметры получены экспериментальным путем и имеют следующие величины:  $C_{1\varepsilon} = 1,44$ ;  $C_{2\varepsilon} = 1,92$ ;  $\sigma_k = 1,44$ ;  $\sigma_\varepsilon = 1,3$  [8].

При этом в качестве параметра наружной среды задавалась среднегодовая скорость ветра в регионе (Ростовская область – 6,6 м/с) и его направление. Оптимальный вариант определялся скоростью потока воздуха в точке О, расположенной на уровне лица оператора.

Результаты моделирования представлены на рис. 2, 3.

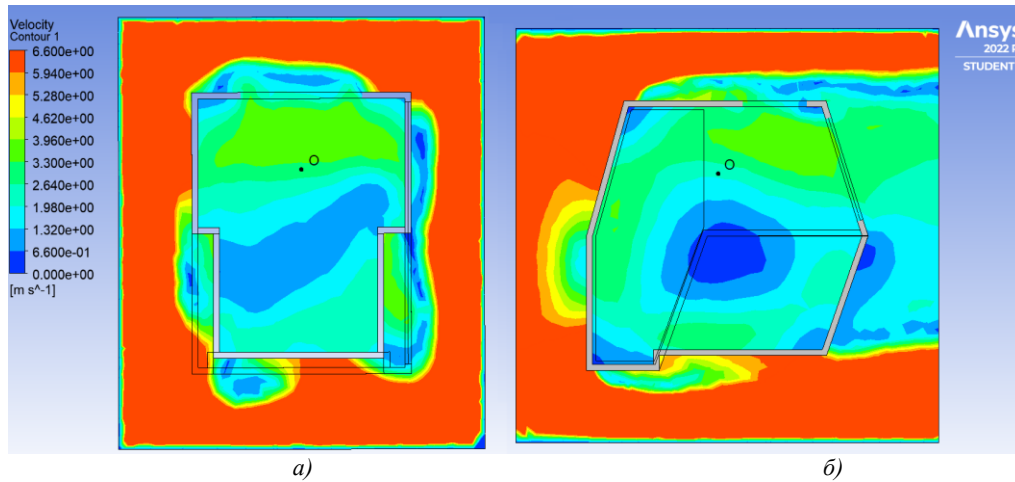


Рис. 1. Профили скорости движения воздуха: а) вид спереди; б) вид сбоку

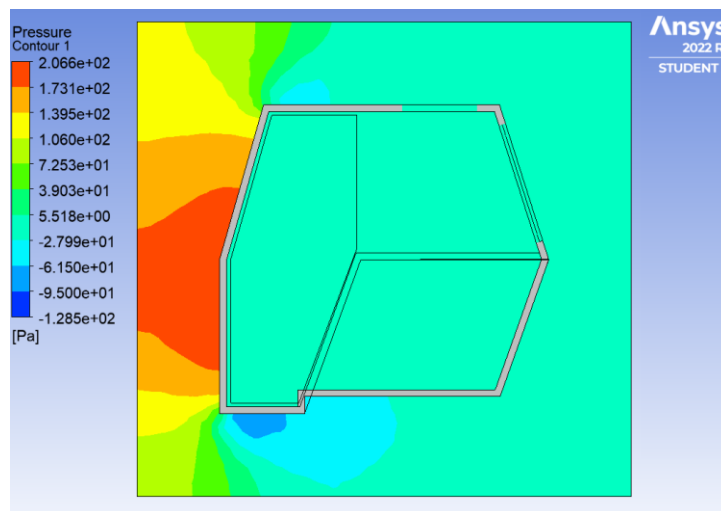


Рис. 2. Профиль давления

Результаты моделирования (рис. 2, 3) показали, что скорость движения воздуха в точке О на уровне дыхания оператора составила 3,3 м/с, что превышает допустимое значение. Такая скорость может приводить к переохлаждению организма и возникновению простудных заболеваний.

Давление воздуха при подаче в кабину естественным способом будет достигать 5,518 Па, чего будет недостаточно для предотвращения инфильтрации внутрь загрязненного и загазованного наружного воздуха.

Полученные значения были определены при условиях  $T = \text{const}$ . В дальнейшем планируется в существующую модель включить уравнение теплопроводности и уравнение состояния для определения конвективного теплопереноса. Это позволит оценить эффективность систем механической вентиляции и отопления по параметру температуры.

Список использованных источников:

1. Масленский В.В. Условия труда, травматизм и заболеваемость машинистов сельскохозяйственного производства в Ростовской области / В.В. Масленский, Ю.И. Булыгин, А.Р. Костров // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник научных трудов XIV Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Д: ДГТУ-Принт, 2021. – С. 271–274.

2. Месхи Б.Ч. Расчет и выбор климатической системы для кабины зерноуборочного комбайна TORUM / Б.Ч. Месхи, Ю.И. Булыгин, В.В. Масленский // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Д: ДГТУ-Принт, 2019. – С. 653–657.
3. Российская Федерация. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ. Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению : приказ от 24 января 2014 г. № 33н. // <https://base.garant.ru/>: [сайт]. – URL: <https://base.garant.ru/70583958/00596cfd5e75c08187ebab5dc0015be/> (дата обращения 12.04.2023).
4. Белехов А.Н. Устройства и системы промышленной вентиляции / А.Н. Белехов // Инновации и инвестиции. – № 12. – 2015. – С. 95–98.
5. Некротюк А.В. Структура системы обеспечения микроклимата рабочего места монтажника радиоаппаратуры / А.В. Некротюк, Е.В. Корепанов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – № 4. – 2016. – С. 42–51.
6. Гагарин В.Г. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3-1. – С. 192–200.
7. Бакунин Е.И. Анализ способов энергосбережения и повышения энергоэффективности жилых зданий / Е.И. Бакунин // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2011. – № 1. – С. 41–46.
8. Коркодинов Я.А. Обзор семейства k-ε моделей для моделирования турбулентности / Я.А. Коркодинов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – № 2. – С. 5–16.

#### ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ В РОССИИ

*П.В. Родионов, к.пед.н., ст. преподаватель, Н.А. Пимкина<sup>а</sup>, студент гр. 3-17Г01  
Юргинский технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: <sup>а</sup>ams.kroha33@mail.ru*

**Аннотация:** Системы противопожарной защиты на российском рынке активно развиваются и на сегодняшний день. Условно рынок противопожарных услуг в России можно разделить на три сектора: системы пожаротушения, системы оповещения, и системы пожарной безопасности. На сегодняшний день практически все здания, особенно общественного назначения, оборудованы пожарной сигнализацией, а многие и системой пожаротушения. В статье рассмотрены тенденции развития пожарной сигнализации и систем пожаротушения в России.

**Ключевые слова:** автоматическая пожарная сигнализация, пожарный риск, категория взрывопожароопасности, противопожарная защита, оповещение и управление эвакуацией, контрольные системы управления

**Abstract:** Fire protection systems on the Russian market are actively developing today. Conventionally, the market of fire-fighting services in Russia can be divided into three sectors: fire extinguishing systems, warning systems, and fire safety systems. To date, almost all buildings, especially public buildings, are equipped with a fire alarm system, and many are equipped with a fire extinguishing system. The article discusses the trends in the development of fire alarm and fire extinguishing systems in Russia.

**Keywords:** automatic fire alarm system, fire risk, explosion and fire hazard category, fire protection, notification and evacuation management, control systems

Развитие систем пожаротушения и пожарной сигнализации, в том числе и в России, продиктовано тем, что активно развиваются строительные технологии, к которым относится не только строительство новых специфических зданий, но и производство строительных материалов, обладающих различными характеристиками, при горении которых важно успеть предупредить и потушить пожар. Поэтому одной из главных проблем современных производителей систем пожаротушения и предупреждения является быстрое реагирование на стремительно меняющийся рынок, предлагающий новые строительные продукты.

Пожарная сигнализация играет важную роль в раннем обнаружении очага возгорания, что дает возможность людям принять своевременное решение о возникшей опасности и её предотвращении.

Связь автоматических пожарных сигнализаций и подразделений пожарной охраны позволяет вторым получать информацию о возникшем пожаре в течение нескольких секунд после срабатывания пожарной сигнализации (обнаружении очага пожара). Также пожарную сигнализацию синхронизируют с системой пожаротушения, при её наличии, что позволяет начать тушение пожара ещё до прибытия первого пожарного подразделения.

Применение систем пожарной сигнализации и пожаротушения позволяет свести к минимуму опасность для жизни людей, а также снизить размер материального ущерба.

С целью защиты промышленных предприятий от пожаров на промышленных объектах применяются тепловые извещатели. Такие извещатели являются наиболее дешевым вариантом обеспечения пожарной безопасности на объекте. Недостатком таких извещателей выступает то, что срабатывают они только тогда, когда уже разгорелась пламя, а температура в помещении поднялась достаточно высоко (температура срабатывания таких извещателей находится достаточно большой разброс – от 50 до 250 °С).

Большим преимуществом в сравнении с тепловыми пожарными извещателями обладают дымовые извещатели. Применение таких устройств особенно полезно, когда в помещении хранятся не только горящие материалы, но ещё и тлеющие. Таким помещением может быть текстильный склад, например, или библиотечный архив.

На сегодняшний день на российском рынке представлено несколько видов систем пожарной сигнализации: пороговая, адресно-опросная и адресно-аналоговая.

Особенность пороговой системы пожарной сигнализации является то, что она настроена на определенный порог срабатывания, т. е. сигнал срабатывает только тогда, когда, например, температура в помещении превысит установленное пороговое значение. Устройство является пассивным элементом до того момента, пока помещение не нагреется до нужной температуры.

Пороговая система пожарной сигнализации монтируется по радиальной схеме, пожарные шлейфы расходятся в стороны от центрального блока управления, каждый шлейф вмещает в себя порядка 30 извещателей. В случае обнаружения пожара каким-либо извещателем, срабатывает один из шлейфов, т.е. контрольная панель системы выдает только номер шлейфа.

Несмотря на то, что такая система проще в монтаже и дешевле, её главным недостатком является отсутствие возможности быстрой локализации очага возгорания.

Адресно-опросная система пожарной сигнализации характеризуется тем, что запрашивает состояние извещателей с заданной периодичностью, подобная система позволяет контролировать состояние входящих в неё приборов постоянно, не ожидая сигнальных импульсов от извещателей. Датчики могут находиться в следующих состояниях: «пожар», «норма», «неисправность», «отсутствие». При обнаружении возгорания в отличии от адресной системы пожарной сигнализации, здесь фиксируется сработавший извещатель, а не весь шлейф, это позволяет быстро установить точные координаты места возникновения пожара [1].

Адресно-аналоговая система автоматической пожарной сигнализации представляет собой наиболее совершенную систему в области противопожарных систем на современном этапе. От других систем адресно-аналоговая отличается тем, что решение о возникшей ситуации пожара принимается не датчиком (извещателем), а управляющим модулем. Такой подход позволяет если не полностью, то максимально исключить подход к ложному срабатыванию системы [2].

Адресно-аналоговая система устроена следующим образом: в контрольную панель встроен микропроцессор, он постоянно обрабатывает входящую информацию, получаемую от непрерывно работающих извещателей. Например, сенсоры, встроенные в извещатель, передают на управляющий модуль сведения о температуре окружающей среды, а модуль уже отслеживает её абсолютную величину и динамику роста.

Такая система является достаточно дорогой в сравнении с остальными, но зато она более эффективна и позволяет обнаружить очаг возгорания на ранних стадиях, что минимизирует ущерб от пожара, а дает возможность максимально оперативно отреагировать на возникшую чрезвычайную ситуацию.

На сегодняшний день спрос на адресно-аналоговую систему вырос, вызвано это введением нового нормативного документа СП 484.1311500.2020. Раньше, для того, чтобы установить в помещении один пожарный извещатель не было необходимости использовать адресные извещатели. Теперь же требования достаточно ужесточились, и извещатель обязательно должен быть адресным [1].

Обязательным важным условием при использовании объектов промышленного назначения, общественного назначения и даже жилых домов является установка и применение системы пожаротушения. В зависимости от конструкции установок пожаротушения выделяют три группы установок систем пожаротушения: агрегатные системы; модульные установки; микрокапсулированные устройства.

Агрегатные системы пожаротушения устанавливаются непосредственно на объекте, все включенные в систему технические средства представляют собой самостоятельные единицы.

Модульные установки представляют собой совокупность отдельных модулей, которые монтируются как в защищаемом помещении, так и могут быть установлены в соседнем помещении.

Микрокапсулированные устройства в своей работе используют твердые миниатюрные частички, реагирующие на повышение температуры в помещении, т.е. работают по принципу тепловых извещателей.

Для тушения пожара на сегодняшний день используются следующие вещества [3]:

– водные соединения, которые в результате применения превращаются в облако пара, тем самым вытесняют из зоны возгорания кислород; такое средство тушения является безопасным для людей; ограничением водных растворов является то, что ими нельзя тушить электрооборудование, также такие вещества наносят существенный материальный ущерб;

– пенные средства, благодаря расстиланию пены по поверхности к очагу пожара ограничивается доступ кислорода; пенные средства так же, как и вода не подходят для тушения газов и оборудования под напряжением;

– газовые установки пожаротушения применяются в помещениях, где имеются лакокрасочные вещества, электрооборудование, а также жидкие горючие вещества; газовые системы опасны для здоровья человека;

– порошковые системы, ими оснащаются склады, помещения, содержащие дизельные вещества; такие системы также представляют опасность для здоровья человека;

– аэрозольные установки – данный тип вещества снижает температуру в помещении и препятствует распространению огня; активно применяются такие установки в электроустановках, в складах с горючими веществами, в кабельных сооружениях.

Таким образом, можно говорить о том, что способность пожарной сигнализации обнаружить пожар, а системы пожаротушения потушить очаг возгорания, зависит не только от выбора качественной технологии производства, но и зависит от правильности выбранных и установленных элементов системы в соответствии с их назначением и особенностями. Развитие систем пожарной сигнализации и систем пожаротушения в России не стоит на месте, поскольку мгновенно меняющийся рынок новых материалов и веществ, диктует условия развития систем локализации и ликвидации пожара.

Список использованных источников:

1. Вариации систем пожарной сигнализации и виды автоматического пожаротушения / М.В. Квасов, И.А. Легкова // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов IV международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России. – Иваново, 2020. – С. 213–217.
2. Принципы построения и классификация систем пожарной сигнализации / М.А. Шакин, О.Ю. Чернышев, Е.О. Козлова [и др.] // Наука и Образование. – 2021. – Т. 4. – № 2. – 9 с.
3. Якупов Х.Ф. Современные автоматические системы пожарной сигнализации и пожаротушения / Х.Ф. Якупов, С.Г. Аксенов // Студенческий форум. – 2021. – № 41. – 2 (177). – С. 85–86.

#### МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭВАКУАЦИИ И РАССРЕДОТОЧЕНИЮ НАСЕЛЕНИЯ ЧС ВОЕННОГО ХАРАКТЕРА

*Л.Г. Деменкова<sup>a</sup>, ст. преподаватель, А.И. Петько, студент группы 3-17Г81,  
Юргинский технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: <sup>a</sup>demenkova@tpu.ru.ru*

**Аннотация:** В статье описываются особенности организации и проведения мероприятий по эвакуации и рассредоточению населения при чрезвычайных ситуациях военного характера. Так же рассмотрены предложения по совершенствованию эвакуационных мероприятий при чрезвычайных ситуациях военного характера.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации военного характера, эвакуация населения, рассредоточение населения, способы эвакуации, загородная зона, обеспечение жизнедеятельности населения.

**Abstract:** The article describes the features of the organization and implementation of measures for evacuation and dispersal of the population in emergencies of a military nature. Proposals to improve evacuation measures in case of military emergencies were also considered.

**Keywords:** emergencies of a military nature, evacuation of the population, dispersal of the population, methods of evacuation, suburban area, ensuring the vital activity of the population.

За последнее время в мировом сообществе происходят важнейшие изменения в части военно-политической и социально-экономической сферы. Так, по мнению ученых, одной из важных особенностей вооруженной борьбы как на сегодняшний день, так и в будущем является то, что в ходе военных действий и военных конфликтов под ударами могут оказаться не только военные объекты и войска, но и к тому же и объекты экономики, и гражданское население.

Под чрезвычайными ситуациями военного характера (далее ЧС) следует понимать особую группу, включающую конфликтные и экологические ЧС, которые возникают на определенной территории, непосредственно вызванных повседневной деятельностью войск и под воздействием современных средств поражения (ядерное, обычное, геофизическое оружие и др.) на ВС и другие войска с их объектами (инфраструктурой), объекты экономики и население, в о концовке чего приводит к человеческим жертвам, ущербу здоровья населения и окружающей природной среде, значительным материальным потерям и нарушению условий жизнедеятельности населения.

Если проанализировать военно-политическую обстановку в мире, то придём к выводу о совершенно нестабильной обстановки на территории земного шара. Так, начиная с 90-х г. XX века в мире произошло 42 ограниченной войны и примерно 39 локальных военных конфликтов и некоторые из них актуальны до настоящего времени. Так, к современным примерам чрезвычайных ситуаций военного характера можно отнести: войну на Донбассе, войну в Сирии, война на Украине.

В случае возникновения локальных вооруженных конфликтов и развертывания широкомасштабных войн в качестве источников чрезвычайных ситуаций военного характера будут выступать опасности, которые непосредственно возникают в случае проведения военных действий либо же по причине подобных действий. На рисунке 1 представлены опасности в случае проведения военных действий.

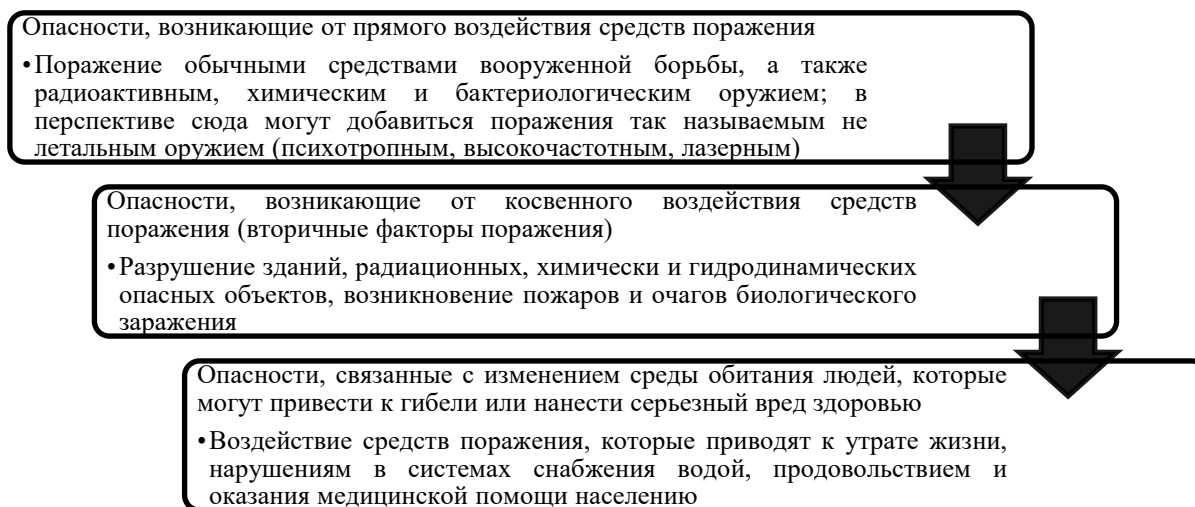


Рис. 1. Основные опасности при чрезвычайных ситуациях военного характера

При возникновении военных угроз и вероятных сценарий развития событий, в качестве наиболее эффективного способа защиты граждан, материальных и культурных ценностей является эвакуация и рассредоточение населения, а именно размещение в наиболее безопасные и пригодные районы на территории своего субъекта или других субъектов РФ.

Эвакуация и рассредоточение – это основные способы защиты населения в случае возникновения больших чрезвычайных ситуации военного характера, несмотря на большие трудности и сложности при их планировании.

Эвакуация населения – комплекс мероприятий по организованному вывозу или выводу с территории городов и иных населённых пунктов, отнесённых к группам по гражданской обороне, гражданского персонала организаций, переносящих свою деятельность в загородную зону или прекращающих её в военное время, нетрудоспособного и незанятого в производстве населения, а также населения, проживающего в зонах возможного катастрофического затопления.

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

Распределение населения – это комплекс мероприятий по организованному вывозу (выводу) из категорированных городов и размещению в загородной зоне для проживания и отдыха персонала объектов экономики, производственная деятельность которых в военное время продолжит в этих населенных пунктах. Так, распределению будет подлежать следующий персонал:

- уникальные объекты экономики, для продолжения работы которых соответствующие производственные базы в загородной зоне отсутствуют или располагаются в категорированных городах;
- организации, которые непосредственно обеспечивают производство и жизнедеятельность объектов категорированных городов (городских энергосетей, объектов коммунального хозяйства и т. п.).

На рисунке 2 представим цели эвакуации и распределения при ЧС военного характера.

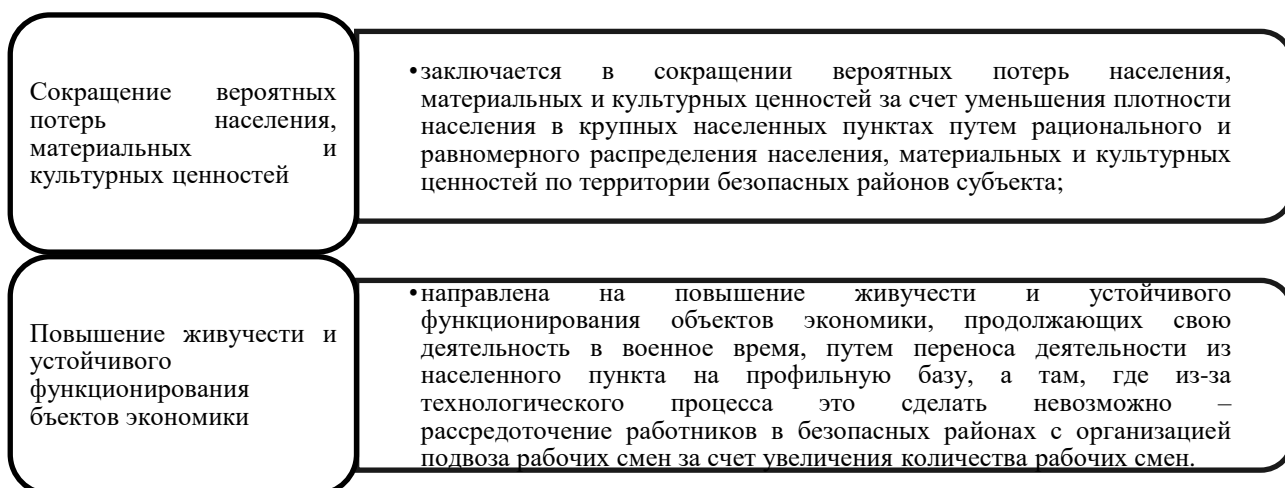


Рис. 2. Цели эвакуации и распределения при ЧС военного характера

От масштабов чрезвычайных ситуаций и числа населения, которое оказалось в опасной зоне в случае срочной эвакуации и других местных ресурсов находится в зависимости срок эвакуации, а также ее способ его проведения. Так рассмотрим способы распределения и проведения эвакуации:

- при эвакуации пешем основного населения в безопасную зону, либо вывоза граждан любыми видами транспорта включает комбинированный способ;
- эвакуируя население только по средствам транспорта включает транспортный способ;
- эвакуируя население только пешем способом (переносят свою деятельность в загородную зону рабочие и служащие предприятий, организаций, учреждений и учебных заведений) – это пеший порядок.

Оповещают о начале эвакуации население, во-первых, посредством подвижных пунктов оповещения населения, рупоров (громкоговорителей), установленных на территории местности, а также посредством самих же предприятий, учреждений, учебных заведений (радио, телефон, телевидение, газеты). Сообщают куда и когда необходимо прибыть, какие необходимо иметь при себе документы и вещи.

Далее на рисунке 3 рассмотрим варианты эвакуационных мероприятий населения, которые непосредственно оказались в зоне чрезвычайной ситуации в зависимости от охвата эвакуации граждан.



Рис. 3. Варианты проведения эвакуации



Как правило, эвакуация и рассредоточения населения проводится в зависимости от территориально - производственного принципа. Эвакуация населения проводится за пределы загородной зоны до особого разрешения.

Так, загородная зона – это зона территории, которая располагается за пределами зоны допустимых разрушений. Граница загородной зоны определяется в зависимости от категории (важности) населенного пункта. В загородной зоне устанавливается район размещения эвакуированного населения.

Рассредоточиваемые же граждане постоянно возвращаются на свое рабочее место, окончив же работу они возвращаются обратно, а именно в загородную безопасную зону. Рассредоточиваемых рабочих размещают в ближайших к границам категоризированных городов районах загородной зоны поблизости с железнодорожными, автомобильными и водными путями сообщения. Места (загородная зона) где размещается рассредоточиваемый персонал оборудуют противорадиационными и простейшими укрытиями.

Учреждения ГОЧС и эвакуационные органы одновременно планируют, и в случае необходимости организуют и проводят эвакуационные мероприятия. Органы здравоохранения организуют работу в области обеспечения эвакуоперевозок. Органы деятельности в области строительства и эксплуатации автомобильных дорог обеспечивают дорожные эвакуомероприятия.

В случае эвакуации и рассредоточения населения в городе (районе) или на объекте экономики создаются с целью эффективного организованного проведения данных практических мероприятий:

- эвакуационная комиссия по эвакуации и рассредоточения населения;
- сборные, промежуточные и приемные эвакуационные пункты;
- станции (порты, аэродромы, пункты посадки и высадки).

В случае организации движения пешеходных колонн необходимо грамотно разработать план относительно маршрута, состав колонн, исходный пункт, рубежи регулирования движения и время необходимое для их прохождения. Данный план должен включать места и время допустимых привалов до назначения конечного пункта. Также необходимо предусмотреть расположение медпунктов, пунктов обогрева, промежуточных пунктов эвакуации. И также необходимо предусмотреть возможность вывоза населения по средствам транспорта обратно в места постоянного размещения. Необходимо установить сигналы управления и порядок их доведения до населения.

В случае возникновения эвакуации населению необходимо:

- изначально, взять с собой средства индивидуальной защиты, документы, денежные средства, по возможности продукты на 2–3 суток, воду, медикаменты, необходимые вещи;
- далее необходимо прибыть на сборные эвакуационные пункты, непосредственно размещенные в общественных зданиях (школах, клубах, театрах, спортзалах и т. п.).

Сборный эвакуопункт – это защитные сооружения другие учреждения обеспечения безопасной жизнедеятельности. Эвакуопункт обеспечивает сбор, регистрацию и отправку граждан на станции посадки или на исходные пункты организации пешеходных колонн.

На рисунке 4 представлены вопросы обеспечения жизнедеятельности населения, которые необходимо отработать при планировании эвакуационных мероприятий.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что угроза войны с применением всех современных средств поражения на сегодняшний день присутствует в Российской Федерации, тем самым влечет чрезвычайные ситуации военного времени.

Поэтому необходимо заранее проанализировать в каждом субъекте РФ все свои территории на предмет возможности размещения населения при проведении эвакуации и рассредоточения населения в случае возникновения чрезвычайных ситуаций военного характера.

Так, МЧС Российской Федерации выдвигают предложения с целью повышения эффективности и совершенствования эвакуации и рассредоточения граждан:

1. В случае развития неблагоприятного сценария ведения военных конфликтов необходимо проводить эвакуацию населения в безопасные районы не только в пределах территории субъекта РФ, но и за их пределы, а именно в безопасные районы других субъектов РФ.

2. Если на территории населенных пунктов имеются объекты оборонно-промышленного и топливно-энергетического комплекса, то их необходимо эвакуировать, так как данные объекты являются наиболее значимыми целями относительно применения оружия массового поражения и даже ядерного оружия.

3. Не целесообразно проводить эвакуацию в местности где вокруг находятся химически опасные объекты. Причина этому, во-первых, является быстротечность возникновения химического заражения населения.

А во-вторых аварийно-химические опасные вещества (далее – АХОВ) неустойчивы, тем самым снижая запасы АХОВ, и обеспечивая население СИЗ. При этом риски использования химического оружия по объектам тыла и гражданам незначительны в связи с возможным полным уничтожением его в мире, и к тому же вероятное прекращение деятельности объектов в части уничтожения химического оружия.

4. Необходимо проанализировать самые потенциальные местности, особо за интересующие противника, а именно наличие на территории КВО, плотность населения, особенности территории, как географическое, транспортное и т. д. В результате такие субъекты как Республика Крым, Калининградская область, Чукотский автономный округ смогут запланировать эвакуационные мероприятия только внутри субъекта, в совокупности с иными способами защиты населенных пунктов.

5. Разработать план в части реэвакуации, а именно возвращения граждан, материальных и культурных ценностей из безопасных территорий на территории ранее их размещения.

6. Заблаговременно проработать план относительно деятельности органов государственной власти, а именно эвакуации их из населенного пункта, либо рассредоточение граждан, которые непосредственно продолжают свою деятельность в период военного времени.

7. Необходимо в области темы эвакуации все термины и понятия, которые непосредственно используются в нормативных правовых актах РФ изложить так, чтобы была выработана единая терминология.

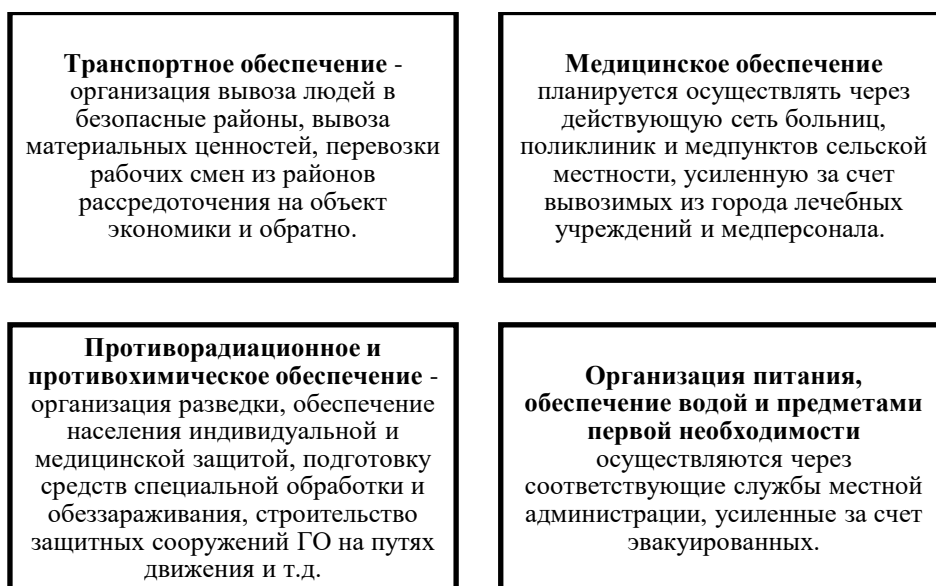


Рис. 4. Вопросы обеспечения жизнедеятельности населения при планировании эвакуационных мероприятий

19 октября Президент России Владимир Путин объявил о решении ввести военное положение в Херсонской и Запорожской областях, ЛНР и ДНР. Так, на данный момент происходит временная эвакуация жителей г. Херсон, так как это вынужденная мера обеспечения безопасности мирных граждан от регулярных обстрелов ВСУ.

В связи со сложившейся ситуацией на Украине, Департаментом по гражданской обороне на территории РФ было принято решение в рамках программы «Модернизация муниципальной автоматизированной системы централизованного оповещения (МАСЦО) населения на территории Российской Федерации» об установлении на период с 2023–2025 гг. сирен оповещения в количестве необходимой для каждой территории РФ. Так, на территории Юргинского городского округа на 2023 год запланировано установить 10 сирен централизованного оповещения населения. В последующие года 2024–2025 года будет установлено еще 10 сирен оповещения.

Также предусмотрены региональные программы на территории РФ в области приведения надлежащего состояния требования бомбоубежищ в случае введения военного положения, а именно при эвакуации и рассредоточения населения в безопасные зоны.

Следовательно, в наше время необходимо постоянно совершенствовать мероприятия по эвакуации и расконцентрации населения при чрезвычайных ситуациях военного характера для дальнейшей выработки новых технологий, повышающих оперативность и эффективность эвакуационных мероприятий, а также быть уверенными в возможности эвакуации большинства населения из крупных городов, учитывая наложения мероприятий в области мобилизационной подготовки, а также мобилизации и военного положения.

Список использованных источников:

1. Совершенствование защиты населения, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов с учётом современных угроз: сборник материалов научно-практической конференции. – МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. – 98 с. – URL : – [https://24.mchs.gov.ru/uploads/resource/2021-11-16/nauchno-prakticheskie-konferencii\\_1637040498493617235.pdf](https://24.mchs.gov.ru/uploads/resource/2021-11-16/nauchno-prakticheskie-konferencii_1637040498493617235.pdf) / (дата обращения: 29.10.2022).
2. Поражающие факторы источников чрезвычайных ситуаций, характерных для мест расположения и производственной деятельности организации, а также оружия массового поражения и других видов оружия. – URL: – [https://www.tsu.ru/upload/medialibrary/58d/tema-1\\_2021.pdf](https://www.tsu.ru/upload/medialibrary/58d/tema-1_2021.pdf) / (дата обращения: 30.10.2022).
3. Эвакуация населения в современных условиях. – Текст электронный. – URL: <http://www.fa.ru/org/div/go/Documents/Inf/2019/Эвакуация.pdf> / (дата обращения: 31.10.2022).
4. К чему компании быть готовой при введении военного положения или другого спецрежима – Текст электронный. – URL: <https://www.law.ru/article/27809-k-chemu-byt-gotovoy-kompanii-pri-vvedenii-voennogo-polojeniya-ili-drugogo-spetsrejima/> / (дата обращения: 31.10.2022).

#### ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

*П.В. Родионов<sup>а</sup>, к.пед.н., ст. преподаватель, Д.П. Козтева, студент гр. 3-17Г01,  
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: <sup>а</sup>rodionov1972@tpi.ru*

**Аннотация:** С целью повышения эффективности тактических возможностей и способностей к планированию тушения пожаров подразделениями МЧС России на сегодняшний день довольно успешно применяются робототехнические средства (установки, комплексы). Робототехнические средства эффективно демонстрируют себя в зонах повышенного воздействия опасных факторов пожара, их применение позволяет повысить уровень безопасности объекта, снизить вероятность травмирования людей к минимуму, и расширить возможности маневрирования пожарных подразделений при тушении пожаров. В статье рассмотрены особенности организации применения робототехнических средств при тушении пожаров.

**Ключевые слова:** тушение пожаров, робототехника, робототехническое средство, робототехнический комплекс, опасные факторы пожара, РТС тяжелого и среднего классов, тактическое планирование, огнетушащие вещества, защитные средства, автономная работа РТС.

**Abstract:** The use of robotic means in extinguishing fires is justified by the need to increase the tactical capabilities of fire and rescue units of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Robotic tools effectively demonstrate themselves in areas of increased exposure to fire hazards, their use makes it possible to increase the level of safety of the facility, reduce the likelihood of injury to people to a minimum, and expand the maneuvering capabilities of fire departments when extinguishing fires. The article discusses the features of the organization of the use of robotic means in extinguishing fires.

**Keywords:** fire extinguishing, robotics, robotic equipment, robotic complex, fire hazards, heavy and medium class RTS, tactical planning, fire extinguishing agents, protective equipment, autonomous operation of RTS.

Целью успешного тушения пожара является своевременная локализация и ликвидация пожара с минимальными затратами и потерями, как человеческими, так и материальными.

Тактика тушения пожара формируется с учетом сложившейся обстановки на пожаре и определяется непосредственно руководителем тушения пожара, от его решения зависит возможность и необходимость применения тех или иных средств пожаротушения. При тушении пожара в современном мире нередко применение робототехнических установок. Таким образом, робототехническое средство представляет собой материальный ресурс пожаротушения.

Робототехническое средство представляет собой техническое устройство (машину), способную выполнять запрограммированные функции и задачи без участия человека [2].

Робототехнический комплекс представляет собой совокупность программно-алгоритмических и аппаратных решений, которые обеспечивают автоматизированное выполнение задач, поставленных для решения тактических задач в области тушения пожаров.

Развитие технических средств пожаротушения не стоит на месте, а стремительно развивается, как результат такого развития стала робототехника. Робототехника применяется в различных промышленных отраслях, в том числе и в сфере пожаротушения с целью снижения влияния опасных факторов пожара.

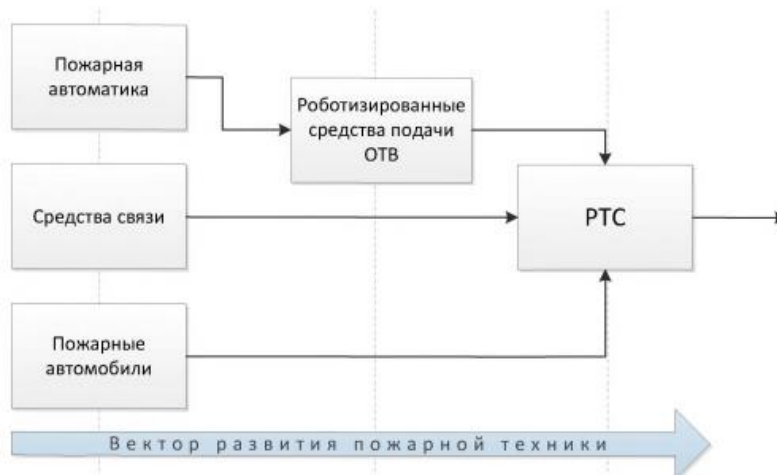


Рис. 1. Процесс развития технических средств пожаротушения

Робототехнические средства и установки отличаются друг от друга объемами и площадью пожаротушения, схемами подачи огнетушащих веществ, а также продолжительностью работы агрегата.

В силу своей новизны и инновационности робототехника обладает рядом преимуществ: благодаря её использованию практически отсутствует необходимость в участии человека при тушении пожара. Помимо главного преимущества использования роботизированной техники для тушения пожара, имеются также и недостатки, ей присущие. К недостаткам относятся [3]:

- в случае автономной работы робототехнического средства, оно выполняет только те действия, которые запрограммированы и установлены для данной ситуации;
- робототехнические средства сильно зависимы от надежной работы электронных систем, поэтому так важны регулярные технические осмотры и профилактические работы с этими системами;
- робототехнические средства ограничены в своих передвижениях, связано это с конструктивными особенностями данной техники, к таким особенностям относятся большая масса и вес конструкции, крупные габаритные размеры, низкая проходимость базового шасси автомобиля, и некоторые другие показатели.

Роботизированные средства должны применяться на пожарах организованно и разумно, т. е. должен быть утвержден перечень тех объектов, на которых в случае возникновения пожара будет применяться роботизированная техника, те объекты, на которых применение этой техники целесообразно.

При проведении предварительного планирования тушения пожара важно предусмотреть возможность и организацию доставки робототехнического средства различными видами транспорта. Робототехнические средства можно перевозить любым доступным транспортом, в зависимости от их характеристик, конечно же, таким как воздушный, железнодорожный, автомобильный и водный.

Применение робототехнического средства на пожаре включает в себя следующие действия (этапы) [1]:

- оценка обстановки на пожаре и степени угрозы воздействия опасных факторов пожара на ближайшие объекты;
- на основе анализа тактических действий робототехнического средства определяется рациональность и корректность применения предполагаемого робототехнического средства;
- с учетом сложившейся обстановки на пожаре, а также с учетом технических возможностей робототехнического средства, определяются структура его управления и ставятся задачи на ликвидации аварии;

– определяются типовые тактические приемы работы робототехнической установки для всех участков работ на пожаре.

Рассмотрим некоторые примеры робототехнических средств (комплексов).

Робототехнический комплекс пожаротушения среднего класса РТС ЕЛЬ-4 (рис. 2) представляет собой некоторое мобильное устройство, он, как и другие подобные робототехнические установки, предназначен для проведения аварийно-спасательных работ в зоне пожара, а также для проведения специальных работ, благодаря которым возможен более быстрый доступ к очагу возгорания. Например, на рисунке 2 представлен РТС ЕЛЬ-4, тушение осуществляется в лесу.



Рис. 2. РТК пожаротушения среднего класса РТС ЕЛЬ-4

РТС ЕЛЬ-4 зачастую применяется там, где расположены опасные для здоровья и жизни производства, к таким производствам относятся атомные, химические и нефтяные объекты промышленности. Данный робототехнический комплекс при проведении разведки может извлекать и обезвреживать взрывоопасные предметы. РТС ЕЛЬ-4 может развивать скорость до 10 км/ч, мощность дизельного двигателя составляет 175 л.с. Емкость резервуара РТС ЕЛЬ-4 составляет до 2000 кг. Дальность водяной пушки техники для воды оценивается в 70 м, для пены – 50 м. Благодаря гидравлическому схвату РТС ЕЛЬ-4 может перемещать грузы массой до 500 кг [4].

Мобильная роботизированная установка пожаротушения МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС (рис. 3) эффективно применяется для выполнения оперативных задач по тушению пожаров там, где применение стандартных способов и методов просто невозможно. К таким местам относятся автодорожные и железнодорожные туннели, крупные подземные автостоянки, электростанции, станции метро. Благодаря этой роботизированной установке возможно в короткие сроки взять под контроль возгорание, минимизировав при этом участие личного состава подразделений пожарной охраны.

Мощность дизельного двигателя МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС составляет 140 л.с. Благодаря такому двигателю быстро перемещается установка, эффективно работает мощнейший вентилятор, которые осуществляет генерирование водяного тумана. Данная установка обеспечивает подачу пены средней кратности с расходом раствора пенообразователя 12 л/с на расстоянии порядка 35 м. Также такая установка обеспечивает подачу огнетушащего вещества тонкораспыленной воды с расходом 7 л/с на расстояние 60 м. А распыленной струи воды подает на расстояние до 80 м с расходом воды 40 л/с [4].



Рис. 3. Роботизированная установка пожаротушения МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС

На сегодняшний день активно ведутся разработки по созданию роботов-аватаров (рис. 4). Такие роботы как бы являются дублерами человека. Робот находится под управлением специального оператора, которые находится на безопасном расстоянии от воздействия опасных факторов пожара, и при помощи своего тела приводит данного робота в действие [5].



Рис. 4. Роботизированный комплекс – аватар, предназначенный для пожаротушения

В основном работы над созданием таких роботов ведутся в США и Китае, но и в России подобные разработки имеют место быть.

#### Вывод

Робототехнические средства пожаротушения составляют весомую конкуренцию человеку. Благодаря возможности безучастной работы на пожаре такие установки позволяют снизить воздействие опасных факторов пожара на участников тушения пожара. Робототехнические установки снабжают различными техническими средствами, связью, видеокамерами - всё это служит основой для рационального управления и экономии человеческих трудозатрат, а также сохранения жизни и здоровья участников тушения пожара.

#### Список использованных источников:

1. Актуальные проблемы пожарной безопасности / Материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. – Москва, 2021.
2. Никитин А.В. Использование робототехники при тушении пожаров / А.В. Никитин, А.В. Кузовлев / Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1. – № 9. – С. 655–657.
3. Бутко Д.Ю. Развитие робототехнических систем специального назначения в системе МЧС / Д.Ю. Бутко, Н.Л. Сафонова / Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2017. – Т. 1. – С. 432–437.
4. Веселовацкий В.Е. Робототехника, используемая для тушения пожаров / В.Е. Веселовацкий, О.В. Хонгорова // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 55–58.
5. Жогова В.В. Робототехника, применяемая для обеспечения пожарной безопасности / В.В. Жогова, Е.А. Жидко // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сборник статей по материалам XVII Международной научно-практической конференции. – Воронеж. – 2021. – С. 566–571.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПРОИЗВОДИМЫХ С ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗБАССА ПРИ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРАХ

*Н.Ю. Луговцова, к.т.н., старший преподаватель*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета,*

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

*E-mail: lnyu-70583@bk.ru*

**Аннотация:** В статье приводится оценка опасности эндогенных пожаров, количество действующих эндогенных пожаров на территории Кузбасса, исследования, направленные на идентификацию и определение количества выбрасываемых веществ при эндогенных пожарах в шахтах, с помощью метода надповерхностной газовой съемки. Определены значения потока поступающих веществ, определен суммарный выброс вредных веществ, поступающих в окружающую среду, вследствие эндогенных пожаров в угольных шахтах.

Ключевые слова: эндогенный пожар, опасные газы, процессы самовозгорания, надповерхностная газовая съемка, выработанное пространство, шахтное поле, удельный поток газов.

**Abstract:** The article provides an assessment of the danger of endogenous fires, the number of active endogenous fires in the territory of Kuzbass, studies aimed at identifying and determining the amount of substances emitted during endogenous fires in mines using the method of subsurface gas survey. The values of the flow of incoming substances are determined, the total emission of harmful substances entering the environment as a result of endogenous fires in coal mines is determined.

**Keywords:** endogenous fire, dangerous gases, self-ignition processes, supersurface gas survey, worked out space, mine field, specific gas flow

Предприятия горнодобывающей отрасли характеризуются наличием источников возникновения аварийных ситуаций, связанных с возгоранием (пожаром). Пожар может произойти по причине неправильного ведения огневых работ, самовозгорания добываемых ископаемых, в результате взрыва пылевоздушных и газовоздушных смесей и т. д. Опасность возникновения пожара на предприятиях горнодобывающей отрасли влечет за собой риски, связанные с возможной гибелью и негативным воздействием на здоровье людей, нанесением материального ущерба предприятию, и нанесением вреда окружающей среде, путем ее загрязнения. Среди возможных пожаров одними из наиболее опасных являются эндогенные пожары. Возникновение данных пожаров характерно при скоплении угля в выработанном пространстве, в случае его самовозгорания [1].

Как правило, самовозгорание скопленного угля происходит при доступе кислорода, и его взаимосвязи с поверхностью угля (в результате процесса окисления). Скопление угля происходит от работы проходческой техники. Также возможно скопление угля в зонах нарушения угольных пластов, при разрушении угля, которому способствует горное давление. Особенность эндогенных пожаров заключается в том, что очаг пожара, как и его возникновение, очень сложно обнаружить. Это очень усложняет задачу по своевременной локализации пожара.

Характерной чертой эндогенных пожаров является образование огромного количества токсичных газообразных веществ, которые способны распространяться по выработанному пространству, и поступать в окружающую среду. При эндогенных пожарах, вокруг их очагов, происходит понижение влажности горных пород. Далее образуются конвективные потоки воздуха. Вследствие всего этого увеличивается вынос пыли в окружающую среду и вынос токсичных газообразных веществ, которые начинают распространяться на огромные расстояния (площади), выходя за пределы санитарно-защитных зон, и достигают зоны проживания и жизнедеятельности людей. В нередких случаях эти вещества, поступившие в атмосферу зон проживания и жизнедеятельности людей, начинают превышать установленные показатели предельно-допустимых концентраций (ПДК), тем самым представляя опасность для людей и окружающей среды [2].

Зачастую выбросы токсичных веществ невозможно учитывать при возникновении пожара, так как эти выбросы имеют залповый и внезапный характер. Именно внезапность таких выбросов усложняет их контроль, и соответственно, усложняет ведение статистического учета по выбросам. Таким образом, без их учета не представляется возможным составить полную картину структуры загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду с шахт, потому что влияние на нее эндогенных пожаров может быть довольно значительным.

Исходя из приведенной информации, цель данной работы – оценка количества выделяющихся вредных газообразных веществ с поверхности шахты при возникновении эндогенного пожара.

Многие ученые (Скрицкий В.А., Игишев В.Г., Линденау Н.И., Портола В.А.) занимались исследованиями, направленными на определение способа обнаружения эндогенных пожаров. В своих работах они пытались учесть возможность самовозгорания угля на ранних стадиях, что могло бы помочь в определении места возможно возгорания [3–5]. Исходя из анализа данных работ, следует, что для обнаружения очагов возгорания скопленного угля является метод, который основан на контроле выделяющихся индикаторных газов [6]. Суть метода в следующем: газы, выделившиеся при возникновении возгорания, мигрируют из шахт на поверхность, при этом образуя газовую аномалию. Таким образом, газовая аномалия служит индикатором для определения места нахождения очагов пожара. Обнаружить газовую аномалию можно методом надповерхностных газовых съемок, как правило, используемых для поиска месторождений полезных ископаемых и т.д. [7]. Исследования раннего обнаружения эндогенных пожаров не дают никакой информации о количестве газов, выделяющихся при горении. Однако, учитывать их количество с помощью надповерхностной газовой съемки все же возможно [8].

Кемеровская область является регионом с большим количеством предприятий по добычанию угля. Соответственно, на территории Кузбасса имеется большое количество шахт, с которых в окружающую среду поступает огромное количество загрязняющих веществ.

Результаты анализа шахтных выбросов показали, что в их составе наибольшее количество следующих веществ: метана ( $\text{CH}_4$ ), оксида углерода ( $\text{CO}$ ), диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ), диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ).

Проведенный анализ показывает, что оценка выбрасываемых (выделяемых) газов проводится не в полной мере, именно за счет того, что не учитываются выбросы, возникающие при эндогенных пожарах. На данный момент на территории Кемеровской области около двадцати действующих эндогенных пожаров. Необходимо учитывать, что эндогенные пожары могут развиваться долгое время, и, соответственно, гореть. Несмотря на применение противопожарных методов и средств, время горения эндогенных пожаров составляет по несколько лет, а иногда возможны и рецидивы возгорания [9]. Все это указывает на низкую эффективность, применяемых на горнодобывающих предприятиях, противопожарных методов и средств, направленных на локализацию и ликвидацию возникающих эндогенных пожаров.

Таким образом, для оценки выбросов вредных веществ при эндогенных пожарах, целесообразно применение метода надповерхностной газовой съемки.

Данный метод состоит в следующем: на почву, с небольшим углублением, устанавливаются емкости диаметром 0,16 м и высотой 0,09 м. С помощью специального патрубка осуществляется отбор проб выбрасываемых веществ. Эти вещества постепенно наполняют емкости, где с помощью газоанализатора происходит замер концентрации выбрасываемых газов, поступающих с шахт на поверхность.

По итогам замеров концентраций проводится расчет удельного потока выделяемого газа ( $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ) по формуле:

$$q = \frac{V_0 \cdot C}{S \cdot \tau_0}, \quad (1)$$

где  $V_0$  – объем емкости,  $\text{м}^3$ ;

$\tau_0$  – продолжительность выдержки емкости до замера (составляет от 60 до 300 с [8]);

$C$  – концентрация газа в емкости после выдержки, доли ед;

$S$  – площадь контакта емкости с почвой,  $\text{м}^2$ .

Измерение общего потока выделяемых газов со всей поверхности места возможного эндогенного пожара проводится путем распределения проводимых измерений удельных потоков газов на разных частях рассматриваемой территории (с учетом того, что в надповерхностном слое будут находиться примерно одинаковые концентрации газов).

После произведенных расчетов удельных потоков газов на нескольких участках территории, рассчитывается общий поток выделения газов по формуле:

$$Q_S = \sum_{i=1}^n q_i \cdot S_i, \quad (2)$$

где  $n$  – число участков на территории, где происходит выброс газов;

$q_i$  – удельный поток газовыделения на  $i$ -м участке,  $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ;

$S_i$  – площадь  $i$ -го участка поверхности,  $\text{м}^2$ .

Для данного исследования замеры объемов газов, выделяемых при эндогенном пожаре, были произведены в пределах границ эндогенного пожара № 79 на ООО «Шахта Алардинская» УК «Южжубассуголь» над аварийным участком пластов 1, 3 и 6. Для этого был использован метод надповерхностной газовой съемки. Территория, на которой проводились замеры выделяемых веществ, представлена на рисунке 1.

Для отбора точек была разбита сетка по 12 створам, всего было произведено и исследовано 92 пробы.

Условия проведения замеров:

1) температура воздуха окружающей среды 16–22  $^{\circ}\text{C}$ ;

2) атмосферное давление 740–742 мм.рт.ст.;

3) площадь поверхности, на которой были произведены замеры 300 тыс.  $\text{м}^2$ ;

4) время проведения замеров 09.00–14.00.

Для идентификации и определения объемов выделяемых газов был использован газоанализатор АПП-1.

Результаты произведенных замеров и расчетов удельных потоков выделяемых газов с поверхности, где развивается эндогенный пожар, представлены в таблицах 1–2.



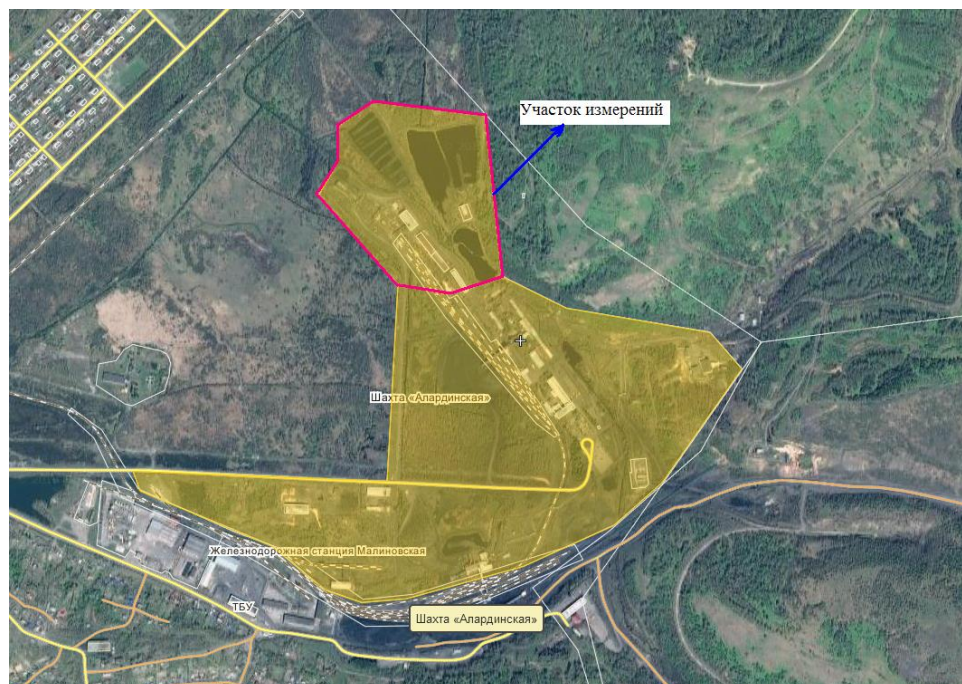


Рис. 1. Территория шахты «Алардинская» над аварийным участком пластов 1, 3 и 6 (М 1:20000)

В таблице 3 представлено значение общего потока выделяемых газов с поверхности над очагами эндогенного пожара (оксида углерода, водорода, метана).

Таблица 1

Замеры выделяемых газов с поверхности шахты  
(по 12 створам на поверхности выработанного пространства  
пластов 1, 3 и 6 в пределах границ эндогенного пожара № 79 ООО «Шахта Алардинская»)

Измеряемый газ, %	Результаты замеров по контрольным точкам																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Створ 1 (суммарная длина: около 800 м, количество проб: 17)</b>																	
СО	0,001	0,004	0,001	0	0,0005	0,006	0,004	0	0	0,001	0	0	0,002	0,001	0	0	0,001
Н <sub>2</sub>	0	0,0008	0	0,008	0,003	0,05	0,0008	0	0	0,004	0,008	0,008	0,0008	0	0	0	0
СН <sub>4</sub>	0,001	0,01	0,001	0,05	0	0	0,01	0	0,08	0	0,05	0,05	0,05	0,01	0	0	0,01
<b>Створ 2 (суммарная длина: около 450 м, количество проб: 10)</b>																	
СО	0	0,003	0,001	0,001	0	0,001	0	0	0,001	0							
Н <sub>2</sub>	0,008	0	0	0,004	0	0,001	0	0	0	0,008							
СН <sub>4</sub>	0,01	0,06	0,01	0	0,05	0,08	0	0	0,01	0,1							
<b>Створ 3 (суммарная длина: около 450 м, количество проб: 10)</b>																	
СО	0,008	0	0,0005	0,002	0	0	0	0,01	0,002	0							
Н <sub>2</sub>	0	0,006	0,003	0	0	0,003	0	0	0,0008	0							
СН <sub>4</sub>	0,02	0,05	0	0,2	0,08	0,01	0,08	0,01	0,05	0							
<b>Створ 4 (суммарная длина: около 450 м, количество проб: 10)</b>																	

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

Окончание табл. 1

CO	0,01	0	0,0005	0	0,001	0,001	0,001	0	0	0,0005					
H <sub>2</sub>	0	0,01	0,003	0,003	0,001	0,004	0,004	0,006	0	0					
CH <sub>4</sub>	0,01	0	0	0,05	0,08	0	0	0,05	0,05	0,01					
<b>Створ 5 (суммарная длина: около 450 м, количество проб: 10)</b>															
CO	0,008	0,003	0,008	0	0	0	0	0,003	0,008	0,001					
H <sub>2</sub>	0	0	0,001	0	0	0	0,005	0,001	0	0,004					
CH <sub>4</sub>	0,2	0,06	0,005	0,008	0	0	0,3	0,001	0,02	0					
<b>Створ 6 (суммарная длина: около 450 м, количество проб: 10)</b>															
CO	0,08	0	0,0035	0,0005	0,0022	0	0	0	0	0,001					
H <sub>2</sub>	0	0,005	0,0008	0	0,002	0,0062	0	0	0,004	0,001					
CH <sub>4</sub>	0,02	0,03	0,05	0,01	0	0,12	0,05	0,05	0,06	0,05					
<b>Створ 7 (суммарная длина: около 400 м, количество проб: 9)</b>															
CO	0	0,009	0,001	0,002	0,002	0	0	0,001	0,003						
H <sub>2</sub>	0	0,05	0	0,001	0,0008	0	0,0062	0,001	0,001						
CH <sub>4</sub>	0	0,23	0,001	0,05	0,05	0	0,1	0,08	0,01						
<b>Створ 8 (суммарная длина: около 350 м, количество проб: 8)</b>															
CO	0,001	0,003	0	0	0,002	0	0,001	0							
H	0,004	0,001	0	0,01	0,001	0,001	0	0,01							
CH <sub>4</sub>	0	0,001	0	0	0,05	0,05	0,001	0							
<b>Створ 9 (суммарная длина: около 700 м, количество проб: 15)</b>															
CO	0,001	0,001	0	0	0,001	0,002	0	0,006	0,006	0	0,008	0,004	0	0,0008	0
H <sub>2</sub>	0	0	0	0,016	0,001	0	0,006	0,001	0,01	0,0008	0,006	0	0,001	0,001	0,01
CH <sub>4</sub>	0,001	0,01	0	0	0,001	0,2	0,08	0,05	0,05	0,05	0,2	0	0,05	0,06	0
<b>Створ 10 (суммарная длина: около 700 м, количество проб: 15)</b>															
CO	0	0,001	0,008	0,0005	0,0006	0,001	0,001	0	0,003	0,001	0,001	0,001	0,006	0	0,001
H <sub>2</sub>	0	0,003	0	0,002	0,002	0,001	0	0,003	0	0,004	0,003	0	0,004	0,008	0
CH <sub>4</sub>	0,08	0	0,02	0	0,0001	0,008	0,01	0,01	0,06	0	0,01	0,001	0,05	0,005	0,01
<b>Створ 11 (суммарная длина: около 700 м, количество проб: 15)</b>															
CO	0	0,001	0,001	0,001	0,002	0	0,004	0,0035	0	0	0	0	0,0035	0,005	0,008
H <sub>2</sub>	0	0	0	0,001	0	0,016	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0
CH <sub>4</sub>	0,08	0,01	0,01	0,05	0,02	0	0,05	0,06	0,08	0,08	0,05	0,05	0,06	0,05	0,02
<b>Створ 12 (суммарная длина около: 700 м, количество проб: 15)</b>															
CO	0,001	0	0,002	0,001	0,008	0	0,001	0	0	0	0,001	0,0022	0,0042	0,001	0,0005
H <sub>2</sub>	0	0	0,0008	0	0	0,01	0,004	0,006	0,004	0	0	0,002	0,0008	0	0
CH <sub>4</sub>	0,01	0,08	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0,1	0,05	0,01	0	0,01	0,001	0,01

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

Таблица 2

*Удельный поток газов на поверхности выработанного пространства пластов 1, 3 и 6 в пределах грани  
эндогенного пожара №79 ООО «Шахта Алардинская»*

Удельн. поток, $q \cdot 10^{-6}$ , $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$	Значение по контрольным точкам																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Створ 1</b>																	
CO	0,075	0,3	0,075	0	0,037	0,45	0,3	0	0	0,075	0	0	0,15	0,075	0	0	0,075
H <sub>2</sub>	0	0,06	0	0,6	0,22	3,75	0,06	0	0	0,3	0,6	0,6	0,06	0	0	0	0
CH <sub>4</sub>	0,075	0,75	0,075	3,75	0	0	0,75	0	6	0	3,75	3,75	3,75	0,75	0	0	0,75
<b>Створ 2</b>																	
CO	0	0,22	0,075	0,075	0	0,075	0	0	0,075	0							
H <sub>2</sub>	0,6	0	0	0,3	0	0,075	0	0	0	0,6							
CH <sub>4</sub>	7,5	4,5	0,75	0	3,75	6	0	0	0,75	7,5							
<b>Створ 3</b>																	
CO	0,6	0	0,037	0,15	0	0	0	0,75	0,15	0							
H <sub>2</sub>	0	0,45	0,22	0	0	0,22	0	0	0,06	0							
CH <sub>4</sub>	15	3,75	0	15	6	0,75	6	0,75	3,75	0							
<b>Створ 4</b>																	
CO	0,75	0	0,037	0	0,075	0,075	0,075	0	0	0,037							
H <sub>2</sub>	0	0,75	0,22	0,22	0,075	0,3	0,45	0	0	0							
CH <sub>4</sub>	0,75	0	0	3,75	6	0	0	3,75	3,75	0,75							
<b>Створ 5</b>																	
CO	0,6	0,22	0,6	0	0	0	0	0,22	0,6	0,075							
H <sub>2</sub>	0	0	0,075	0	0	0	0,37	0,075	0	0,3							
CH <sub>4</sub>	15	4,5	0,37	0,6	0	0	22,5	0,075	1,5	0							
<b>Створ 6</b>																	
CO	6	0	0,26	0,037	0,16	0	0	0	0	0,075							
H <sub>2</sub>	0	0,37	0,06	0	0,15	0,45	0	0	0,3	0,075							
CH <sub>4</sub>	1,5	2,25	3,75	0,75	0	7,5	3,75	3,75	4,5	3,75							
<b>Створ 7</b>																	
CO	0	0,67	0,075	0,15	0,15	0	0	0,075	0,22								
H <sub>2</sub>	0	3,75	0	0,075	0,06	0	0,46	0,075	0,075								
CH <sub>4</sub>	0	17,25	0,075	3,75	3,75	0	7,5	6	0,75								
<b>Створ 8</b>																	
CO	0,075	0,22	0	0	0,15	0	0,075	0									
H <sub>2</sub>	0,3	0,075	0	0,75	0,075	0,075	0	0,75									
CH <sub>4</sub>	0	0,075	0	0	3,75	3,75	0,075	0									
<b>Створ 9</b>																	
CO	0,075	0,075	0	0	0,075	0,15	0	0,45	0,45	0	0,6	0,3	0	0,06	0		
H <sub>2</sub>	0	0	0	1,2	0,075	0	0,45	0,075	0,75	0,06	0,45	0	0,075	0,075	0,075		
CH <sub>4</sub>	0,075	0,75	0	0	0,075	15	6	3,75	3,75	3,75	15	0	3,75	4,5	0		
<b>Створ 10</b>																	
CO	0	0,075	0,6	0,037	0,045	0,075	0,075	0	0,22	0,075	0,075	0,075	0,45	0	0,075		
H <sub>2</sub>	0	0,22	0	0,15	0,15	0,075	0	0,22	0	0,3	0,22	0	0,3	0,6	0		
CH <sub>4</sub>	6	0	1,5	0	0,0075	0,6	0,75	0,75	4,5	0	0,75	0,075	3,75	0,37	0,75		
<b>Створ 11</b>																	
CO	0	0,075	0,075	0,075	0,15	0	0,3	0,26	0	0	0	0	0,26	0,37	0,6		
H <sub>2</sub>	0	0	0	0,075	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0,075	0		
CH <sub>4</sub>	6	0,75	0,75	3,75	1,5	0	3,75	4,5	6	6	3,75	3,75	4,5	3,75	1,5		
<b>Створ 12</b>																	
CO	0,075	0	0,15	0,075	0,6	0	0,075	0	0	0	0,075	0,16	0,31	0,075	0,037		
H <sub>2</sub>	0	0	0,06	0	0	0,75	0,3	0,45	0,3	0	0	0,15	0,06	0	0		
CH <sub>4</sub>	0,75	6	0,75	0,75	0,75	0	0	0,75	7,5	3,75	0,75	0	0,75	0,075	0,75		

Таблица 3

*Общий поток выделяемых газов с поверхности шахты при эндогенном пожаре*

Выделившийся газ	Значение общего удельного потока, м <sup>3</sup> /с	Валовый выброс, т/год
CO	7,045	4856,5
H <sub>2</sub>	8,838	437,6
CH <sub>4</sub>	119,05	48806,7

Исходя из анализа, что количество эндогенных пожаров на территории Кузбасса насчитывается около двадцати, следует вывод, что в течение года, масса выделяемых газообразных веществ, с территорий где происходит эндогенный пожар, может быть следующая: оксида углерода – около 21000 тонн, водорода – около 19000 тонн, метана – около 211000 тонн.

Также, по итогам проведенных исследований, были сделаны следующие выводы:

1. Анализ выбросов, производимых с шахт в течение десяти лет, показал, что основное влияние на загрязнение воздуха окружающей среды имеют выбросы метана (54 %). Далее, по степени загрязнения, располагаются выбросы угарного газа (22 %), диоксида серы (8 %) и диоксида азота (6 %).

2. В Кемеровской области, на угольных шахтах, в данный момент, насчитывается около двадцати эндогенных пожаров.

3. Анализ выделения газов с поверхности шахт показал, что в течение года в среднем от эндогенного пожара на шахте может быть выделено около 56000 тонн опасных газообразных веществ. В связи с этим, в течение года, на территории Кузбасса, может быть выделено около 250000 тонн этих веществ, которые составляют около 19 % от учтенных выбросов, производимых от источников загрязнения атмосферы.

Вывод: в данном исследовании на примере одной из шахт Кемеровской области была определена структура и количество выбросов, производимых при самовозгорании угля в шахтах, и последующем развитии эндогенного пожара. Исследование показало, что эндогенные пожары оказывают влияние на загрязнение окружающей среды, в частности путем выделения метана, оксида углерода и водорода. Это необходимо учитывать, при оценке загрязнений окружающей среды от шахт, и указывает на принятие необходимых мер и совершенствование уже существующих противопожарных систем в шахтах, чтобы исключить (или минимизировать) случаи возникновения эндогенных пожаров. Результаты исследований можно использовать для оценки общих выбросов, производимых с горнодобывающих предприятий, для учета количества данных выбросов, и принятия мер по снижению количества выбросов в окружающую среду.

Список использованных источников:

1. Захаров Е.И. Оценка опасности самовозгорания угля на ранней стадии процесса низкотемпературного окисления / Е.И. Захаров, Д.Д. Малахова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2015. - № 1. – С. 22–30.
2. Качурин Н.М. Методика прогнозирования экологических последствий подземной добычи угля в России / Н.М. Качурин, В.И. Ефимов, С.А. Воробьев // Горный журнал. – 2014. – №9. – С. 138–142.
3. Zhu H.-Q. Goaf zone division and index gases of residual coal spontaneous combustion prediction / H.-Q. Zhu, B.-F. Gu, Z. Zhang // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol. 7. – Is.2. – P. 316–327.
4. Домрачев А.Н. Использование явления низкотемпературной эманации индикаторных газов при прогнозировании самовозгорания угля / А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов, Д.Ю. Палеев [и др.] // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2014. – № 1. – С. 315–319.
5. Cygankiewicz J. Determination of Critical Conditions of Spontaneous Combustion of Coal in Longwall Gob Areas / J. Cygankiewicz // Archives of Mining Sciences. – 2015. – Vol.60. – Is.3. – P. 761–776.
6. Чубаров Б.В. Современный способ обнаружения ранних стадий самовозгорания угля по выделению радона / Б.В. Чубаров, О.В. Чижов, О.С. Токарев [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2014. - № 9. – С. 59–62.
7. Burchart-Korol D. Model of environmental life cycle assessment for coal mining operations / D. Burchart-Korol, A. Fugiel, K. Czaplicka-Kolarz [et al.] // Science of the Total Environment. – 2016. – Vol. 562. – P. 61–72.
8. Sechman H. Distribution of methane and carbon dioxide concentrations in the near-surface zone and their genetic characterization at the abandoned «Nowa Ruda» coal mine (Lower Silesian Coal Basin, SW Poland) / Sechman H., Kotarba M.J., Fiszer J., Dzieniewicz M. [et al.] // International Journal of Coal Geology. – 2013. – Vol. 116–117. – P. 1–16.

## СТЕЙКХОЛДЕРЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА ВУЗА

*П.В. Родионов, к. пед.н., ст. преподаватель, студент группы ЗНМ23,  
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: rodionov1972@tpu.ru*

**Аннотация:** В статье рассматриваются методы совершенствования систем управления охраной труда в высших учебных заведениях. В настоящее время все работы по данной тематике затрагивают лишь отдельные принципы и алгоритмы работы этой системы. Новизна предлагаемого подхода состоит в том, что управление охраной труда в вузе следует осуществлять на основе комплексной стратегии с применением системного подхода в инновационной деятельности вуза. Также в статье приведены статистические данные по травматизму и профессиональным заболеваниям в организациях России. Показан подход к декомпозиции существующей системы управления охраной труда в вузе с учетом особенностей входящих в управляемую систему подсистем, маппинг стейкхолдеров системы охраны труда и интеграция стратегии ее развития с другими видами стратегий вуза.

**Ключевые слова:** Охрана труда, системный подход, высшее образование, безопасность, стейкхолдеры, мотивация.

**Abstract:** The article discusses methods for improving labor protection management systems in higher educational institutions. Currently, all works on this topic affect only certain principles and algorithms of this system. The novelty of the proposed approach lies in the fact that the management of labor protection in the university should be carried out on the basis of a comprehensive strategy using a systematic approach in the innovation activities of the university. The article also provides statistical data on injuries and occupational diseases in Russian organizations. An approach is shown to the decomposition of the existing system of labor protection management in the university, taking into account the features of the subsystems included in the managed system, the mapping of the stakeholders of the labor protection system and the integration of its development strategy with other types of university strategies.

**Keywords:** Occupational safety, systemic approach, higher education, safety, stakeholders, motivation.

Основная цель высших учебных заведений Российской Федерации – подготовка высококвалифицированных специалистов для различных отраслей, ведомств и сфер услуг, для претворения в жизнь данной цели необходимо ежедневно выполнять большой спектр задач, в том числе и задачи по сохранению жизни и здоровья сотрудников, студентов и слушателей программ дополнительного образования вуза.

Современная экономика, а также инновационные мировые экономические процессы всех уровней предполагают эффективное использование всех ресурсов для создания условий для успешного бизнеса. Люди (сотрудники, работники, студенты, слушатели и т. п.) тоже являются ресурсами, кто-то их классифицирует, как людские, другие как человеческие, третьи как трудовые ресурсы. Отличие человеческих ресурсов от иных – это невозможность полного восстановления этого ресурса до начального состояния и вероятность риска по ухудшению здоровья, профессионального заболевания и травматизма, включая смертельный исход. Человек является основным движителем любой простой или сложной системы, он также является изобретателем, рационализатором, вдохновителем идей и субъектом управления этой системы.

В связи с вышесказанным одной из главных задач руководства вузов является рациональное использование человеческих ресурсов с применением инновационных, научных и образовательных методов подхода к этой сложной задаче.

На решение этой задачи направлена деятельность, которая присутствует на любом уровне экономической деятельности, включая образовательную, название этой деятельности – система управления охраной труда в организации.

По данным результатов мониторинга Министерством труда и социальной защиты страны условий охраны труда в Российской Федерации за 2020 год выяснилось, что:

- численность пострадавших со смертельным исходом снизилась с коэффициента 1,0 на 1000 работающих в 2000 году до коэффициента 0,17;
- численность случаев смертельного травматизма в сфере образования снизилась, но все равно за 2020 год составила – 10 чел.;
- число дней нетрудоспособности с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более в расчете на одного пострадавшего в 2020 году по сравнению с результатами 2000 года увеличилось на 80 %.

Эффективность мероприятий по охране труда в вузе напрямую зависит от качества выполнения своих функциональных обязанностей в области безопасности руководителями структурных подразделений образовательной организации. За обеспечение безопасных условий жизнедеятельности в образовательном процессе в вузе отвечают: администрация вуза, заведующие кафедрами, отделами, управлениями, руководители основной профессиональной образовательной программы, заведующие лабораториями, учебно-вспомогательный персонал, специалисты вуза по вопросам безопасности.

В результате проведенного анализа опроса сотрудников и студентов вузов (с учетом современных реалий активного способа руководства системой охраны труда в организации) деятельность ответственных должностных лиц за безопасные условия труда в вузе проводится на очень низком методическом, организационном уровне. Руководством и руководителями структурных подразделений вузов в недостаточной мере учитывают риски и опасности, которым подвергаются профессорско-преподавательский состав, сотрудники, студенты и обслуживающий персонал в процессе образовательной и производственной деятельности.

На различных объектах учебно-материальной и хозяйственной базы вуза (объекты физического воспитания, лаборатории, учебные мастерские, тренажеры и т. д.) периодически проводятся работы связанные с повышенной опасностью для жизни и здоровья студентов и сотрудников, к которым предъявляются повышенные требования по охране труда.

Также, как правило, в специализированных аудиториях и в местах проведения работ вспомогательными службами вуза студенты и рабочие подвергаются негативным факторам: недостаточная естественная и искусственная освещенность, воздействие ионизирующих излучений от персональных компьютеров, загазованность соединениями углерода и оксидами металлов, электро- и пожарная опасность.

Относительно малый коэффициент уровня травматизма и профессиональных заболеваний в образовательных организациях в сравнении с другими отраслями экономики привел к некоторой успокоенности руководства и руководителей структурных подразделений вузов и создал условия для необоснованной уверенности на малый риск возникновения травм и профессиональных заболеваний.

Основной причиной отношения руководства и сотрудников вузов к системе охраны труда по «остаточному принципу» являются: отсутствие опыта работы в области охраны труда, отсутствие мотивации у руководства и работников по улучшению условий труда, некачественная работа профсоюзной организации вуза со своим ректоратом, низкий уровень пропаганды охраны труда.

Все причины являются следствием отсутствия системного подхода к данной проблеме – мотивации руководства и сотрудников к повышению эффективности охраны труда в вузе.

Для определения способов и методов системного подхода улучшения данной проблемы необходимо определить основные составляющие, с которых начинается исследование путей решения данной проблемы – это: пути входа и выхода системы и стейкхолдеры отношений в области охраны труда организации.

Рассмотрим расширенную номенклатуру стейкхолдеров современного вуза как целостной системы управления охраной труда (далее – СУОТ) (таблица 1).

Таблица 1

*Стейкхолдеры вуза*

№ п/п	Наименование стейкхолдера	Участие в системе управления охраной труда
1	Правительство	Правовое регулирование, надзорная деятельность, пропаганда, бюджетирование.
2	Исполнительная власть субъектов РФ, муниципалитетов, местного самоуправления	Правовое регулирование, надзорная деятельность, на своем уровне власти. Софинансирование и проведение мероприятий по охране труда. Пропаганда безопасной жизнедеятельности населения.
3	Руководство вуза	Непосредственное руководство, финансирование и мониторинг СУОТ вуза.
4	Служба охраны труда вуза	Непосредственное руководство, организация, контроль и мониторинг СУОТ вуза.
5	Руководители структурных подразделений	Непосредственное руководство СУОТ структурных подразделений.
6	Сотрудники	Вносят предложения по повышению эффективности охраны труда в вузе.
7	Студенты (слушатели ДПО)	Вносят предложения по повышению эффективности охраны труда в вузе.
8	Профкомы	Активное участие в СУОТ, согласование всех действий руководства в области охраны труда.

9	Общественные организации	Обмен опытом по вопросам повышения эффективности охраны труда в организации.
10	Работодатели выпускников	Обеспечивают выполнение правил охраны труда сотрудниками, студентами вуза на своей территории.
11	Другие вузы	Обмен опытом по СУОТ. Проведение переподготовки и курсов повышения квалификации для сотрудников вуза. Обеспечивают выполнение правил охраны труда сотрудниками, студентами вуза на своей территории.
12	Надзорные органы	Осуществляют надзорную и профилактическую деятельность в области охраны труда.

В процессе управления системой охраной труда вуза участвуют не только студенты, слушатели ДПО и сотрудники, а также и другие внешние стейкхолдеры, действие которых на систему тоже очень важно, одним из таких стейкхолдеров является государство.

Как видно из данных таблицы по стейкхолдерам по обеспечению эффективной работы СУОТ вуза основными и непосредственными организаторами СУОТ вуза являются: руководство вуза, служба охраны труда вуза, первичная профсоюзная организация, руководители подразделений. В связи с этим главной задачей этой группы стейкхолдеров будет сохранение жизни и здоровья сотрудников и студентов, создание безопасных условий образовательной деятельности и проведение мероприятий профилактического и пропагандистского направления в области охраны труда.

Таким образом, возникает острая необходимость проработки с помощью системного анализа и подходов принципов построения функциональной и операционной стратегии в области охраны труда вуза в современных реалиях всех участников образовательной среды и перехода на новые способы, методы, технологии управления охраной труда. Тем более, что опыт образовательных организаций высшего образования России в контексте формирования нового технологического уклада в области охраны труда представляется познавательным и требующим постоянного исследования.

Список использованных источников:

1. Збышко Б.Г. Особенности социально-трудовых отношений в сфере охраны труда / Б.Г. Збышко // Охрана и экономика труда. – 2017. – №4. – С. 4–8.
2. Трифонов И.В. Принятие управленческих решений при реализации программ развития организаций // Вестник ВЭГУ. – 2013. – № 3 (65). – С. 155–160.
3. Кузнецова О.В. Система управления охраной труда: институциональная трансформация и сбережение человеческих ресурсов: дис... канд. экон. наук / О.В. Кузнецова. – Барнаул, 2014. – 216 с.
4. Пантюхин А.И. Охрана труда в высших учебных заведениях / А.И. Пантюхин, А.Л. Кузнецов // Ученые записки. – 2008. – № 2. – С. 378–380.
5. Коркачев В.А. Проблемные аспекты формирования стратегии управления охраной труда на предприятии / В.А. Коркачев, А.Г. Коряков // Экономика и управление инновациями. – 2019. – № 3. – С.78–87.

#### **ИЗУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ВОДНОГО РАСТВОРА ОТ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ**

*Д.В. Мартемьянов<sup>а</sup>, инженер, Т.Х. Чан, аспирант, В.В. Овчинников, студент*

*Научный руководитель: Журавков С.П., доцент, к.х.н.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*E-mail: <sup>а</sup> martemdy@yandex.ru*

**Аннотация:** Использование наноструктурного сорбента для очистки воды от микроорганизмов. Материал на основе кварцевого песка, модифицированного нановолокнами оксигидроксида алюминия. Очистка воды от бактерий *Escherichia coli*. Purification of water from bacteria *Escherichia coli*.

**Ключевые слова:** Микроорганизмы, очистка воды, наноструктурный материал, сорбент, метод Коха, модельный раствор, нановолокна, оксигидроксид алюминия.

**Abstract:** The use of a nanostructured sorbent for water purification from microorganisms. The material is based on quartz sand modified with aluminum oxyhydroxide nanofibers.

**Keyword:** Microorganisms, water purification, nanostructured material, sorbent, the Koch method, model solution, nanofibers, aluminum oxyhydroxide.

Одной из основополагающих проблем современности, является интенсивное загрязнение гидросферы Земли [1]. Данное антропогенное влияние обусловлено негативным воздействием цивилизации на природу. Поверхностные водные среды подвергаются различным видам загрязнений, таким как химические, микробиологические, тепловые и т. д. [2–4]. Отдельную опасность имеют микробиологические примеси, находящиеся в воде. При употреблении воды, содержащей болезнетворные микроорганизмы, они самым пагубным образом влияют на здоровье и жизнь людей. Также они могут отрицательно воздействовать на работу технологического оборудования, где будет использована недостаточно очищенная вода. Таким образом, получается вывод, что необходима эффективная очистка воды от микробиологических загрязнителей, при её употреблении в технических и пищевых целях.

Имеется множество процессов по очистке и стерилизации воды от различных микроорганизмов, такие как: реагентный метод, мембранная очистка, озонирование, кипячение, фильтрация, сорбционный способ и др. [5]. Любой из представленных методов обладает как достоинствами, так и недостатками. Поэтому требуется выбирать оптимальный способ очистки воды, в тех, или иных условиях. В последние годы, всё большую популярность приобретает метод очистки водных сред от микробиологических загрязнителей, с применением наноструктурных фильтрсорбентов.

Данная публикация рассматривает использование нового наноструктурного фильтрсорбента, на основе кварцевого песка, с иммобилизованными на его поверхности нановолокнами оксигидроксида алюминия. Иммобилизацию нановолокон оксигидроксида алюминия на поверхности кварцевого песка проводили, применяя золь-гель метод. Для этого применяли пищевую марку алюминия АК12. Морфологию поверхности модифицированного материала рассматривали с использованием электронной микроскопии. Значения удельного объёма пор и удельной поверхности измеряли при использовании метода БЭТ. Определение свойств полученного материала, в процессе извлечения микроорганизмов из водного раствора, проводили в динамическом режиме. Для этого использовали перистальтический насос и фильтровальную трубку, в которую помещался наноструктурный сорбент. Масса применяемого сорбента составляла 2,61 г. Модельный раствор делался с использованием водопроводной воды, которая отстаивалась в течении 1 суток. Потом осуществлялось обсеменение данной воды культурой *Escherichia Coli* (кишечная палочка). Концентрация микроорганизмов в модельном растворе образовалась  $2,1 \cdot 10^5$  КОЕ/  $\text{дм}^3$ . Производительность прохождения модельного раствора через слой модифицированного сорбента, помещённого в фильтровальную трубку, составляла  $500 \text{ см}^3/\text{час}$ .

Таблица 1

*Исследования удельной поверхности и удельного объёма пор у наноструктурного сорбента и его компонентов*

Образец	Размер гранул, мм	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Удельный объём пор, $\text{см}^3/\text{г}$
Сорбент	0,1-0,5	20,43	0,007
Кварцевый песок		0,28	0,001
ОГА	Менее 0,1	191,7	0,083

Представленные в таблице 1 характеристики, показывают низкие определяемые значения у кварцевого песка и высокую удельную поверхность и удельный объём пор у оксигидроксида алюминия. У наноструктурного сорбента видно, что модификация привела к значительному увеличению исследуемых свойств.

Осуществляли изучение морфологии модифицированного сорбента, с закреплёнными на его основе нановолокнами оксигидроксида алюминия.

На рисунке 1 показан модифицированный сорбент на основе кварцевого песка, с закреплёнными у него на поверхности нановолокнами оксигидроксида алюминия. Материал представлен при увеличении в 7,2 тысячи раз. Видны частицы кварцевого песка с иммобилизованными у него на поверхности нановолокнами оксигидроксида алюминия. Местами, оксигидроксид алюминия присутствует в свободном состоянии. Диаметр нановолокон оксигидроксида алюминия составляет 2 нм, а длина до 200 нм, что говорит о том, что сорбент наноструктурный.

По данным из таблицы 2 можно сделать выводы, что разработанный наноструктурный сорбент, способен извлекать микроорганизмы из водных сред. Видна полная очистка раствора, на первых двух дециметрах кубических фильтрата. Далее идёт постепенное снижение фильтрационной способности изучаемого материала. На 9 и 10 дециметрах кубических фильтрата, материал не показывает водоочистных свойств, при извлечении микроорганизмов из модельного раствора.



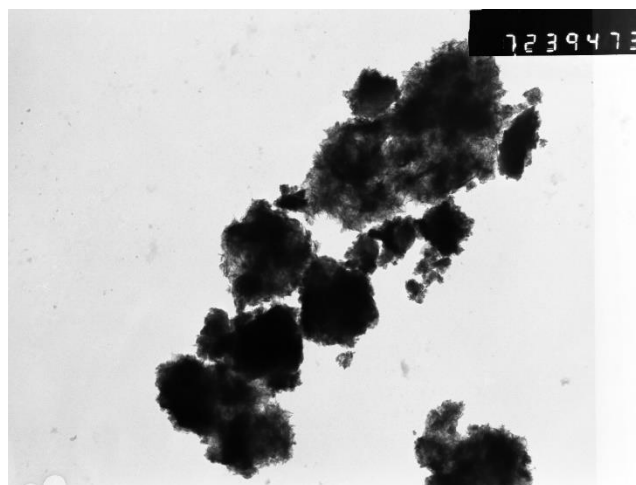


Рис. 1. Изучение морфологии поверхности модифицированного сорбента

Таблица 2  
Фильтрационные характеристики наноструктурного сорбента в процессе очистки воды от культуры *Escherichia Coli*

Пропущенный объём, дм <sup>3</sup>	Содержание микроорганизмов в модельном растворе, КОЕ/ дм <sup>3</sup>	Содержание микроорганизмов в фильтрате, КОЕ/ дм <sup>3</sup>	Степень очистки, %
1	2,1*10 <sup>5</sup>	0	100
2		0	100
3		84	99,96
4		317	99,85
5		2,8*10 <sup>3</sup>	98,67
6		1,5*10 <sup>4</sup>	92,86
7		8,1*10 <sup>4</sup>	61,43
8		1,6*10 <sup>5</sup>	23,81
9		2,1*10 <sup>5</sup>	0
10		2,1*10 <sup>5</sup>	0

Список использованных источников:

1. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс. Справочное пособие / И.И. Мазур. – М.: Высш. школа, 1996. – 637 с.
2. Клячков В.А., Апелъцин И.Э. Очистка природных вод / В.А. Клячкова, И.Э. Апелъцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
3. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец А.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, А.М. Швец. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
4. Телитченко М.М., Остроумов С.А. Введение в проблемы биохимической экологии: биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды. / М.М. Телитченко, С.А. Остроумов– М.: Наука, 1990. – 285 с.
5. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды /А.Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.

#### УДАЛЕНИЕ СОЛЕЙ ЖЁСТКОСТИ ИЗ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОНООБМЕННЫХ МЕТОДОВ

Д.В. Мартемьянов<sup>1,а</sup>, инженер, А.Е. Тябаев<sup>2</sup>, доцент, С.П. Журавков<sup>1</sup>, доцент, к.х.н.,  
А.В. Славинская<sup>1</sup>, студент

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>Томский государственный университет 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36  
E-mail: <sup>а</sup>martemdv@yandex.ru

**Аннотация:** Использовался вспученный вермикулит модифицированный NaCl. Велась очистка воды от солей жёсткости ионообменным материалом.

**Ключевые слова:** Вспученный вермикулит, очистка воды, соли жёсткости, гидродинамические свойства, ионообменный материал, фильтровальный модуль, водопроводная вода.

**Abstract:** Expanded vermiculite modified with NaCl was used. Water was purified from hardness salts with ion-exchange material.

**Keyword:** Expanded vermiculite, water purification, hardness salts, hydrodynamic properties, ion exchange material, filter module, tap water.

Среди различных загрязняющих веществ, находящихся в гидросфере нашей планеты, химические вещества имеют наибольшую опасность [1–3]. Они, находясь в водных объектах, отрицательно влияют на экологию региона. Потребление же такой воды в питьевых целях, негативно влияет на жизнь и здоровье человека. При технологическом использовании подобной водной среды, возможна поломка оборудования, засорение трубопроводов и т.д. В связи с этим, при применении воды в различных целях, требуется её очистка до необходимых значений. В водоочистке используются различные методы для удаления химических веществ из воды [4–8]. Одними из наиболее серьёзных химических загрязнителей в воде, являются соли жёсткости. Для их удаления, по большей части, используют ионообменные методы. В результате этого, разработка и изучение новых ионообменных материалов, является необходимой задачей.

В рамках представленной работы, будет изучаться новый ионообменный материал на основе вспученного вермикулита, модифицированного раствором NaCl. Носитель, в виде вспученного вермикулитобетона брался с размером частиц 1,5–2,5 мм. Массовое соотношение носителя и активного компонента (NaCl), при получении конечного материала, составляла 1/0,5. Фракционный состав используемого ионообменного материала составлял 1–3 мм. Определение удельной поверхности и удельного объёма пор у ионообменного материала и его носителя, проводили методом БЭТ. Исследуемый ионообменный материал помещался в фильтровальный модуль (10 дюймов) магистральный ITA Filter ITA-10 1/2. В качестве очищаемой среды бралась водопроводная вода (Кировский район, г. Томск). Содержание солей жёсткости в воде составляла 6,21 мг×эquiv/дм<sup>3</sup>. Производительность фильтрации составляла 94 дм<sup>3</sup>/ч. Предельно-допустимая концентрация (ПДК) солей жёсткости в питьевой воде составляет 7 мг×эquiv/дм<sup>3</sup>.

Таблица 1

*Изучение удельной поверхности и удельного объёма пор у вспученного вермикулита (носитель) и ионообменного материала на его основе*

Образец	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Удельный объём пор, см <sup>3</sup> /г
Вспученный вермикулит	6,26	0,003
Ионообменный материал	3,68	0,002

Из полученных результатов можно сделать вывод, что модификация носителя серьёзно влияет на его свойства. Очень сильно снижается удельная поверхность и удельный объём пор.

Таблица 2

*Степень извлечения солей жёсткости из водопроводной воды в процессе ионообменного воздействия*

Пропущенный объём, дм <sup>3</sup>	Концентрация солей жёсткости в фильтрате, мг×эquiv/дм <sup>3</sup>	Степень извлечения, %
1	0,63	89,86
10	1,14	81,65
20	1,3	79,07
30	1,37	77,94
40	1,55	75,05
50	1,72	72,31
60	2,33	62,48
70	2,85	54,11
80	3,29	47,03
90	3,6	42,03
100	3,84	38,17
110	4,17	32,86
120	4,35	29,96
130	4,57	26,41
140	4,81	22,55
150	5,1	17,88

160	5,19	16,43
170	5,26	15,3
180	5,4	13,05
190	5,66	8,86
200	5,81	6,45
210	5,93	4,51
220	6,14	1,13
230	6,21	0
240	6,21	0
250	6,21	0

По данным из таблицы 2 видно, что исследуемый ионообменный материал показывает хорошие свойства по извлечению солей жёсткости из водопроводной воды. Особенно хорошие ионообменные свойства материала наблюдаются, при фильтрации первых 100 дм<sup>3</sup> воды. На 230-ом дециметре кубическом фильтрата видно полное отсутствие ионообменного эффекта у материала.

Список использованных источников:

1. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М.: МГУ, 1996. – 680 с.
2. Сорбция ионов As<sup>3+</sup>, As<sup>5+</sup> из водных растворов на вермикулитобетоне и газобетоне модифицированных оксигидроксидом железа / Д.В. Мартемьянов, А.И. Галанов, Т.А. Юрмазова, Е.И. Короткова., Е.В. Плотников // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2014. – Том 57. – Вып. 11. – С. 30–33.
3. Мазур И.И. Инженерная экология. Общий курс. Справочное пособие / И.И. Мазур, О.И. Молдаванов, В.Н. Шишов. – М.: Высш. школа, 1996. – 637 с.
4. Клячков В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячкова, И.Э. Апельцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
5. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
6. Мартемьянов Д.В. Исследование свойств сорбента глауконит гранулированный / Д.В. Мартемьянов, Д.Н. Мухортов, Ф.Е. Сапрыкин // Инновационные процессы в научной среде: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2015. – С. 31–33.
7. Мартемьянов Д.В. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As<sup>5+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Ni<sup>2+</sup> из водных сред / Д.В. Мартемьянов, А.И. Галанов, Т.А. Юрмазова // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666–670.
8. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки / В.В. Зарубин, Д.В. Мартемьянов, И.В. Мартемьянова, А.В. Рыков // Эффективность, надежность, безопасность : материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 187–189.

#### ИЗМЕНЕНИЕ pH ВОДНЫХ СРЕД ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Д.В. Мартемьянов<sup>1,а</sup>, инженер, А.Е. Тябаев<sup>2</sup>, доцент, С.П. Журавков<sup>1</sup>, доцент, к.х.н.,  
А.В. Славинская<sup>1</sup>, студент

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>Томский государственный университет 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36  
E-mail: <sup>а</sup>martemdv@yandex.ru

**Аннотация:** Использовался гидроксид натрия для изменения pH модельного раствора.

**Ключевые слова:** Модельный раствор, очистка воды, гидроксид натрия, водородный показатель, кислотность.

**Abstract:** Sodium hydroxide was used to change the pH of the model solution.

**Keyword:** Model solution, water purification, sodium hydroxide, hydrogen index, acidity.

Одной из наиболее важных и насущных проблем современной цивилизации, является экологический фактор [1]. В результате антропогенной деятельности человека, за последние пару веков, природе был нанесён существенный вред. Вода, воздух и почва на планете подвергались и продолжают подвергаться негативному воздействию со стороны человека.

Это, как правило, выражено в виде промышленных, бытовых и сельскохозяйственных сбросов. Природоохранные меры, которые осуществляются в различных странах, как правило, не дают требуемого результата. Особое место в Мире, занимает загрязнение гидросферы нашей планеты [2]. Ежегодно, человек использует огромные количества водных ресурсов, для своей жизнедеятельности. Порядка 75 % от потребляемой воды, используется в сельском хозяйстве. Дефицит чистой питьевой воды, с каждым годом, становится всё более серьёзной проблемой для современной цивилизации. Без неё, невозможно функционирование ни одной из сфер деятельности человека. Имеются регионы Земли, где существует нехватка чистой воды и даже военные конфликты, из-за неё. В реки, озёра и моря, ежедневно осуществляется слив производственных и бытовых сточных вод [3]. Зачастую, сточные воды не соответствуют требуемым нормативам. Загрязнители, попадающие в водные объекты Земли, начинают отрицательно воздействовать на флору и фауну гидросферы.

Основными загрязнителями гидросферы являются такие виды примесей, как:

- нефть и нефтепродукты. Ежегодно в гидросфере Земли оказывается порядка 15 млн. тонн нефти. Находясь в воде, данный загрязнитель уменьшает поступление кислорода живым организмам, что приводит к их смерти;
- сельское хозяйство. Смывы в водные объекты с сельскохозяйственных угодий пестицидов и удобрений, приводит к пагубным экологическим последствиям. Кроме того, животноводческие предприятия, являются поставщиком органических загрязнителей;
- твёрдые отходы влияют на освещение водоёмов и меняют химический состав водной среды;
- коммунальные сточные воды. Представляют очень вредный и опасный состав, сочетающий химические и биологические загрязнители;
- производственные стоки включают сбросы предприятий, шахт, рудников, транспортной инфраструктуры.

В силу вышеизложенной информации, становится очевидно, что необходима комплексная работа по очистке используемой воды, с целью улучшения качества жизни и здоровья людей [4–6]. Для этого, используются различные мероприятия и подходы в водоочистке, с целью удаления из воды загрязняющих агентов [7, 8]. Одним из наиболее перспективных и эффективных методов очистки водных сред, является процесс сорбции [9, 10].

Для проведения сорбционных экспериментов, с целью определения эффективности процессов водоочистки, необходимо приготовления модельных растворов, с различными концентрациями загрязняющих веществ. Эффективность сорбционных процессов может быть разной, в зависимости от условий эксперимента, в том числе pH модельного раствора. Поэтому, часто требуется корректировать pH водных сред, чтобы осуществлять тестирование исследуемых сорбентов, при различных условиях. Также это необходимо делать, с целью моделирования условий реальных, очищаемых водных сред.

Для проведения настоящего исследования, готовился раствор на дистиллированной воде, содержащей гидроксид натрия (NaOH), в количестве 10 г/дм<sup>3</sup>. Данный раствор предназначен для корректировки pH водной среды, с целью создания необходимых условий для последующих экспериментов. В качестве корректируемой водной среды, бралась водопроводная вода (Кировский район, г. Томск). Жёсткость водопроводной воды составляла 5,97 мг×экв/дм<sup>3</sup> (что в пределах ПДК для питьевых вод). Определение содержания солей жёсткости в водной среде, осуществлялось с применением метода титриметрии.

Таблица 1

*Изменение pH водной среды (водопроводной воды) при добавлении в неё раствора гидроксида натрия*

Объём водной среды, см <sup>3</sup>	Объём добавляемого раствора NaOH, см <sup>3</sup>	pH
Водопроводная вода - 250	-	7,3
251	1	7,3
252	1	7,5
253	1	8
254	1	8,2
255	1	8,3
256	1	8,3
257	1	8,4
258	1	8,5
259	1	8,6
260	1	8,7

XIV Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные технологии в машиностроении»

Окончание табл. 1

Объём водной среды, см <sup>3</sup>	Объём добавляемого раствора NaOH, см <sup>3</sup>	pH
261	1	8,8
262	1	8,9
263	1	9
264	1	9,2
265	1	9,5
266	1	9,8
267	1	10
268	1	10,2

Из показателей, представленных в таблице 1 видно, что при постепенном добавлении в исходную водопроводную воду щелочного раствора NaOH, происходит методическое увеличение pH среды. По представленным данным становится понятным, какие объёмы и концентрации щелочного агента необходимо добавлять, для корректировки pH водной среды.

Список использованных источников:

1. Мазур И.И. Инженерная экология. Общий курс. Справочное пособие / И.И. Мазур, О.И. Молдаванов, В.Н. Шишов. – М.: Высш. школа, 1996. – 637 с.
2. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко – М.: МГУ, 1996. – 680 с.
3. Мартемьянова, И.В. Природные цеолиты в очистке гальванических стоков / И.В. Мартемьянова, А.Ю. Баталова, Д.В. Мартемьянов // Современный взгляд на будущее науки : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2015. – С. 16–19.
4. Телитченко М.М. Введение в проблемы биохимической экологии: биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды / М.М. Телитченко, С.А. Остроумов. – М.: Наука, 1990. – 285 с.
5. Сорбция ионов  $As^{3+}$ ,  $As^{5+}$  из водных растворов на вермикулитобетоне и газобетоне модифицированных оксигидроксидом железа / Д.В. Мартемьянов, А.И. Галанов, Т.А. Юрмазова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2014. – Том 57. – Вып. 11. – С. 30–33.
6. Клячков В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод / В.А. Клячкова, И.Э. Апельцина. – М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
7. Мосолков А.Ю. Использование природных минералов для очистки водных сред от  $As^{3+}$  / А.Ю. Мосолков, Е.В. Плотников, Д.В. Мартемьянов // Перспективы развития фундаментальных наук: труды XI Международной конференции студентов и молодых учёных. – Томск, 2014. – С. 425–427.
8. Исследование сорбционных свойств синтетического адсорбента в процессах водоочистки / В.В. Зарубин, Д.В. Мартемьянов, И.В. Мартемьянова, А.В. Рыков // Эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI всероссийской научно-технической конференции. – Томск: Энергетика, 2015. – 2 Т. – С. 187–189.
9. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Юрмазова Т. А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов  $As^{5+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Ni^{2+}$  из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 666–670.
10. Бухарева П. Б., Мартемьянов Д. В., Назаренко О. Б., Мартемьянова И. В. Использование природного глауконита для очистки воды из реки Ушайка // Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск, 2015. – 2 Т. – С. 113–116.

**АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ**

- Аббатов Н.В.* 75  
*Абдуллаев К.Х.* 93  
*Аверьянова А.М.* 149  
*Акимов К.О.* 54, 112  
*Алексин А.В.* 139  
*Алфёрова Е.А.* 8  
*Балашов А.В.* 20, 68  
*Баранникова С.А.* 134  
*Батенков К.А.* 161  
*Беляев Д.В.* 36  
*Бурков В.П.* 45  
*Бурков П.В.* 45  
*Буркова С.П.* 45  
*Бурлакова В.Э.* 101  
*Валуев Д.В.* 93  
*Великанов Н.Л.* 84  
*Вергун Н.Г.* 98  
*Гаваев А.С.* 71  
*Глухих К.Д.* 149  
*Гоморова Ю.Ф.* 80  
*Губенко А.С.* 124  
*Гусева Т.С.* 107  
*Гутов Н.В.* 120  
*Давыденко Т.Н.* 180  
*Девойно О.Г.* 30  
*Деменкова Л.Г.* 180, 189  
*Дмитриев А.И.* 49, 142  
*Долматов Д.О.* 132  
*Дроботов А.В.* 130  
*Дроган Е.Г.* 101  
*Жигарев Д.А.* 36  
*Журавков С.П.* 206, 208, 210  
*Захарова А.А.* 149  
*Ибрагимов Е.А.* 42, 109  
*Иванов К.В.* 54  
*Ильященко Д.П.* 120, 124  
*Исхакова П.В.* 134  
*Казазян М.А.* 101  
*Кардаполова М.А.* 30  
*Когтева Д.П.* 194  
*Кожевникова К.В.* 136  
*Коржова В.В.* 59  
*Коростелева Е.Н.* 59  
*Корчуганова М.А.* 63, 104  
*Кузнецов М.А.* 117, 122  
*Курганская В.А.* 20  
*Лаврова Е.В.* 120  
*Ласуков А.А.* 10  
*Леонтьев П.Н.* 8  
*Лихарев В.Е.* 89  
*Луговцова Н.Ю.* 197  
*Луцко Н.И.* 30  
*Максимов П.В.* 71, 80  
*Мальчик А.Г.* 177  
*Мартемьянов Д.В.* 206, 208, 210  
*Масленский В.В.* 183  
*Мирзоянов Е.Ф.* 63, 104  
*Мозговой Н.И.* 13, 26  
*Мясников А.Ю.* 98  
*Наркевич Н.А.* 80  
*Некрасов Р.Ю.* 124  
*Никонов А.Ю.* 49  
*Овсянников В.Е.* 124  
*Овчинников В.В.* 206  
*Пальшин Е.С.* 172  
*Петренко О.Е.* 59  
*Петько А.И.* 189  
*Пимкина Н.А.* 187  
*Пимонов М.В.* 75  
*Плотников А.Л.* 130  
*Проскоков А.В.* 139  
*Разумников С.В.* 153  
*Рашитов В.Р.* 139  
*Родионов П.В.* 187, 194, 204  
*Романюк Р.А.* 177  
*Русин Н.М.* 89, 112  
*Саидмахамадов Н.М.* 93  
*Сапрыкин А.А.* 17, 39, 42, 107, 109  
*Сапрыкина Н.А.* 17, 39, 42, 107, 109  
*Скоренцев А.Л.* 89, 112  
*Славинская А.В.* 208, 210  
*Собачкин А.В.* 98  
*Соловенко И.С.* 163  
*Стрековцова Е.А.* 172  
*Судариков Е.В.* 117, 122  
*Таджиев Н.Х.* 93  
*Телегуз А.С.* 75  
*Телипенко Е.В.* 155  
*Теслева Е.П.* 136  
*Тимофеев В.Ю.* 45  
*Тицук А.А.* 177  
*Торубаров И.С.* 130  
*Тябаев А.Е.* 208, 210  
*Фигурко М.Г.* 54  
*Фисоченко О.Н.* 168  
*Чан Т.Х.* 206  
*Чебодаева В.В.* 39  
*Чивас В.С.* 13, 26  
*Шарков О.В.* 84  
*Щеткина Е.Е.* 68  
*Юрова Е.И.* 68

Научное издание

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Сборник трудов  
XIV Международной научно-практической конференции

**Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание  
представленной информации ответственность несут  
авторы и научные руководители**

Компьютерная верстка и дизайн обложки *А.В. Валеева*

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ  
Размещено на корпоративном портале ТПУ  
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ