

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

# СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКА В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



Сборник материалов

Всероссийской молодежной научно-практической конференции

16-17 июня 2022

Рекомендовано ученым советом федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург  
2022

УДК 62  
ББК 30в6 + 30.121 + 34.22  
М 55

Рецензент – профессор, доктор технических наук  
Сергеев Александр Иванович

Редакционная коллегия: Летута С.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор  
Пояркова Е.В., д-р техн. наук, доцент  
Чирков Ю.А., д-р техн. наук, доцент  
Дырдина Е.В., канд. техн. наук, доцент

М 55 **Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы**  
[Электронный ресурс]: сборник материалов Всероссийской молодежной  
научно-практической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан.  
– Оренбург: ОГУ, 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): зв., цв.; 12 см.  
– Систем. требования: IBM PC 686 (Pentium II, K6-2); MS Windows 9.x/NT  
5.x; процессор 233 МГц; оперативная память 128 Мб; доп. программные  
средства: веббраузер; Adobe Acrobat Reader XI. – Загл. с этикетки диска.  
**ISBN 978-5-7410-2933-6**

Сборник содержит материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции по актуальным вопросам прочности и диагностики технического состояния конструкций, исследований процессов разрушения и прогнозирования механического поведения материалов, использовании компьютерного инжиниринга в цифровом проектировании и производстве.

Материалы сборника адресованы студентам, аспирантам, молодым исследователям и всем интересующимся современным состоянием механики и вопросами развития студенческой науки.

*Конференция проведена в рамках выполнения проекта по реализации мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ в образовательных организациях высшего образования*

*Ответственность за ошибки, опечатки и неточности в материалах статьи несут авторы*

УДК 62  
ББК 30в6 + 30.121 + 34.22

**ISBN 978-5-7410-2933-6**

© Коллектив авторов, 2022  
© Оренбургский государственный университет, 2022

## Оглавление

Предисловие.....	7
Вступительное слово председателя Оргкомитета конференции .....	9
Секция «Процессы разрушения и прогнозирования механического поведения материалов» .....	10
ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ НЕКОТОРЫХ СТАЛЕЙ В РАСТВОРАХ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ <i>Абдульманова Рушана Ринатовна</i> .....	11
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ОДНОРОДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ <i>Завьялов Владимир Александрович</i> .....	14
ВЛИЯНИЕ ПРОТЯЖЕННОСТИ ЗОНЫ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ <i>Кузьмина Елена Александровна, Сёмка Ярослав Сергеевич</i> .....	19
РАЗРАБОТКА СОСТАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ <i>Бондарь Михаил Алексеевич, Латыпов Олег Ренатович, Фомичева Екатерина Николаевна, Вторенко Екатерина Андреевна</i> .....	24
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ <i>Пояркова Елизавета Никитична, Поярков Никита Владимирович</i> .....	28
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО УРОВНЯ НАКОПЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СТАЛИ 09Г2С ПО ХАРАКТЕРУ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ <i>Валиев Айбулат Салаватович</i> .....	33
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И УЛУЧШЕНИЕ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАСПЛАВА <i>Курноскин Иван Александрович</i> .....	40
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ СтЗ	

<i>Садрисламова Регина Ильгизовна, Джумабаев Хуршеджон Камилович, Латыпов Олег Ринатович</i> .....	44
ОСОБЕННОСТИ СИЛИЦИРОВАНИЯ ТРУБНОЙ СТАЛИ 10X23H18, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЗМЕЕВИКОВ РЕАКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ <i>Сейтжапаров Бексултан Серикович</i> .....	47
МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ <i>Жубаньязов Азамат Куанышевич</i> .....	54
ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ СИЛИЦИРОВАННОГО СЛОЯ ВЛИЯТЬ НА ЖАРОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 08X18H10T <i>Янбарисова Карина Владиславовна</i> .....	58
Секция «Актуальные проблемы прочности и диагностика технического состояния конструкций» .....	62
ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ПЛОСКОЙ КРЫШКИ ЛЮКА СЕПАРАТОРА ПРИ НАЛИЧИИ ЦАРАПИН <i>Грачева Вероника Викторовна</i> .....	63
ДВУХУПОРНОЕ ВЫСОКОМОМЕНТНОЕ РЕЗЬБОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ <i>Тулибаев Егор Сагитович</i> .....	69
ВЫЯВЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗОН КОНЦЕНТРАЦИИ МАКСИМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБАХ ЗМЕЕВИКА ПЕЧИ ПИРОЛИЗА С УЧЕТОМ «ПРИКИПАНИЯ» ПОДВЕСОК И ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА <i>Закирничный Евгений Григорьевич</i> .....	73
ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСОКОГО СОСТАВА И ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ WC НА СВОЙСТВА ГАЗОПЛАМЕННОГО ПОКРЫТИЯ <i>Плесовских Алексей Юрьевич</i> .....	78
РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ <i>Пивоваров Валерий Юрьевич</i> .....	82
ПРОЦЕСС МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА ИЗ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ С ЗАДААННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ <i>Пояркова Елизавета Никитична, Поярков Никита Владимирович</i> .....	87
Секция «Компьютерный инжиниринг в цифровом проектировании и производстве» .....	94

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ И РАСЧЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ <i>Иванов Дмитрий Александрович</i> .....	95
ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ <i>Фёдоров Максим Владимирович</i> .....	98
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНООСНОЙ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ С ТЕПЛОАГРУЖАТЕЛЕМ <i>Шулаев Иван Дмитриевич</i> .....	105
ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТРУБЫ ТЕПЛОАГРУЖАТЕЛЯ <i>Шулаев Иван Дмитриевич</i> .....	109
ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ШАРОВЫХ КРАНОВ <i>Михайленко Екатерина Александровна, Федоров Максим Владимирович, Пархома Константин Игоревич</i> .....	116
СРАВНЕНИЕ ЗАДВИЖКИ И ШАРОВОГО КРАНА <i>Михайленко Екатерина Александровна</i> .....	122
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ ШПИНДЕЛЬНЫХ ВАЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Фёдоров Максим Владимирович</i> .....	127
Секция «Современное состояние и перспективы промышленной безопасности производственных объектов».....	135
РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ <i>Рыжков Евгений Вячеславович, Азирбаев Рустам Темирланович</i> .....	136
АВАРИЙНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ НА НЕФТЕГАЗОВОМ ПРЕДПРИЯТИИ <i>Руденко Регина Владимировна</i> .....	139
АНАЛИЗ РИСКОВ И ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СМЯГЧЕНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАСЕЛЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ АВАРИЯХ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ <i>Рыжков Евгений Вячеславович</i> .....	145
Секция «Роль механики в решении проблем современного общества».....	149
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ <i>Белякова Дарья Евгеньевна, Фазлиева Рузия Аликовна</i> .....	150

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ <i>Сагдеев Николай Русланович</i> .....	156
ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. КОНЦЕПЦИЯ МЕХАНИКИ ПРОЦЕССА <i>Панасенко Михаил Иванович</i> .....	165
АКУСТИЧЕСКИЙ ДИФФУЗОР ТИПА SKYLINE: ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ <i>Бердников Павел Сергеевич</i> .....	170
УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ОТ ОПРОКИДЫВАНИЯ ПРИ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКЕ <i>Думинова Анастасия Сергеевна, Зиновьев Александр Васильевич</i> .....	174
БИОМЕХАНИКА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА. ЗАМКНУТАЯ КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ <i>Трайтельман Олег Александрович, Попова Елизавета Егоровна</i> .....	178

## Предисловие

Главная цель проведения молодежной научно-практической конференции «Современная механика в цифровую эпоху» заключается в обмене знаниями и передовым опытом в моделировании и проектировании машин и различных инженерных конструкций. Однако необходимо учитывать и дальнейшую рациональную эксплуатацию созданных объектов, и их долговечность. Разработки должны представлять собой тщательно обоснованные подходы и анализ проблем по исследованию механических систем, вызывающих практический интерес у широкого круга практиков и ученых. Результаты научного исследования в определенной области науки могут раскрыть исследуемые проблемы, подтолкнуть к инновационным разработкам, которые могут впоследствии превратиться в крупномасштабное исследование. Чем большее количество работ исследователи опубликуют и защитят на конференции в процессе дискуссии, тем выше вероятность продуктивного внедрения в промышленное производство. Одним из ключевых направлений развития страны является современная механика.

Механика с греческого – наука о машинах, искусство построения машин. Каждый человек сталкивается с механикой в процессе обучения в школе при изучении физики – основополагающего раздела, в котором рассматривается движение материальных тел и их взаимодействие. Формируются знания классической механики – движение, перемещение, скорость, ускорение, сила. Затем, изучаются более сложные разделы – релятивистская механика и квантовая механика. Дальнейшее обучение в высших учебных заведениях еще больше раздвигает границы понятия механика: теоретическая механика, механика сплошных сред, механика материалов, прикладная механика, строительная механика, механика грунтов, механика жидкости и газа, механика разрушений. Механика является фундаментом, на котором изучаются другие дисциплины и формируются различные области человеческих знаний. Например, используется в таких науках, как астрономия, оптика, метеорология, геология, космонавтика, биомеханика, электротехника, радиоэлектроника, ядерная физика.

Механика – наука о движении и взаимодействии материальных объектов, динамично развивается и является фундаментом современной техники. Успехи в космонавтике, ядерной энергетике, в ряде других областей современных знаний основываются на научных традициях и школах созданных в России, ведущих свое начало с XVIII—XIX вв. С каждым годом растет число задач, решенных используя механику, и также увеличивается количество проблем, требующих решения. Роль механики постоянно возрастает по мере развития технического прогресса. Знания механики играют определяющую роль в создании новых технических устройств, механизмов, транспортных машин, станков, технологических процессов с роботами, уникальных строительных объектов, машин сельскохозяйственного

назначения, медицинской техники, буровых установок, трубопроводных систем, технические устройства военного назначения и многое другое.

Проектирование устройств, зданий и сооружений невозможно без создания моделей, в первую очередь математических, для исследования характеристик и оптимизации объектов. В ряде случаев приходится использовать механику для медико-биологической модели для объяснения движений и протекающих процессов живых существ.

С быстрым развитием ЭВМ и прикладных программ решаются сложные математические модели элементов технических устройств и их взаимодействие между собой. Опыт применения знаний механики, создания модели, использования прикладных программ и обсуждение полученных результатов на конференции, когда студенты знакомятся с широким спектром методов решения проблем, позволяют расширить кругозор и получить новые знания при формировании современного специалиста. В будущем создать прорывные решения и новые технологии при проектировании и исследовании сложных объектов. Передовые технические устройства появляются в результате синтеза идей, возникающих в современной механике различных областях научной деятельности человека.

Молодежная научно-практическая конференция «Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы» проведена в целях расширения сферы учебно-исследовательской, научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов высшего образования, а также, аспирантов и молодых ученых.

Секции конференции:

- Процессы разрушения и прогнозирования механического поведения материалов;
- Актуальные проблемы прочности и диагностика технического состояния конструкций;
- Компьютерный инжиниринг в цифровом проектировании и производстве;
- Современное состояние и перспективы промышленной безопасности производственных объектов;
- Роль механики в решении проблем современного общества.

*Конференция проведена в рамках выполнения проекта по реализации мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ в образовательных организациях высшего образования.*



## Вступительное слово председателя Оргкомитета конференции

Уважаемые авторы и читатели! Опубликованы материалы Молодежной научно-практической конференции «Современная механика в цифровую эпоху: проблемы и перспективы».

Публикации сборника материалов предшествовала масштабная подготовительная работа Организационного комитета, завершившаяся успешным проведением этого молодежного научного форума. Конференция проведена в рамках проекта по реализации мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ в образовательных организациях высшего образования, участником которого стал наш университет. Молодые ученые и их руководители обсуждали не только влияние цифровизации на развитие современной механики, но и в целом специфику новых технологий, перспективные направления теоретических и прикладных исследований в свете модернизации современного инженерного образования и науки. Начинающие исследователи критически оценили собственные достижения, и получили рекомендации по корректировке исследований с учетом современных тенденций развития механики. Все это нашло отражение в публикациях.

Авторские коллективы большинства работ представляют собой симбиоз молодых начинающих исследователей – обучающихся по программам бакалавриата, магистрантов, аспирантов и их руководителей – преподавателей ОГУ и практических работников ведущих промышленных предприятий региона. Курс на расширение сотрудничества с промышленными предприятиями региона взят университетом для решения ключевых задач – обеспечения экономики региона квалифицированными кадрами и создания на базе ОГУ передовой инженерной школы. Судя по опубликованным материалам, предложенные участниками конференции решения сложных технических задач не только стимулировали взаимный интерес работодателей и обучающихся к сотрудничеству, но и придали новый импульс развития инженерной мысли на основе современных достижений в области информационных технологий.

Выражаю искреннюю благодарность всем причастным к организации и проведению конференции и изданию сборника материалов.

Желаю всем авторам и читателям творческих успехов и новых достижений в развитии механики и инженерного образования!

*Председатель Оргкомитета, проректор по научной работе  
Оренбургского государственного университета,  
доктор физико-математических наук, профессор  
Сергей Николаевич Летута*

# **Секция**

## **«Процессы разрушения и прогнозирования механического поведения материалов»**

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ НЕКОТОРЫХ СТАЛЕЙ В РАСТВОРАХ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

Абдульманова Рушана Ринатовна

Тюсенков Антон Сергеевич, доцент, кандидат технических наук  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

## INVESTIGATION OF CORROSION RESISTANCE OF SOME STEELS IN SODIUM HYDROXIDE SOLUTIONS OF VARIOUS CONCENTRATIONS

Abdulmanova Rushana Rinatovna

Tyusenkov Anton Sergeevich, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

Ufa State Petroleum Technological University

*Аннотация. В настоящее время в мире эксплуатируется большое количество металлических конструкций, которые подвергаются коррозионным процессам, что приводит к простоям производства из-за замены вышедшего из строя оборудования, потерям сырья и продукции и большим затратам на их возмещение. Целью работы является определение коррозионной стойкости сталей и сплавов в среде гидроксида натрия. В качестве объекта исследования были выбраны стали 12X18H10T; 06XH28MDT и сплав Никель 201.*

*Ключевые слова: коррозия, гидроксид натрия, гравиметрический анализ, скорость коррозии.*

*Abstract. Currently, a large number of metal structures are operated in the world, which are subjected to corrosion processes, which leads to production downtime due to the replacement of equipment that has failed, to losses of raw materials and products and to high costs for their compensation. The purpose of my work is to determine the corrosion resistance of steels and alloys in the medium of sodium hydroxide. Samples from steel 12X18N10T; 06KH28MDT and alloy Nickel 201.*

*Keywords: corrosion, sodium hydroxide, gravimetric analysis, corrosion rate.*

Гидроксид натрия или каустическая сода – щелочь, белое твёрдое вещество. Его водные растворы довольно агрессивны. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в растворах едкого натра зависит от его концентрации и температуры, а также от содержания примесей.

При растягивающих напряжениях в условиях повышенных температур в концентрированных растворах щелочей отмечается коррозионное растрескивание вследствие щелочной, или каустической, хрупкости стали.

Оно имеет ряд особенностей: трещины сильно разветвлены, ответвления от них имеют межкристаллитный характер; в зоне образования трещин отсутствует деформация металла (хрупкое разрушение); механические свойства разрушенного металла почти не меняются. На щелочное растрескивание существенное влияние оказывают такие факторы, как химический состав, структура и прочностные характеристики стали, величина напряжений в металле, концентрация щелочи и температура.

Среди материалов были выделены следующие стали и сплавы:

а) Никель 201 - обладает высокой коррозионной стойкостью при повышенных температурах. Этот сплав стоит использовать при температурах выше 316 °С, чтобы исключить возможность выделения графита на границах зерен и, как следствие, потерю пластичности.

б) Сталь 06ХН28МДТ - жаростойкая сталь имеет супер-аустенитную структуру и имеет высокую коррозионную стойкость.

в) Сталь 12Х18Н10Т относится к сложнолегированным сплавам. Также эту сталь называют стабилизированной хромоникелевой за счет наличия в составе сплава хрома и никеля. Главные достоинства стали 12Х18Н10Т – высокая прочность, твердость, ударная вязкость и пластичность.

Скорость коррозии определяли с помощью гравиметрического анализа, который основывается на измерении потери массы образцов в растворе гидроксида натрия. Подготовленные образцы помещали в растворы гидроксида натрия различной концентрации. Продолжительность испытаний составила 1 месяц. Анализ показал, что сплав никель 201 в гидроксиде натрия 60 % и 70 % концентрации корродирует со средней скоростью 0,004 мм/год, а стали 06ХН28МДТ и 12Х18Н10Т при той же концентрации – 0,0005...0,0007 мм/год. В 40 % растворе NaOH коррозия протекает значительно медленнее: для никеля 201 - 0,0002 мм/год; стали 06ХН28МДТ - 0,0005 мм/год; стали 12Х18Н10Т - 0,0001мм/год. Из-за «мыльного» состава гидроксида натрия на поверхностях металлов образуется пленка, данный процесс проявляется в 80 % растворе NaOH у Никеля 201. При этом скорость коррозии снижается.

Результаты испытаний представлены на рисунке 1.

Таким образом, установлено, что стали 06ХН28МДТ и 12Х18Н10Т проявили высокую коррозионную стойкость в среде гидроксида натрия различной концентрации. Оба материала по шкале оценки коррозионной стойкости металлов относятся к «совершенно стойким». Необходимо отметить, что коррозионная стойкость сплава Никель 201 также оказалась на весьма высоком уровне, однако, учитывая низкую твердость сплава, можно предположить, что его износостойкость будет существенно ниже, чем у сталей 06ХН28МДТ и 12Х18Н10Т.

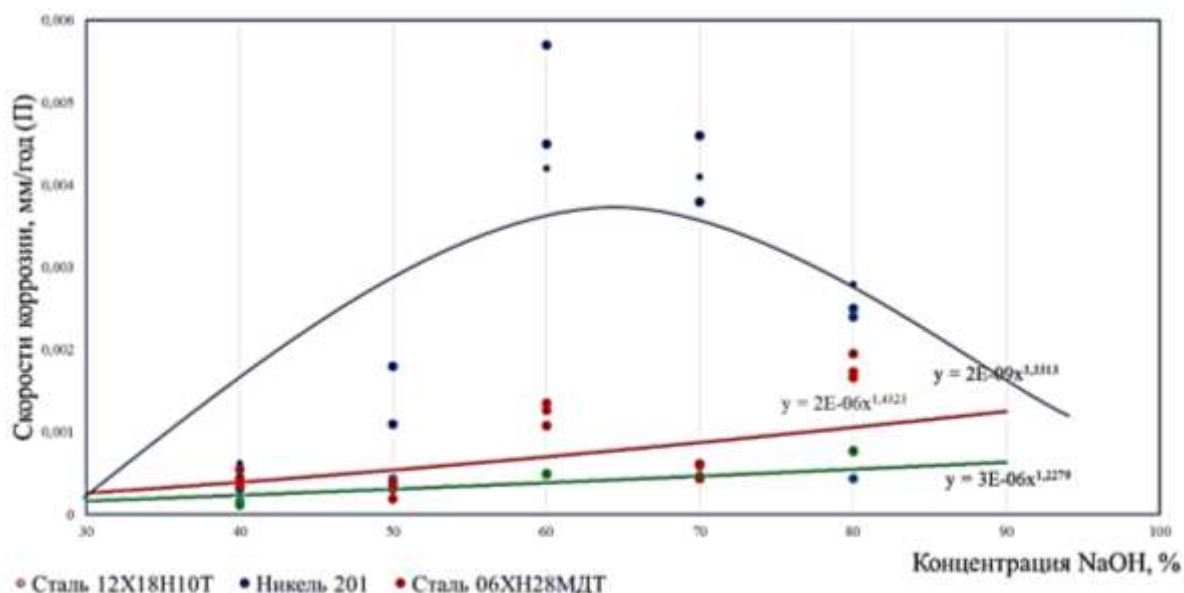


Рисунок 1 – Совмещенный график показателей «П мм/год - % NaOH»

#### Список использованной литературы

1. Шварц Г.Л., Кристаль М.М. Коррозия химической аппаратуры. – 1958.
2. Чиркова А.Г., Махутов Н.А., Рубцов А.В., Наумкин Е.А., Иванова А.Н., Кузеев И.Р., Акомолафе Б.А. Разрушающее испытание труб змеевиков реакционных печей // В сборнике: Остаточный ресурс нефтегазового оборудования. Сборник научно-технических трудов. Уфа, 2007. С. 38-46.
3. Чиркова А.Г., Наумкин Е.А., Рубцов А.В., Гайдукевич У.П. Предельное состояние трубы змеевика реакционной печи // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2007. № 5. С. 100-105.
4. Kulakov P.A., Rubtsov A.V., Afanasenko V.G., Zubkova O.E., Sharipova R.R., Gudnikova A.A. Influence of technical condition parameters on the residual resource of capacitive equipment // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering - APITECH-2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. 2019. С. 55052.
5. Рубцов А.В., Чиркова А.Г. Анализ механических свойств сварных соединений с различным уровнем накопления повреждений // В книге: 54-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 2003. С. 243.
6. Kulakov P.A., Rubtsov A.V., Afanasenko V.G. Evaluation of the safe operation time of centrifugal pumps on the selection of determining parameters of the technical condition affecting the residual resource // В сборнике: 2019

International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, fareastcon 2019. 2019. С. 8933869.

7. O.R. Latypov, D.E. Bugai, E.V. Boev Method of Controlling Electrochemical Parameters of Oil Industry Processing Liquids // Chemical and Petroleum Engineering. – 2015. - Vol. 51, Issue 3. – P. 283-285.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ОДНОРОДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ**

**Завьялов Владимир Александрович**

Научный руководитель: Крылова Светлана Евгеньевна, д.т.н., доцент,  
профессор кафедры МТМ АКИ ОГУ  
ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет"

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURAL UNIFORMITY OF WELDED JOINTS MADE OF CORROSION-RESISTANT STEELS**

**Zavyalov Vladimir Aleksandrovich**

Supervisor: Krylova Svetlana Evgenievna, Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor, Professor of the Department of MTM AKI OSU  
FSBEI HE "Orenburg State University"

*Аннотация. Приведены сравнительные исследования различных методов получения неразъемных соединений из коррозионностойкой стали марки 12X18N10T, с использованием стандартных технологий и применением лазерного воздействия в зону сварки. Методами прямого металлографического анализа, определены особенности строения сварного шва, значения микротвердости и наличие внутренних дефектов. Показано, что сварные соединения, в зависимости от способа сварки, обладают различным диапазоном микротвердости, что необходимо учитывать при выборе метода получения сварных деталей.*

*Ключевые слова: Лазерная сварка; ручная аргонодуговая сварка; микроструктура; неразъемное соединение.*

*Annotation. Comparative studies of various methods of obtaining permanent joints from corrosion-resistant steel grade 12X18N10T, using standard technologies and the use of laser exposure to the welding zone are presented. Using direct metallographic examination, the features of the structure of the weld, the values of microhardness and the presence of internal defects were determined. The dependence of the geometric parameters of the resulting welded joints on the type of impact and temperature investments in the welding zone is investigated. It is shown that the welded joints, depending on the welding method, have a different*

*range of microhardness, which must be taken into account when choosing the method of obtaining welded parts.*

*Keywords: Laser welding; manual argon arc welding; microstructure; one-piece joint.*

На сегодняшний день существует необходимость изготовления рабочих колес центробежного насоса компрессорного оборудования нефтегазодобывающей отрасли (рисунок 1), в условиях отечественных ремонтных предприятий, в целях импортозамещения.

На данный момент изготовление подобных колес осуществляется либо посредством литья, либо приваркой лопаток к основным дискам ручной аргонодуговой сваркой (РАД). Первый способ ресурсозатратный, так как требует привлечения литейного производства, что в условиях изготовления мелкой партии изделия неосуществимо. Второй, в меру человеческого фактора влечет за собой ряд возможных дефектов (несплавления, непровары, нарушение формы шва, подрезы и т.д.). Сложившаяся ситуация послужила вектором, для разработки технологии получения неразъемных соединений с применением лазерного воздействия и роботизацией данного процесса.

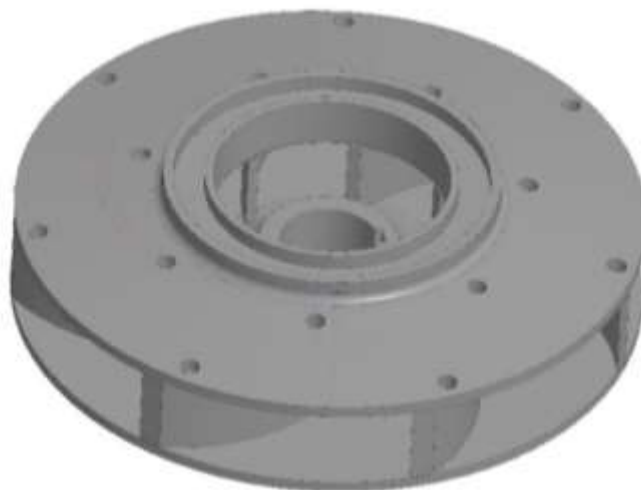


Рисунок 1 – Модель рабочее колесо центробежного насоса

Колесо центробежного насоса работает в агрессивных средах, таких как масло, сероводород и вода, поэтому данные детали изготавливают из коррозионностойкой легированной стали 12Х18Н10Т, химический состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав материала 12Х18Н10Т по ГОСТ 5632-72

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0,12	0,8	2	9-11	0,02	0,035	17-19	0,3	остальное

Изготавливаемая деталь работает на больших оборотах, порядка 1500 – 3000 об/мин., что вызывает необходимость выполнения сварных соединений

без каких-либо дефектов, как физически видимых (свищи, трещины, не провары и т.д.), так и внутренних (поры, пережоги, внутренние напряжения).

Для проведения исследования использовали сварные образцы для РАД сварки, согласно типу соединения С17 по ГОСТ 14771-76. Для лазерной сварки (ЛС) кромки подобных образцов были отфрезерованы под углом 90°. Были назначены режимы сварки, представленные в таблице 2 и 3.

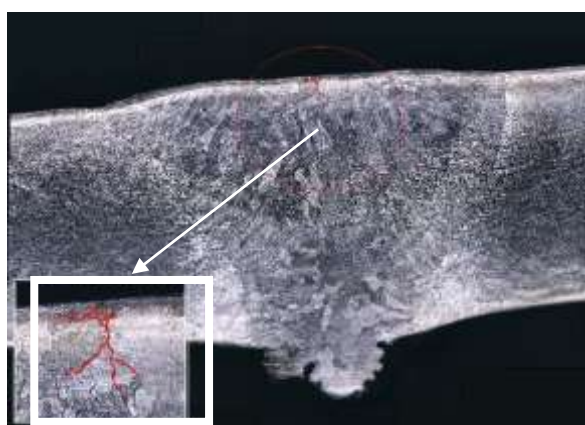
Таблица 2 – Параметры процесса РАД сварки

Номер валика (шва)	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки	Род и полярность тока	Сила тока, А	Напряжение, В	Расход защитного газа, л/мин
1 (корневой)	3,0	1,2	Постоянный ток прямой полярности	80-90	13,2-14,0	6-10
2 (облицовочный)	3,0	1,2		100-115	14,0-15,2	6-10

Таблица 3 – Параметры процесса ЛС

Мощность излучения, кВт	Скорость перемещения, м/мин	Скорость вращения заготовки, об/мин	Скорость подачи проволоки, м/мин	Подача защитного газа, л/мин
1,2	3,5	5	1,5	5

Для объективной оценки полученных сварных образцов были проведены металлографические исследования подготовленных макрошлифов поперечного сечения сварного соединения. Исследования выполняли при помощи прямого металлографического микроскопа Olympus – 1000, результаты представлены на рисунке 2.



а -РАД



б - ЛС

Рисунок 2 – Микроструктура полученных образцов (x40)

Металлографические исследования показали наличие на образце, выполненном РАД сваркой трещины в зоне плавления (рисунок 2, а) и



отсутствие каких-либо дефектов в образце, выполненном с применением роботизированной лазерной сварки (рисунок 2, б).

Микроструктура сварных образцов полученных РАД сваркой состоит из неоднородно распределенных грубых ветвей дендритов, что соответствует зонам с повышенной скоростью отверждения и соответственно негативно сказывается на механические показатели сварного соединения. На образцах, выполненных лазерной сваркой, структура представляет собой мелкие, равноосные кристаллы, ориентированные от границы с основным металлом к центру. Особенностью, заслуживающей внимания, является высокая упорядоченность микроструктуры вокруг оси лазерного пучка. Такая микроструктура возникает благодаря затвердеванию металла шва при высокой скорости охлаждения, по сравнению со скоростью, характерной для РАД сварки.

Для подробного изучения внутренних деформаций и напряжений были проведены измерения микротвердости полученных образцов на микротвердомере HVS-1000. Схема распределения контрольных точек и результаты замеров представлены на рисунках 3 и 4. Так как принцип выполнения неразъемного соединения и геометрия сварочного шва различна, выполнить замеры, равноудаленные на обоих образцах, не представилось возможным.

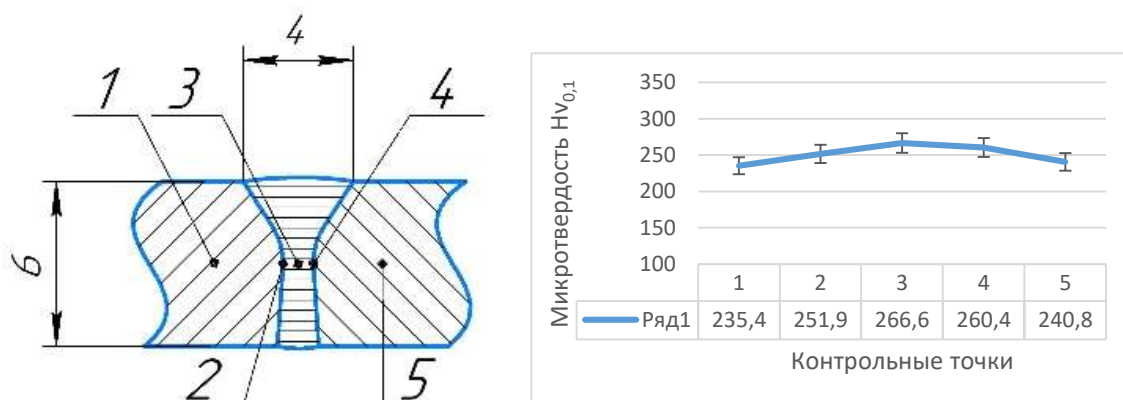


Рисунок 3 – Распределение микротвердости на образце, выполненного ЛС

Распределение микротвердости по сечению сварных соединений выявило ее увеличение в зоне плавления относительно показателей твердости основного металла, причем значение микротвердости в зоне шва оказалось симметричным по отношению к оси шва и отражало расположение зон кристаллизации и их протяженность. Максимальное значение микротвердости у всех исследованных образцов сварных соединений, наблюдалось вблизи оси шва и составляло в среднем от 260 до 300 HV. По мере продвижения от центра шва к основному металлу твердость понижалась. При сравнении результатов микротвердость образцов, выполненных по разным технологиям, можно наблюдать различие в диапазоне распределения значений. Таким образом

разница значений при лазерной сварке составлять 12%, а при РАД сварки 44%. Данный эффект связан с неоднородностью дендритной структуры, скоростью протекания процесса и температурными вложениям в металл в зоне сварки.

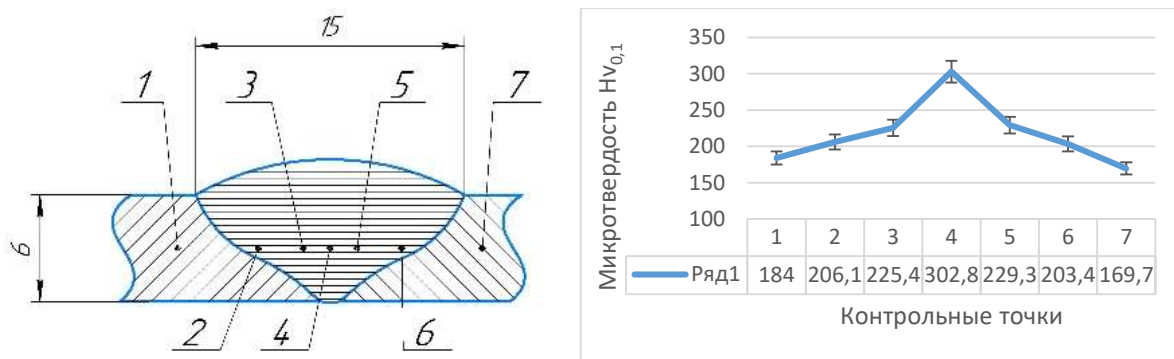


Рисунок 4 – Распределение микротвердости на образце, выполненного РАД сваркой

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что при использовании лазерного луча тепловложения гораздо меньше и различия по твердости имеют меньший диапазон, в сравнении с образцом полученным РАД сваркой. Анализируя все полученные результаты и поставленные задачи перед конкретной деталью, считается рациональным замена способа изготовления рабочего колеса с ручной аргодуговой сварки на роботизированную лазерную сварку. Проведенные эксперименты определяют почву для проведения дальнейших испытаний напряженного состояния, отработки и адаптации процессов в промышленных условиях.

#### Список использованной литературы

1. Katayama S. (2005) Formation mechanisms and preventive procedures of laser welding defects, 2004 LWP Symposium on High Quality and New Trend of Laser Welding, Laser Materials Processing (LMP) Research Committee of Japan Welding Engineering Society (WES), January, 8-1—8-15 (in Japanese)
2. Katayama S. and Matsunawa A. (1998) Laser weldability of aluminum alloys, Proc. 4rd Laser Materials Processing Conference, Japan | Laser Processing Society (J LPS), 43, 33—52 (in Japanese)
3. Suzuki H. (1971) Recent Welding Engineering, Tokyo: Corona Publishing, 142, 206 (in Japanese).
4. Грезев А.Н. Разработка физико-технологических основ лазерной сварки конструкционных сталей мощными CO<sub>2</sub>-лазерами // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук // Шатура-2006
5. Терри Вандер Верт. Перспективы лазерной сварки в Российской промышленности - обеспечение наиболее эффективного производственного

процесса // Комплект: ИТО. Инструмент, Технология, Оборудование. 2013. – С. 50-53.

6. Krylova S.E., Zavialov V.A., Oplesnin S.P. Influence of gas-powder laser cladding's technological parameters on structural characteristics of corrosion-resistant steels' restored surface layer / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. –С. 042058.

**ВЛИЯНИЕ ПРОТЯЖЕННОСТИ ЗОНЫ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО  
ВЛИЯНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРИ  
РАСТЯЖЕНИИ РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

**Кузьмина Елена Александровна<sup>1,2</sup>, Сёмка Ярослав Сергеевич<sup>2</sup>**

Научный руководитель: Приймак Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией металловедения и термической обработки АО «Завод бурового оборудования»

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет

<sup>2</sup>АО «Завод бурового оборудования», г. Оренбург

**INFLUENCE OF THE THERMOMECHANICALLY AFFECTED ZONE  
LENGTH ON THE DEFORMATION BEHAVIOR UNDER TENSION OF  
DISSIMILAR WELDED JOINTS FROM MEDIUM CARBON ALLOYED  
STEELS**

**Kuzmina Elena Alexandrovna<sup>1,2</sup>, Syomka Yaroslav Sergeevich<sup>2</sup>**

Scientific adviser: Priymak Elena Yuryevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Metal Science and Heat Treatment of Drilling Equipment Plant JSC

<sup>1</sup>Orenburg State University

<sup>2</sup>JSC Drilling Equipment Plant, Orenburg

*Аннотация. В работе приведены результаты оценки влияния протяженности зоны термомеханического влияния (ЗТМВ), образованной в результате процесса ротационной сварки трением (РСТ) на механические свойства и деформационное поведение при растяжении разнородных сварных соединений среднеуглеродистых сталей 30ХГСА и 40ХМФА. Оценка деформационного поведения производилась на основании карт распределения деформаций, полученных методом корреляции цифровых изображений с использованием оптической системы Strain Master. Показаны особенности развития деформации и разрушения исследуемых образцов сварных соединений.*

*Ключевые слова: ротационная сварка трением (РСТ), сварное соединение, зона термомеханического влияния (ЗТМВ), карты деформации*

*Abstract. The paper presents the results of assessing the effect of the thermomechanically affected zone (TMAZ) length formed as a result of the rotary friction welding (RFW) process on the mechanical properties and tensile deformation behavior of dissimilar welded joints of medium-carbon steels 30KhGSA and 40KhMFA. Deformation behavior was assessed on the basis of deformation distribution maps obtained by digital image correlation using the Strain Master optical system. The features of the development of deformation and destruction of the studied specimens of welded joints are shown.*

*Key words: rotary friction welding (RFW), welded joint, thermomechanical affected zone (TMAZ), deformation maps*

В результате воздействия высоких температур и деформаций в процессе ротационной сварки трением (РСТ) в сварном соединении образуется зона термомеханического влияния (ЗТМВ), которая имеет различную протяженность в зависимости от параметров сварки [1, 2]. Ранними исследованиями установлено, что одним из параметров, оказывающим влияние на протяженность ЗТМВ является сила при разогреве (трения) [3]. Представляло интерес оценка протяженности ЗТМВ на механическое поведение при растяжении сварных соединений среднеуглеродистых легированных сталей, предназначенных для производства геологоразведочных бурильных труб.

Исследованию подлежали сварные соединения в сочетании сталей 30ХГСА и 40ХМФА, полученные при сварке трубных заготовок диаметром 89 мм и толщиной стенки 4 мм. Трубные заготовки предварительно были подвергнуты закалке и высокому отпуску, полученные механические свойства составили: 30ХГСА -  $\sigma_{02}=765$  МПа,  $\sigma_B=888$  МПа,  $\delta=13\%$ ; 40ХМФА -  $\sigma_{02}=1112$  МПа,  $\sigma_B=888$  МПа,  $\delta=13\%$ .

Сварка трением экспериментальных образцов осуществлялась на сварочном оборудовании Thompson-60, которое оснащено программным комплексом, позволяющим задавать и контролировать параметры сварки. При сварке варьировалась сила при разогреве, которая составила 40 кН, 80 кН и 120 кН при неизменных остальных параметрах сварки (сила проковки 160 МПа, частота вращения при разогреве 800 об/мин, осадка при нагреве 8 мм).

Металлографические исследования продольных микрошлифов сварных соединений позволили установить протяженность образованной ЗТМВ, которая составила 7,85 мм, 6,90 мм и 5,25 мм соответственно при увеличении силы при разогреве. Распределение микротвердости в исследуемых образцах сварных соединений представлено на рисунке 1.

Из полученных результатов видно, что увеличение силы при разогреве вызывает повышение микротвердости приконтактных участков вследствие интенсификации мартенситного превращения деформированного аустенита привариваемых сталей. При удалении от зоны соединения двух материалов

значения микротвердости снижаются, приближаясь к уровню значений основного металла. В образце, полученном при минимальной силе при разогреве, имеет место формирование разупрочненной прослойки со стороны стали 30ХГСА, протяженностью около 1 мм.

Механические свойства сварных соединений определяли при испытаниях на одноосное растяжение при комнатной температуре на испытательной установке INSTRON 8801 в соответствии с ГОСТ 6996-66 на образцах, длиной рабочей части 50 мм, шириной 15 мм и толщиной 4 мм. В таблице 1 приведены значения полученных механических свойств.

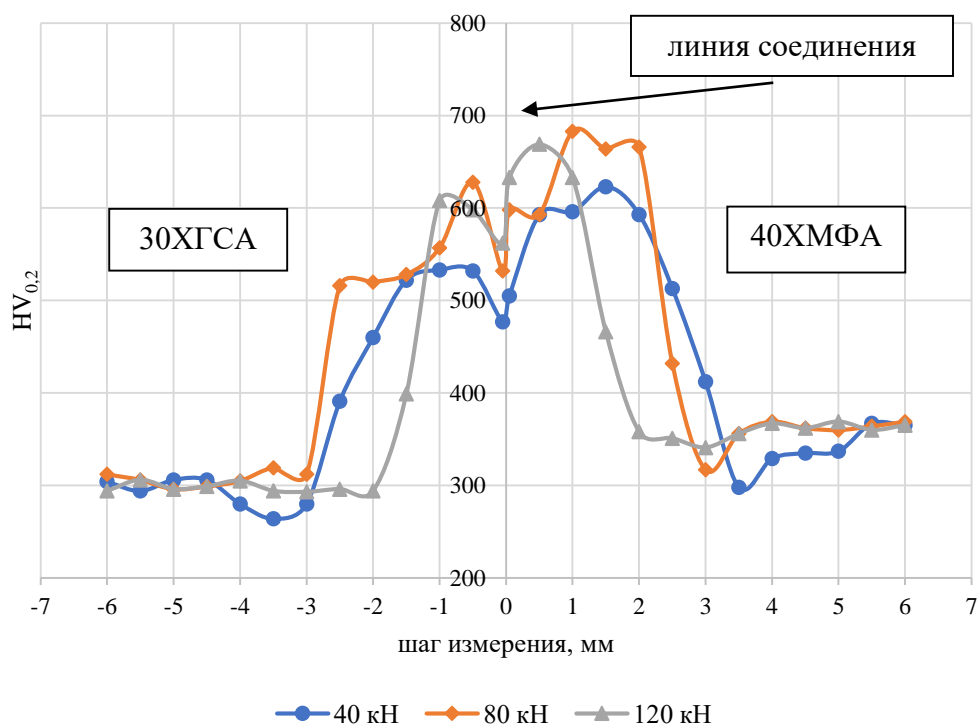


Рисунок 1 – Изменение микротвердости по протяженности ЗТМВ в сварных соединениях сталей 30ХГСА и 40ХМФА, выполненных РСТ при различном усилии при разогреве

Таблица 1 – Механические свойства сварных соединений сталей 30ХГСА и 40ХМФА, выполненных РСТ

№ образца	Протяженность ЗТМВ, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	Место разрушения
1	7,85		849	8	ЗТМВ стали 30ХГСА
					ОМ* стали 30ХГСА
3	5,25		894	10,5	ОМ стали 30ХГСА

\*ОМ – основной металл

Полученные результаты показали, что для двух сварных соединений с меньшей протяженностью ЗТМВ, разрушение инициировалось в месте

основного металла стали 30ХГСА, и полученные при этом значения прочностных свойств не уступают данной стали в исходном состоянии.

На рисунке 2 приведены полученные с помощью метода КЦИ изображения распределения продольной ( $\varepsilon_{yy}$ ) компоненты тензора деформации в сварных соединениях в процессе испытаний на растяжение (in-situ).

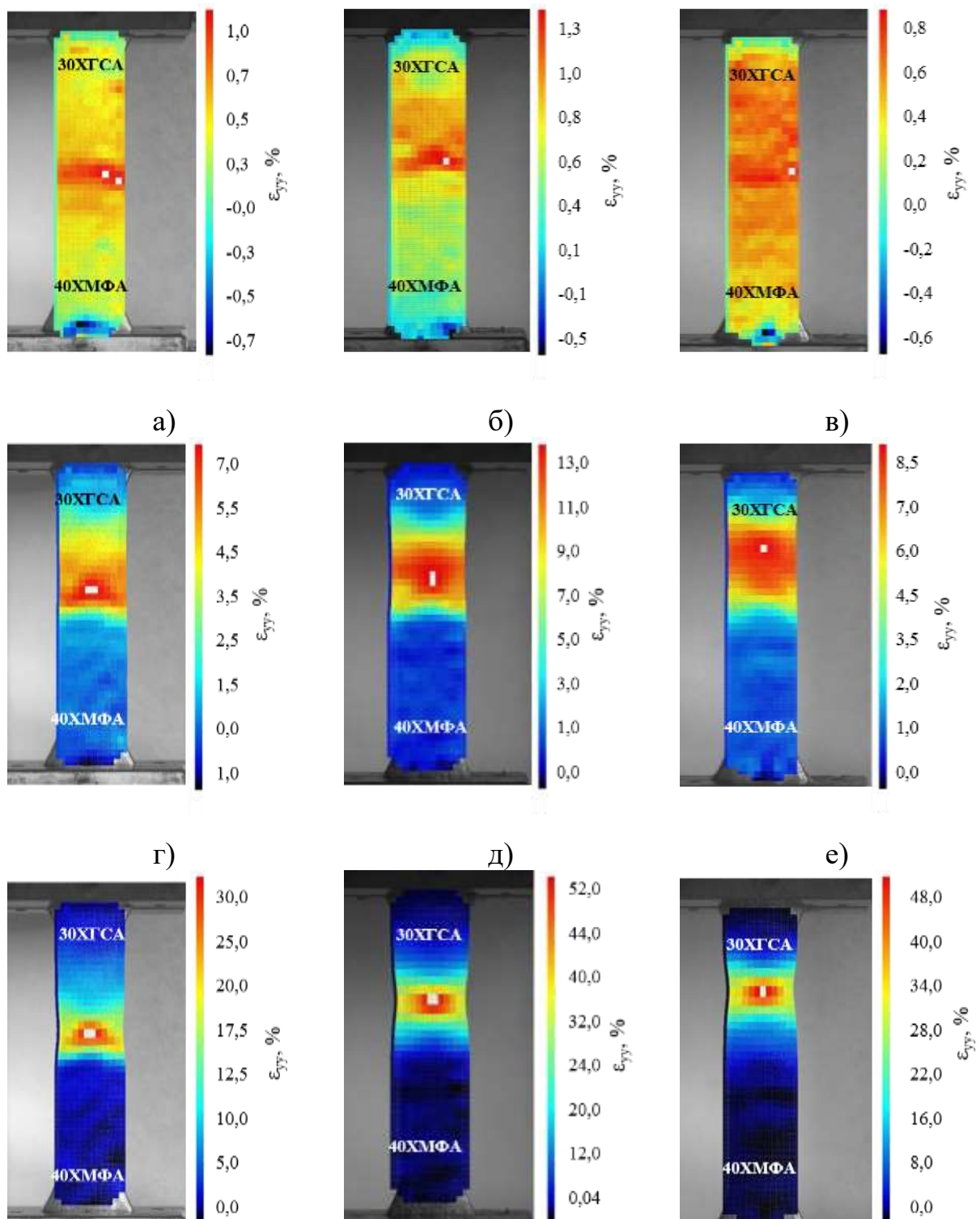
Полученные результаты показывают, что у образца №1, имеющего наибольшую протяженность ЗТМВ 7,85 мм, в начале пластического течения наблюдается выраженная неоднородность деформационного поля и деформация сосредотачивается в районе сварного шва (рис. 2, а), в то время как у образца №2 с протяженностью ЗТМВ 6,90 мм, в деформацию вовлекается основной металл стали 30ХГСА (рис. 2, б). Наиболее однородное распределение деформации по всей длине рабочей части на начальной стадии течения наблюдается у образца №3, с наименьшей протяженностью ЗТМВ (5,25 мм), в котором в деформацию вовлекается и сталь 40ХМФА.

Рисунки 2, ж, з, и наглядно иллюстрируют место последующего разрушения образцов. У образца №1 разрушение произошло в ЗТМВ, в то время как у образцов №2 и №3 – в зоне основного металла, вдали от зоны шва и ЗТМВ сварного соединения. Таким образом, образец с наибольшей протяженностью ЗТМВ показал более низкую деформационную способность по сравнению с другими образцами за счет преимущественно локального деформирования в ЗТМВ со стороны стали 30ХГСА.

Таким образом, сокращение протяженности ЗТМВ, вызванное увеличением силы при разогреве в процессе РСТ, а также интенсификация фазовых превращений в приконтактных областях способствуют формированию более равнопрочной конструкции сварного соединения в целом, в которой наличие ЗТМВ не оказывает влияния на свойства растяжения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90032.*

*При проведении механических испытаний на растяжение и изучении распределения полей деформации использовалось оборудование, входящее в состав ЦКП «Пластометрия» ИМАШ им. Э.С. Горкунова УрО РАН.*



ж)

з)

и)

Рисунок 2 – Распределение продольной компоненты тензора деформации  $\epsilon_{yy}$  в процессе испытаний образцов сварных соединений сталей 30XГСА-40XMFА:

а, г, ж) образец №1 – протяженность ЗТМВ 7,85 мм; б, д, з) образец №2 – протяженность ЗТМВ 6,90 мм; в, е, и) образец №3 – протяженность ЗТМВ 5,25 мм; а, б, в) начальный момент растяжения; г, д, е) момент локализации деформации; ж, з, и) стадия, предшествующая разрушению

## Список использованной литературы

1. Виль В.И. Сварка металлов трением / В.И. Виль. // М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.
2. Лебедев, В.К. Сварка трением: Справочник / В.К. Лебедев, И.А. Черненко, В. И. Вилль и др. // Л.: Машиностроение, 1987. 236 с.
3. Priymak E. Influence of Friction Pressure at a Given Burn-off Length on the Mechanical and Microstructural Properties of Welded Joints from Medium-Carbon Alloyed Steels in Rotaty Friction Welding / E. Priymak, N. Firsova, E. Bashirova, S. Sergienko, E. Kuzmina, A. Atamashkin // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. Vol. 11. 01 (2019) p. 431-437.

### **РАЗРАБОТКА СОСТАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ**

**Бондарь Михаил Алексеевич, Латыпов Олег Ренатович, Фомичева Екатерина Николаевна, Вторенко Екатерина Андреевна**  
*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»*

### **DEVELOPMENT OF SMART COATING COMPOSITION FOR CORROSION PROTECTION OF REFINERY EQUIPMENT**

**Bondar Mikhail Alekseyevich, Latypov Oleg Renatovich, Fomicheva Ekaterina Nikolayevna, Vtorenko Ekaterina Andreyevna**  
*«Ufa state petroleum technological university»*

*Аннотация. В настоящее время вопрос защиты от коррозии нефтеперерабатывающего оборудования является одной из основных проблем, способных вызвать аварии техногенного характера, а также – нанести серьезные экономические потери для нефтеперерабатывающих заводов. Существующие методы защиты от коррозии способны обеспечить должный уровень защиты оборудования наряду с основными технологическими свойствами. Предлагаемый вариант защитного покрытия способен решить основные технологические проблемы с большей экономией при разработке и использовании оборудования.*

*Ключевые слова: Защитные покрытия, нефтеперерабатывающий завод, оборудование нефтепереработки, состав защитного покрытия*



*Abstract. The issue of corrosion protection of oil refining equipment is one of the main problems that can cause manufactured accidents, as well as cause serious economic losses for oil refineries. Existing methods of protection against corrosion are not able to provide an adequate level of equipment protection against corrosion along with the basic technological properties. The proposed version of the protective coating is able to solve the main technological problems along with greater savings in the development and use of equipment.*

*Keywords: Protective coatings, oil refinery, refinery equipment, coating composition.*

В настоящее время вопрос защиты от коррозии нефтеперерабатывающего оборудования является одной из основных проблем, которые способны предотвратить аварии техногенного характера, а также существенно снизить экономические потери на нефтеперерабатывающих заводах (далее – НПЗ).

Существующие методы защиты от коррозии, такие как химико-технологическая защита (в частности, ингибиторы коррозии) и рациональное конструирование, не способны в полной мере обеспечить должный уровень защиты оборудования от коррозии наряду с сохранением основных технологических свойств продуктов переработки. Например, при использовании ингибиторов коррозии наблюдается их отрицательное влияние на конечные продукты переработки, а в случае применения ингибиторов, которые не оказывают влияния на технологические свойства продуктов переработки нефти – высокая стоимость реагентов. Коррозионные процессы на установках НПЗ будут рассмотрены на примере трех процессов: установках первичной переработки нефти (АТ и АВТ), установках термического и каталитического крекинга.

Практика применения установок АТ и АВТ показывает, что наиболее интенсивная коррозия наблюдается в низкотемпературных областях колонн (зона подачи острого орошения) и на линии головного погона атмосферных колонн (конденсаторы-холодильники, трубопроводы и арматура). В верхней части колонны вследствие возможного появления водяного конденсата нередко наблюдается разрушение деталей тарелок, изготовленных из углеродистых сталей.

Перспективным методом защиты от коррозии является применение защитных покрытий на предприятиях нефтепереработки. Применение защитных покрытий на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии являются одним из основных способов защиты оборудования, работающего в условиях агрессивных сред и высокого давления. Непременным условием формирования покрытия является смачивание поверхности подложки жидким лакокрасочным материалом.

В настоящее время для предприятий нефтепереработки и нефтехимии представляется огромное количество защитных покрытий с учетом всех особенностей технологических процессов, указанных ранее. Так,

перспективным направлением является применение металлизированных покрытий, например, цинконаполненных грунтовок и эмалей или композиций, содержащих алюминиевую пудру, а также использование материалов, содержащих специальные добавки, которые придают покрытиям специальные свойства, такие как ингибирующие (в данном случае, в покрытие вводится пигмент фосфат цинка, являющийся ингибитором коррозии) и барьерные. Также стоит отметить тот факт, что большое количество композиций лакокрасочных материалов позволяют производить технологические работы при отрицательных температурах, что позволяет увеличить зону эксплуатации данного вида коррозионной защиты, в том числе – и в северных условиях.

Стоит отметить способ нанесения лакокрасочного материала для оборудования нефтепереработки и нефтехимии, который позволит учитывать все конструктивные и эксплуатационные особенности, например, зоны, в которых образуется конденсат, зоны температурного перепада и скрытые полости оборудования.

Применение защитных покрытий является оптимальным методом защиты нефтеперерабатывающего оборудования, который обеспечивает длительный срок эксплуатации, учитывает все особенности технологических процессов, при относительно невысокой стоимости.

Предлагаемый вариант защитного покрытия должен работать в широком диапазоне температур, учитывая особенности процессов, протекающих в технологических установках; обеспечивать длительный срок эксплуатации (от 10 до 30 лет при соблюдении особенностей нанесения покрытия); не оказывать влияние на конечные продукты; обеспечивать высокую экономическую эффективность [2,3].



Рисунок 1 – Подготовленная выборка образцов

Выборка образцов лакокрасочных материалов следующая: эпоксидные композиции, кремнийорганические композиции, силиконоакриловое покрытие и композиция на основе полеуретанового лака.

В рамках изучения поставленной задачи были поставлены следующие исследования адгезии лакокрасочных материалов в следующих условиях:

- 1) в атмосферных условиях (при отрицательных температурах с целью определения хрупкости применяемых составов);
- 2) в агрессивной среде (3% раствор NaCl);

3) в агрессивной среде (3% раствор NaCl) и многократным перемешиванием;

4) в имитации условий образования конденсата.

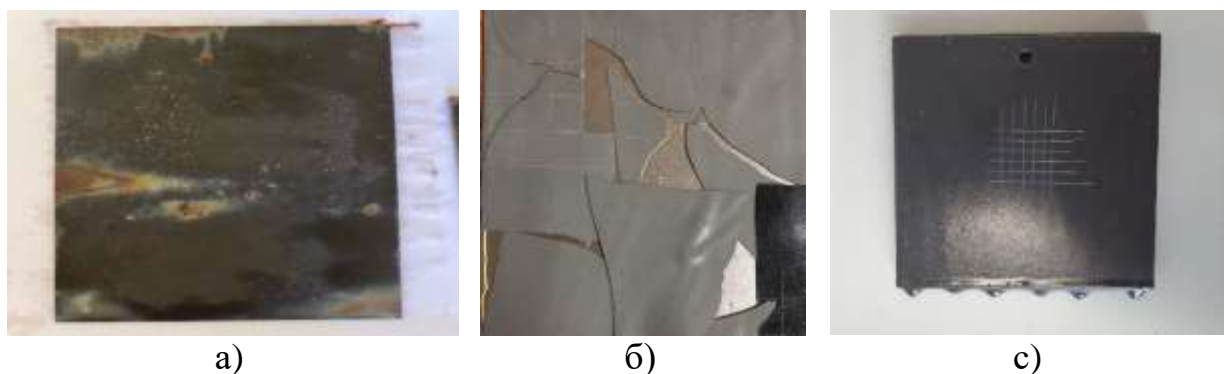


Рисунок 2 – а) испытания в агрессивной среде покрытия на кремнийорганической основе; б) результат испытаний эпоксидного покрытия при отрицательной температуре, в) результат испытания состава на основе полиуретанового лака после условий создания конденсата

По результатам исследований на первой стадии эксперимента установлено, что в агрессивных средах целесообразно применение эпоксидных покрытий, так как их способность к истиранию – наименьшая, а при низких температурах адгезионные свойства покрытий на кремнийорганической основе намного выше, чем у эпоксидного покрытия.

Второй частью эксперимента является более широкая выборка покрытий: несколько составов на эпоксидной основе, составы на кремнийорганической основе, силикоакриловой и полиуретановой основах. Особенностью второй части эксперимента является то, что внедрен третий вид испытаний – с образованием конденсата. Результаты второй части эксперимента показали, что из более широкой выборки лучше всего себя показал состав на основе полиуретанового лака.

Дальнейшими задачами поставлены: выбор основы состава материала покрытия собственного производства, определение специальных пигментных добавок и проведения аналогичного комплекса испытаний для собственного состава.

#### Список используемой литературы:

1. Кравцов В.В., Латыпов О.Р., Макаренко О.А., Ибрагимов И.Г. Коррозия и защита нефтезаводского и нефтехимического оборудования: Учебное пособие. – М.: Химия, 2010. – 344с.

2. Кравцов В.В., Кузеев М.И., Шингаркина О.В. Ремонт и изготовление защитных покрытий технологического оборудования и трубопроводов. - Уфа: Изд-во Уфим. гос. нефтяного техн. ун-та, 2001. - 76 с.

3. Кравцов В.В. Защита от коррозии внутренней поверхности стальных вертикальных резервуаров: Учебное пособие – Уфа: Изд-во УГНТУ, 1997. – 91 с.
4. Кравцов В.В. Коррозия и защита конструкционных материалов. Принципы защиты от коррозии. Учебное пособие. — Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. - 157 с.
5. Латыпов О.Р. Эксплуатация нефтегазового оборудования в агрессивных средах: Учебное пособие. – Уфа: Издательство УГНТУ. – 2018. – 153 с.
6. Zeno W. Wicks, Jr., Frank N. Jones, S. Peter Pappas; consultant, Douglas A. Wicks. Organic coatings: science and technology - 2007 by John Wiley & Sons, Inc. Published by JohnWiley&Sons, Inc., Hoboken, NewJersey.
7. Кушнарченко, В.М. Дефекты и повреждения деталей и конструкций / В.М. Кушнарченко, В.С. Репях, Е.Ю. Чирков, Е.В. Кушнарченко. – Оренбург: ООО «Руссервис», 2012. – 531с.
8. Пояркова, Е.В. Диагностика повреждений металлических материалов и конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.В. Пояркова, С.Н. Горелов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург : ОГУ. – 2014. – 202 с.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ  
ПАМЯТИ ФОРМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**Пояркова Елизавета Никитична, Поярков Никита Владимирович**

Научный руководитель: Чирков Юрий Александрович, доктор  
технических наук, доцент, профессор кафедры механики материалов,  
конструкций и машин

*Оренбургский государственный университет*

**PROSPECTS FOR THE USE OF A MATERIAL WITH A SHAPE  
MEMORY EFFECT TO ENSURE THE SAFE OPERATION OF FIELD  
PIPELINES**

**Poyarkova Elizaveta Nikitichna, Poyarkov Nikita Vladimirovich**

Scientific adviser: Chirkov Yury Alexandrovich, Doctor of Technical  
Sciences, Professor of the Department of MCM

*Orenburg State University*

*Аннотация. Описаны проблемы обеспечения безопасной эксплуатации и повышения долговечности промышленных трубопроводов. Предложен прототип объекта из материала с эффектом памяти формы, применимого*

*для эксплуатации промысловых трубопроводов путем моделирования его физико-механических свойств. Выполнен сравнительный анализ деформаций и напряжений конструкции на примере альтернативных материалов (сталь 08X18H10T и армированная резина).*

*Ключевые слова: промысловый трубопровод, безопасность эксплуатации, материал с эффектом памяти формы, надежность конструкции.*

*Abstract. The problems of ensuring safe operation and increasing the durability of field pipelines are described. A prototype of an object made of a material with a shape memory effect, applicable for the operation of field pipelines by modeling its physical and mechanical properties, is proposed. A comparative analysis of deformations and stresses of the structure was carried out on the example of alternative materials (steel 08Kh18N10T and reinforced rubber).*

*Keywords: field pipeline, operational safety, shape memory material, design reliability.*

На сегодняшний день в нефтяной и газовой промышленности Российской Федерации остается открытым вопрос использования устаревших технологий как на промыслах, так и на дальнейших этапах цепочки поставки углеводородов.

Обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводов во многом является проблемой повышения их надежности и долговечности и представляется сложной комплексной задачей, которая включает в себя решение технических, технологических, экономических и организационных аспектов. Несмотря на то, что этой проблеме посвящены многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов, в настоящее время она еще полностью не решена и многие вопросы остаются открытыми [1].

Одной из особенностей развития трубопроводного транспорта на современном этапе является уменьшение объемов строительства трубопроводов при одновременном росте объемов и сокращении сроков работ по ремонту и реконструкции трубопроводных сетей, связанных с коррозионным износом и старением трубопроводов.

Изучение условий эксплуатации промысловых трубопроводов и анализ существующих способов повышения их долговечности в условиях преобладающего воздействия внутренней коррозии показывает, что, несмотря на применение различных мероприятий, количество отказов промысловых трубопроводов из-за внутренней коррозии составляет по отрасли порядка 90 % от их общего количества.

Поэтому проблема обеспечения безопасной эксплуатации и повышения долговечности промысловых трубопроводов, несомненно, остается актуальной и своевременной.

Обеспечение безопасной эксплуатации и повышение долговечности промысловых трубопроводов может быть достигнуто за счет улучшения качества проектирования и строительства трубопроводов, применения новых,

более совершенных конструктивных и технологических решений, совершенствования технологий и приемов технического обслуживания и эксплуатации.

Применение новых материалов с уникальными свойствами позволит решить ряд проблем, связанных с повышением надежности, усовершенствованием рабочих характеристик разрабатываемого оборудования.

В нефтегазовой промышленности материалы с памятью формы уже нашли различные сферы применения. Они подходят для использования в широком диапазоне инженерных приложений, таких как глубоководные приводы, подводные устройства, самозатягивающиеся крепежи и соединительные элементы трубопроводов. Деформационные свойства материалов с памятью формы можно использовать для создания альтернативных устройств по заканчиванию скважин и превенторному оборудованию. Сверхэластичность позволяет преодолеть различные ограничения, присутствующие в запорных и регулирующих устройствах, эластичных муфтах и сверхгибких валах.

Материалы с эффектом памяти формы обладают уникальными физико-механическими свойствами. Особенность этих материалов заключается в способности к самопроизвольному изменению формы в результате существенных деформационных нагрузок. Формирование эффекта памяти формы происходит за счет мартенситных превращений, как особого вида деформации [3, 4, 6].

Свехупругость и эффект памяти формы хорошо проявляются при правильно подобранном комплексе физических, механических и химических свойств.

Было проведено моделирование в среде программных продуктов, предназначенных для построения моделей с учетом эксплуатационных и конструктивных особенностей.

В данной работе был смоделирован проект компенсатора, изготовленного из материала с эффектом памяти формы. Компенсаторы позволяют компенсировать напряжения, деформации, вибрации и смещения, возникающие на промысловых трубопроводах при изменении режимов работы и состояния окружающей среды.

Моделирование было проведено в программе SolidWorks. В качестве материала элемента модели был использован сплав – никелид титана, обладающий эффектом памяти формы. Для точности исполнения конструкции была смоделирована схема сборки компенсатора с элементом из материала с памятью формы на трубопроводе с номинальным диаметром 100 мм, применяемом на промыслах. Для соединения трубопроводов и арматуры в конкретном случае необходимы резиновые прокладки, шпильки, шайбы и гайки.

Для сравнительного анализа в качестве альтернативных материалов были выбраны сталь 08X18H10T, соответствующая материалу фланцев и армированная резина, используемая в виброкомпенсаторах.

Уровень напряжений, возникающий по телу муфты из 08X18H10T и резины значительно уступает характеристикам муфты компенсатора из никелида титана. В силу особенностей характеристик, резина не подходит для применения для агрессивных сред в отличие от никелида титана.

Деформации, возникающие по телу муфты компенсатора из никелида титана являются незначительными для данной конструкции, в то время как у 08X18H10T и резины деформации значительно выше и могут в последствии повлечь за собой разрушение конструкции, особенно при переменных условиях работы.

Сравнивая графические зависимости напряжений от внутреннего давления системы при нагружении растягивающими и сжимающими усилиями (рисунок 1) установлено, что лучшими показателями касательно возникающих в конструкции напряжений обладает никелид титана. Напряжения, возникающие в образце, изготовленном из резины сходны с муфтой из 08X18H10T. Следует отметить, что предел прочности стали 08X18H10T составляет 275 МПа, в то время как предел прочности никелида титана с заданными физико-механическими свойствами составляет 600 МПа, то есть превышает предел прочности стали более чем в 2 раза. Нагружение в 25 МПа в качестве предельного для данного типа конструкций промышленного трубопровода также не оказывает значительного влияния на характеристики муфты компенсатора из никелида титана.

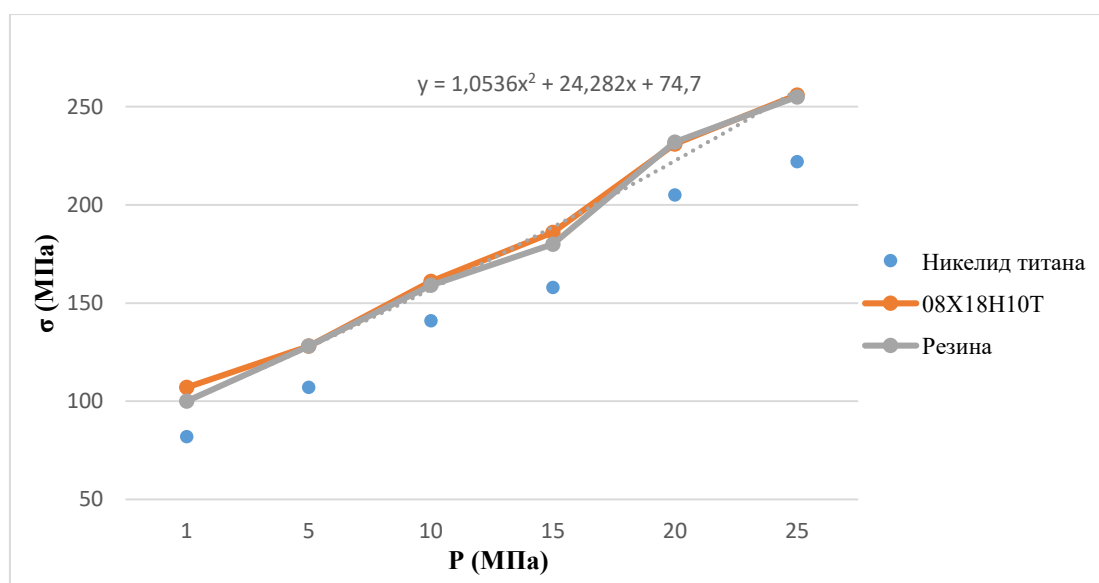


Рисунок 1 – График зависимости эквивалентных напряжений от внутреннего давления системы при нагружении растягивающими и сжимающими усилиями (сравнение характеристик никелида титана, 08X18H10T, резины)

Контрольный графический материал (рисунок 2), показывающий зависимость деформаций при аналогичных условиях, позволил сделать вывод

о том, что деформации, возникающие в муфте компенсатора из никелида титана в 1,5 раза меньше деформаций, возникающих в стальной вставке из 08X18H10T. Кроме того, что муфта компенсатора из материала с памятью формы не требует сложной внутренней конструкции в отличие от вставок компенсаторов, изготовленных из стали. Это упрощает разработку моделей на этапе подготовки и значительно снижает траты на операционные расходы при изготовлении такого типа оборудования.

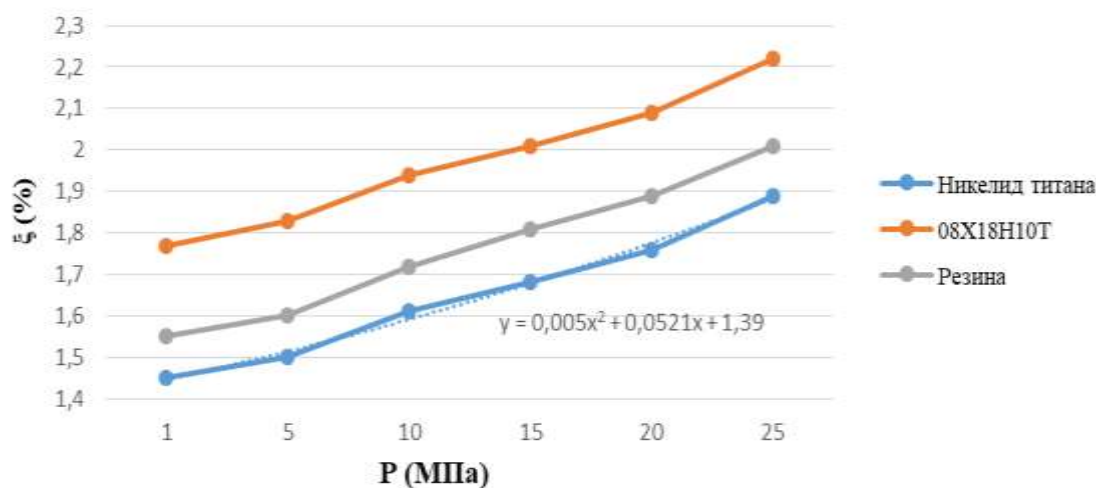


Рисунок 2 – График зависимости деформаций от внутреннего давления системы при нагружении растягивающими и сжимающими усилиями (сравнение характеристик никелида титана, 08X18H10T, резины)

Таким образом, моделирование физико-механических свойств материалов с эффектом памяти формы и дальнейшее применение объектов и конструкций, изготовленных из подобного типа материалов, является перспективным направлением в современной нефтегазовой промышленности. Такой подход позволяет значительно улучшить показатели работоспособности конструкций, повысить их надежность, что позволяет обеспечить безопасность эксплуатации промышленных трубопроводов, а также снизить операционные риски и существенно уменьшить финансовые расходы предприятий.

#### Список использованной литературы

1. Султанмагомедов С.М. Обеспечение безопасной эксплуатации и долговечности промышленных трубопроводов, подверженных канавочному износу : дис. – Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2003.



2. Агинея Р.В. и др. Возможности применения инновационных материалов с памятью формы в нефтяной промышленности // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – №. 1. – С. 39-47.
3. Бледнова Ж.М., Степаненко М.А. Роль сплавов с эффектом памяти формы в современном машиностроении // Ж.М. Бледнова, М.А. Степаненко. – Краснодар: Кубанский гос. Технологический ун-т. – 2012.
4. Ноздрин М.А., Зарубин З.В. Исследование напряженно-деформированного состояния в материалах с памятью формы // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2006. – №. 3.
5. Хасьянова Д.У. Условия обеспечения эксплуатационной надежности и герметичности термомеханических соединений трубопроводов муфтами // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2020. – №. 2. – С. 31-37.
6. Хусаинов М.А., Бондарев А.Б., Петров Н.В., Андреев В.А., Летенков О.В. Методика исследования физико-механических свойств сплавов Ti-Ni с эффектом памяти формы // Вестник НовГУ. 2010. №60. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-issledovaniya-fiziko-mehanicheskikh-svoystv-splavov-ti-ni-s-effektom-pamyati-formy> (дата обращения: 14.06.2022).

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО УРОВНЯ НАКОПЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СТАЛИ 09Г2С ПО ХАРАКТЕРУ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

**Валиев Айбулат Салаватович**

Научный руководитель: Кузеев Искандер Рустемович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

## **DETERMINATION OF THE CRITICAL LEVEL OF FATIGUE DAMAGE ACCUMULATION IN STEEL 09G2S BY THE NATURE OF ACOUSTIC EMISSION PARAMETERS CHANGES**

**Aybulat S. Valiev**

Scientific Adviser: Iskander R. Kuzeev, Doctor of Engineering Sciences, Professor  
Head of Process Machinery and Equipment Department of Ufa State Petroleum  
Technological University

*Аннотация. В работе изучена закономерность изменения свойств конструкционной стали 09Г2С в области малоциклового нагружения с помощью исследования параметров акустической эмиссии (суммарный счет,*

энергия импульса) и микроструктурного анализа (размеры зерен феррита и перлита).

В результате выполненных исследований установлено, что акустическая эмиссия (АЭ) чувствительна к накоплению усталостных повреждений при малоциклового усталости (МЦУ). По изменению параметров АЭ выявлены 2 критических уровня накопленных повреждений:  $Ni/Np=0,2-0,3$  и  $Ni/Np=0,7-0,8$ , что свидетельствует о возможности использования данного метода контроля как способа мониторинга ресурса оборудования, подверженного знакопеременному нагружению для выявления критического состояния материала оборудования.

Установлено, что с увеличением циклов нагружения происходит увеличение процентного содержания перлитной фазы, что свидетельствует о возможной диффузии углерода и о структурных изменениях в перлите. Средний размер зерна феррита в продольном и поперечном направлениях уменьшается до уровня накопленных повреждений  $Ni/Np=0,7$ , при этом коэффициент овалности зерна меняется нелинейно, с экстремумами при  $Ni/Np=0,3$ ,  $Ni/Np=0,5$ ,  $Ni/Np=0,6$ .

Ключевые слова: малоцикловая усталость, акустическая эмиссия, дислокационное скольжение, двойникование, опасный период эксплуатации оборудования, амплитуда импульса, энергия импульса.

*Abstract. This article studies the pattern of changes in structural steel 09G2S properties as a result of low-cycle loading by investigating acoustic emission (Total Count, and Signal Energy) and microstructural analysis parameters (average ferrite and pearlite grain size).*

*As a result of the performed studies, it was found that Acoustic Emission (AE) is sensitive to the fatigue damage accumulation during low-cycle fatigue (LCF). By changing AE parameters, 2 critical levels of accumulated damage were identified:  $Ni/Np = 0.2-0.3$  and  $Ni / Np = 0.7-0.8$ . This indicates the possibility of using this control method as a method of monitoring the equipment subject resource to alternating loading for to identify the equipment material critical state.*

*It was established, that with the increase in loading cycles, the percentage of the pearlite phase also increases, which indicates possible diffusion of carbon and structural changes in pearlite. The average grain size of ferrite in the longitudinal and transverse directions decreases until the accumulated damage level  $Ni/Np=0.7$ , while the grain ovality coefficient changes non-linearly, with extrema at  $Ni/Np=0.3$ ,  $Ni/Np=0.5$ ,  $Ni /Np=0.6$ .*

*Keywords: Low-cycle fatigue, acoustic emission, dislocation sliding, twinning, dangerous periods of equipment operation, pulse duration, pulse energy.*

Изучению процесса накопления усталостных повреждений посвящены исследования отечественных и зарубежных ученых [1-10]. Так, Н.А. Махутовым и М.М. Гадениным [8] выявлено, что кинетика разрушения при малоцикловом нагружении является нелинейной со сложной природой.

В работах Е.А. Наумкина и М.И. Кузеева [2,1] был обнаружен экстремальный период равный 30-40 % от общего ресурса образцов, в котором наблюдается резкое снижение механических и физических свойств конструкционных сталей. В частности, в трудах М.И. Кузеева зафиксированы нелинейные изменения параметров трещиностойкости  $K_{IC}$  от количества циклов нагружения при чистом изгибе образцов с явными экстремумами в области 500 и 2000-2500 циклов, что может привести к преждевременному выходу из строя оборудования, работающего в условиях знакопеременного нагружения. Поэтому определение природы данных экстремальных промежутков является актуальной задачей.

В качестве инструмента для исследования закономерностей изменения свойств конструкционной стали 09Г2С в области малоциклового нагружения был выбран акустико-эмиссионный метод.

В результате проведенных испытаний и обработки данных параметров АЭ были выявлены 4 стадии накопления повреждений при МЦУ, которые имеют близкую корреляцию с трудами В.С. Ивановой, В.Ф. Терентьевым:

- $Ni/Np=0...0,2$  – зона в которой происходит резкий спад значений;
- $Ni/Np=0,2...0,5$  – зона в которой происходит увеличение количества сигналов;
- $Ni/Np=0,5...0,7$  – зона плавного спада параметров АЭ;
- $Ni/Np=0,7...0,9$  – зона плавного увеличения параметров АЭ.

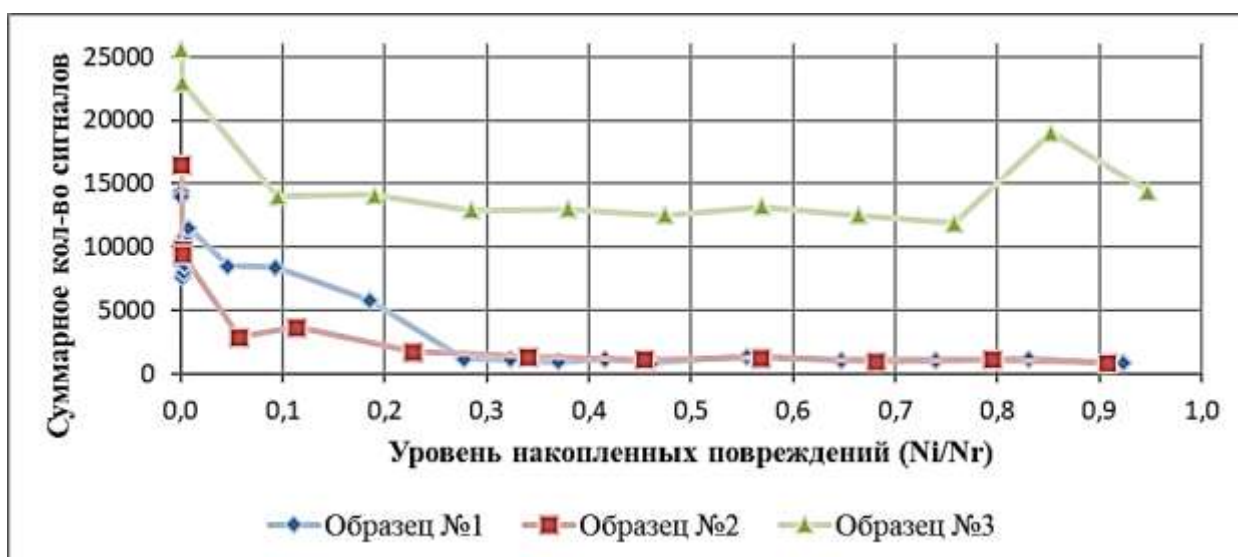


Рисунок 1 – Зависимость суммарного количества сигналов АЭ от уровня накопленных повреждений

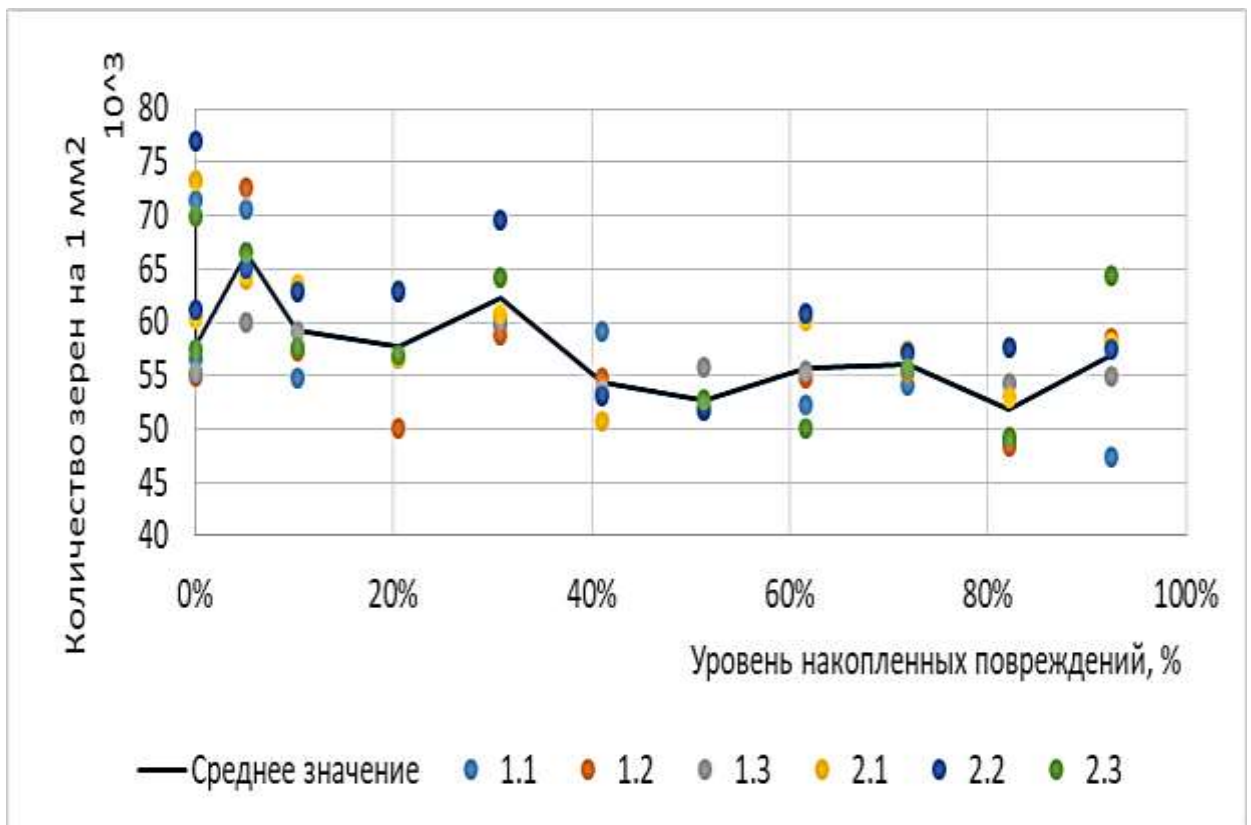


Рисунок 2 – Зависимость суммарной энергии импульсов АЭ от уровня накопленных повреждений

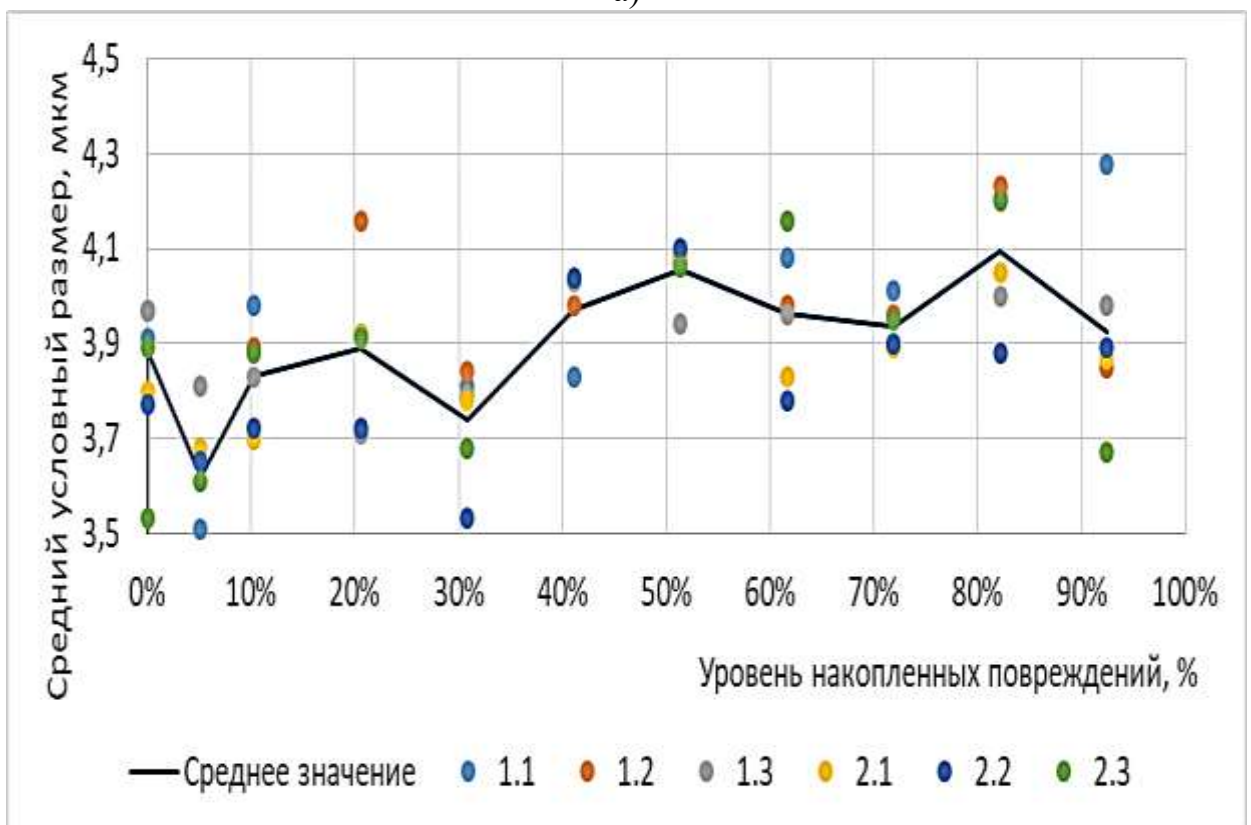
При достижении уровня накопленных повреждений  $Ni/Np=0,2-0,4$  и  $Ni/Np=0,7-0,8$  происходит снижение энергии импульсов, что свидетельствует о том, что в данных зонах материал накапливает критический уровень энергии и для последующей релаксации напряжений происходит смена механизмов адаптации материала к внешнему нагружению с последующим высвобождением накопленной энергии.

В качестве основных параметров для микроструктурного анализа стали 09Г2С в области МЦУ были выбраны следующие параметры: удельная плотность зерен перлита и средний размер зерен перлита и феррита. Зависимости микроструктурных параметров от уровня накопленных повреждений представлены на рисунках 3-5.

Полученная тенденция роста среднего размера зерна перлита, а также скачкообразное изменение в области накопленных повреждений 30 %, свидетельствуют о внутренних структурных изменениях в перлитной фазе и являются косвенными показателями фазовых превращений в перлите. Также выявлено, что средний размер зерен феррита в продольном и поперечном направлениях уменьшается до достижения  $Ni/Np=0,7$ , при этом их соотношение (коэффициент овальности) меняется нелинейно с экстремумами при  $Ni/Np=0,3$ ,  $Ni/Np=0,5$ ,  $Ni/Np=0,6$ .

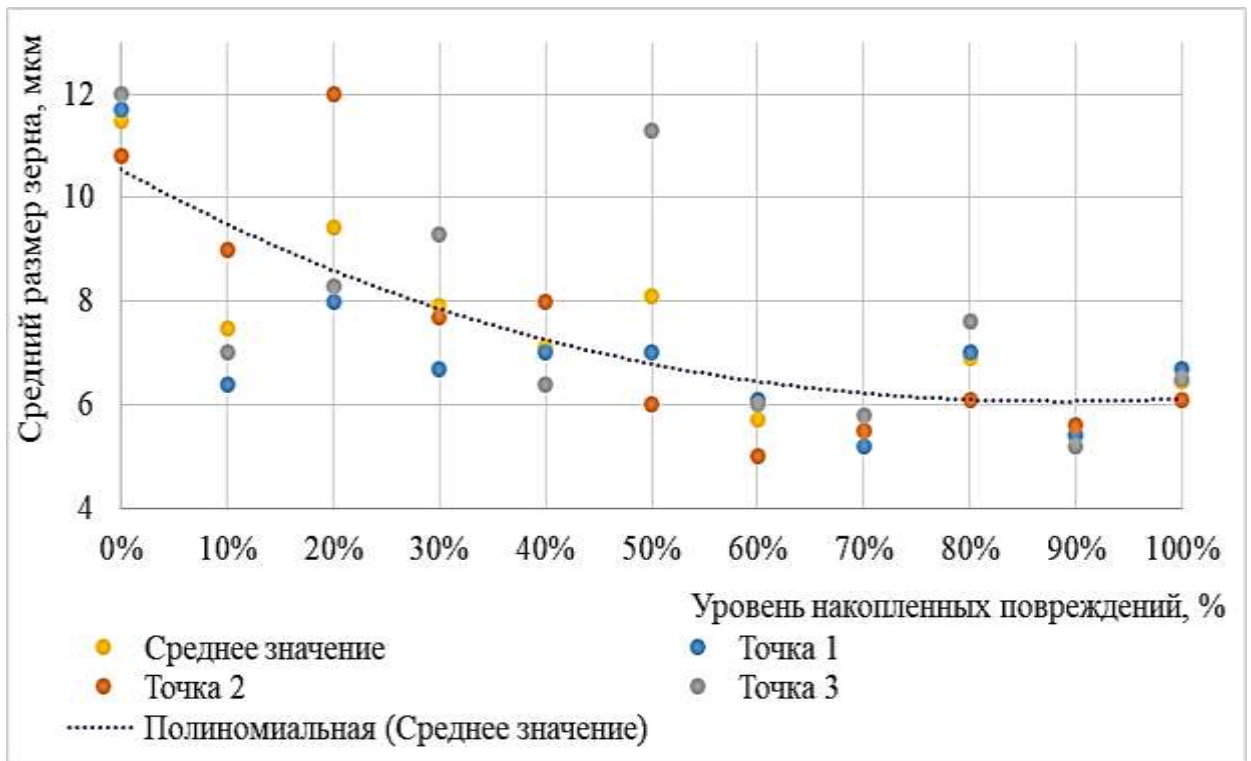


а)

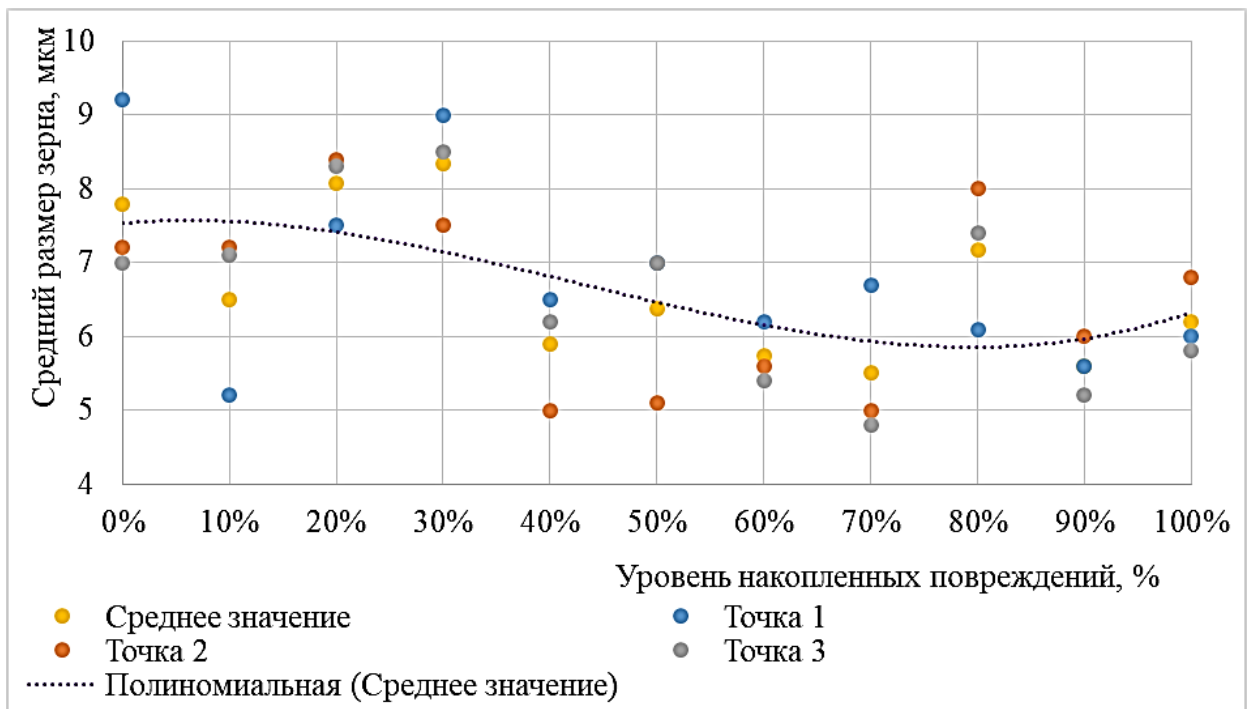


б)

Рисунок 3 – Зависимости удельной плотности перлитной фазы (а) и среднего условного размера зерна (б) от уровня накопленных повреждений



а)



б)

Рисунок 4 – Зависимости среднего размера зерна феррита в продольном (а) и поперечном (б) направлениях от уровня накопленных повреждений

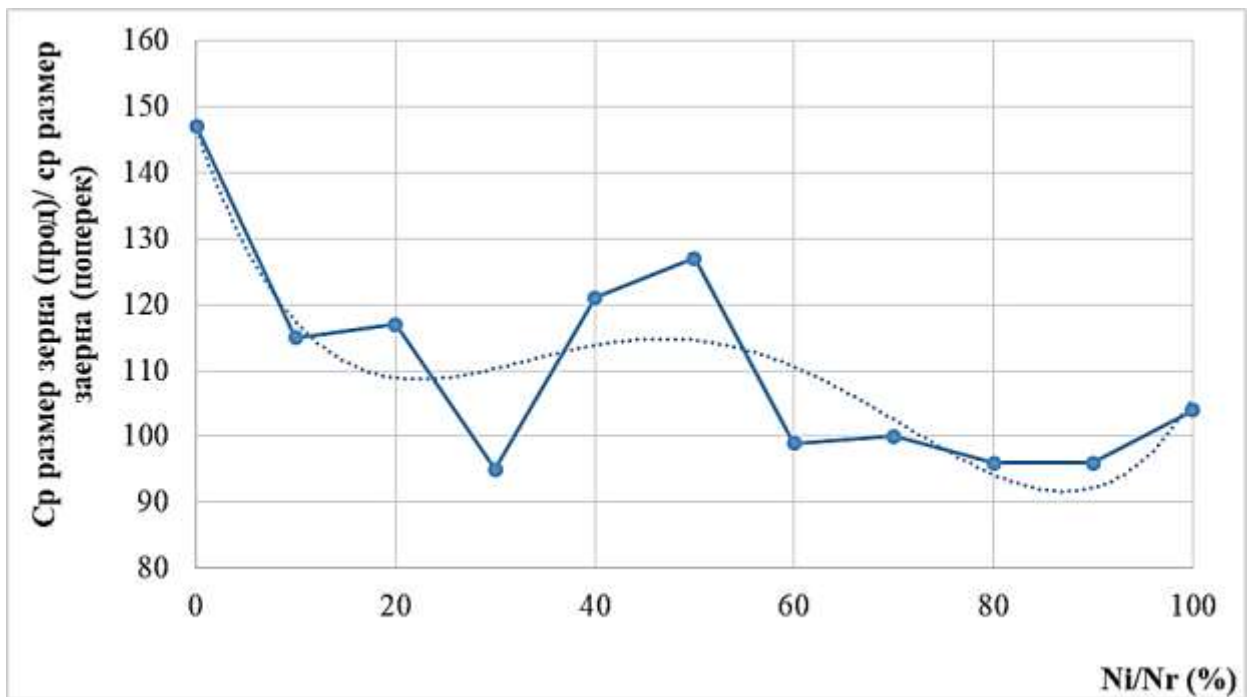


Рисунок 5 – Зависимость овальности зерна феррита от уровня накопленных повреждений

Близкая корреляция результатов АЭ и микроструктурного анализа в периодах  $Ni/Np=0,2-0,4$  и  $Ni/Np=0,7-0,8$  свидетельствует о том, что акустико-эмиссионная диагностика чувствительна к микроструктурным изменениям и может быть использована для оценки степени повреждения оборудования из стали 09Г2С, подверженного малоциклового нагружению.

#### Список использованной литературы

1. Кузеев М.И. Закономерности накопления повреждений в сварных соединениях оболочек реакторов установок замедленного коксования: дис. ...канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2000. – 100 с.
2. Наумкин Е.А., Кузеев И.Р., Прохоров А.Е. Оценка степени поврежденности стали 09Г2С в условиях малоциклового усталости с учетом параметров поверхностной энергии // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: сборник научных статей. 2005. Уфа: Изд-во УГНТУ, № 17. – С.66.
3. Мишнев Р.В. Эволюция микроструктуры жаропрочной мартенситной стали 10Х10К3В2МФБР в процессе малоциклового усталости при комнатной температуре// XVII международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлургов-молодых ученых. 2016. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, Ч. 2. – С. 101-106.
4. Терентьев, В.Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов. М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 288 с.

5. Махутов Н.А.. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Новосибирск: Наука, 2005. – 494 с.
6. Наумкин, Е.А. Методология прогнозирования ресурса нефтегазового оборудования, эксплуатируемая в условиях циклического нагружения, на стадии проектирования и эксплуатации: дис. ... д-ра техн. Наук. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. – 250 с.
7. A. Valiev, G. Khalikova and I. Kuzeev. Damage Assessment of Specimens Made of Steel 09G2S Exposed to Low-Cycle Fatigue with the Help of Acoustic Emission Monitoring Method. - Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. 2020. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.992.964.
8. Махутов Н.А., Гаденин М.М.. Закономерности накопления малоцикловых повреждений с учетом эксплуатационных параметров процесса нагружения: публикация, Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2019. № 56, Москва, 2019, DOI: 10.15593/2224-9982/2021.56.04.
9. Иванов В.С., Терентьева В.Ф. Природа усталости металлов. М.: Металлургия, 1975. – 325 с.
10. Башков О.В., Семашко Н.А.. Акустическая эмиссия при смене механизмов деформации пластичных конструкционных материалов. Физическая мезомеханика: Международный журнал, 2004.7, № 6, с. 59-62.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И УЛУЧШЕНИЕ  
ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОГО  
ЛЕГИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАСПЛАВА**

**Курноскин Иван Александрович**

Научный руководитель: Крылова Светлана Евгеньевна, д.т.н., доцент,  
профессор кафедры МТМ АКИ ОГУ  
*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург*

**COMPARATIVE ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF HIGH  
CHROMIUM CAST IRON BY COMPLEX ALLOYING AND  
MODIFICATION OF THE MELT**

**Kurnoskin Ivan Alexandrovich**

Scientific supervisor: Krylova Svetlana Evgenievna, Doctor of Technical  
Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of MTM AKI OSU  
*FSBEI HE «Orenburg State University», Orenburg*

*Аннотация. Проведен сравнительный анализ зарубежных сплавов высокохромистого чугуна и его традиционных аналогов российского производства типа ЧХ28 модифицированных редкоземельными элементами.*



*Показано что, применение модифицирования чугуна РЗМ на этапе кристаллизации вызывает измельчение структуры и повышение твердости на 5-7 ед. На основе структурных исследований сделан обоснованный вывод о положительном влиянии модифицирования на измельчение зерна металла, повышение механических свойств и служебных характеристик.*

*Ключевые слова: модифицирование; высокохромистые чугуны; редкоземельные металлы; карбиды; комплексное легирование.*

*Annotation. A comparative analysis of foreign alloys of high-chromium cast iron and its traditional analogues of Russian production of type CHX28 modified with rare earth elements is carried out. It is shown that the use of modification of cast iron REM at the crystallization stage causes the structure to be crushed and the hardness to increase by 5-7 units. Based on structural studies, a reasonable conclusion has been made about the positive effect of modification on the grinding of metal grains, increasing mechanical properties and service characteristics.*

*Keywords: modification; high chromium cast iron; rare earth metals; carbides; complex alloying.*

Известен ряд литейных сплавов, обладающих высокой износостойкостью, но наибольшее распространение получили высокохромистые белые чугуны, обладающие рекордной износостойкостью в условиях абразивного износа.

Для повышения износостойкости, жаростойкости и жаропрочности такого чугуна наиболее часто используют комплексное легирование следующими элементами: никель, алюминий, хром, ванадий, молибден, вольфрам и др. Легирование и модифицирование являются важнейшими методами управления процессами формирования структуры и свойств отливок из белого чугуна. Данные методы позволяют получать однородную микроструктуру продуктов распада переохлажденного аустенита в различных сечениях отливки, измельчать первичные структурные составляющие, а также образовывать новые фазы с высокими механическими свойствами.

Известно, что хром – базовый легирующий компонент белых износостойких чугунов. Кроме них в белых чугунах, используемых для изготовления быстроизнашивающихся деталей, во избежание графитообразования в толстостенных отливках содержание кремния не должно превышать 0,6 – 0,9 %, а суммарное содержание карбидообразующих элементов повышаться до 16 – 34 %. Комплексное легирование карбидообразующими элементами доэвтектического чугуна с содержанием 2,1 – 3,1 % углерода и 0,8 – 1,3 % кремния обеспечивает его высокую износостойкость и достаточную прочность. Молибден образует собственные карбиды типа  $Mo_2C$ , может входить в состав комплексных карбидов  $(Me, Mo)_7C_3$  и растворяется в матрице. Титан и ванадий эффективно измельчают структуру и повышают износостойкость белых чугунов. Улучшение литейных и физико-механических свойств сплавов достигается использованием модифицирования расплава редкоземельными металлами и молибдатом кальция [1].

Сравнительный химический состав и предлагаемая опытная плавка, приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что для измельчения структуры, повышения твердости и износостойкости в базовую плавку введены Nb - 0,03-0,05 % и Zr - 0,1 % масс. При кристаллизации белого чугуна значительное влияние оказывают элементы, обладающие большим, чем железо, сродством к углероду, такие как титан, цирконий, ниобий и ванадий. Только марганец и молибден повышают твердость при содержании от 1% масс. Увеличение содержания молибдена в твердом растворе резко тормозит перлитное превращение, поэтому при производстве высокохромистых чугунов важное значение отводится выбору оптимального соотношения легирующих элементов, используемых при его комплексном легировании. Ванадий повышает температуры ликвидуса и эвтектического превращения. Уменьшает растворимость углерода в  $\gamma$  - железе с повышенной устойчивостью  $\alpha$  - фазы.

Таблица 1. Химический состав № 1 на базе чугуна ЧХ28

Содержание химических элементов в %, масс.													
	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti	V	Cu	Zr
Зарубежная выплавка «1»	3,3- 3,45	0,04	0,025	0,5- 0,6	0,65- 0,7	28,0	0,27- 0,36	1,0- 1,25	0,02	0,007	0,15	0,11- 0,15	-
Зарубежная выплавка «2»	3,14- 3,17	0,025	0,017	0,5- 0,7	0,4	28,0- 30,3	0,29- 0,32	0,07	0,03	0,01	0,06	-	-
Зарубежная выплавка «3»	3,4- 3,5	0,02	0,027	0,5- 0,7	0,76- 0,95	29-30	0,3- 0,4	0,38	0,02	0,07	0,09	0,05	-
ЧХ28 выплавка предприятия (базовая)	3,09	-	-	0,55	0,7	30,0	0,24	0,28	-	0,00 9	0,07	0,03	-
ЧХ28(м) опытная плавка №1	2,5- 3,0	<0,08	<0,1	0,5- 1,5	1,0	28,0- 30,0	0,27- 0,36	0,5- 1,0	0,03- 0,05	0,15	0,3	0,11- 0,15	0,1

Методом оптической металлографии исследовали особенности структуры традиционного и опытного модифицированного чугуна, в сравнении с зарубежными сплавами. Структуры представлены на рисунке 1 и рисунке 2.

Твердость сплава «1» 57-59 HRC, структура основы мелкозернистая с отдельными крупными включениями цементита, есть полосчатые слоистые структуры, отдельные крупные зерна аустенита. Видны следы модифицирования.

Твердость сплава «2» 62-63 HRC, структура основы мелкозернистая с отдельными крупными включениями первичного цементита до 20 %, карбидная эвтектика рассредоточена, присутствуют отдельные мелкие зерна аустенита не более 10 % в объеме. Видны следы модифицирования.

Твердость сплава «3» 62-63 HRC, структура основы мелкозернистая с отдельными крупными включениями первичного цементита до 30 %, карбидная эвтектика рассредоточена, присутствуют отдельные мелкие зерна аустенита не более 10 % в объеме. Видны следы модифицирования [2].

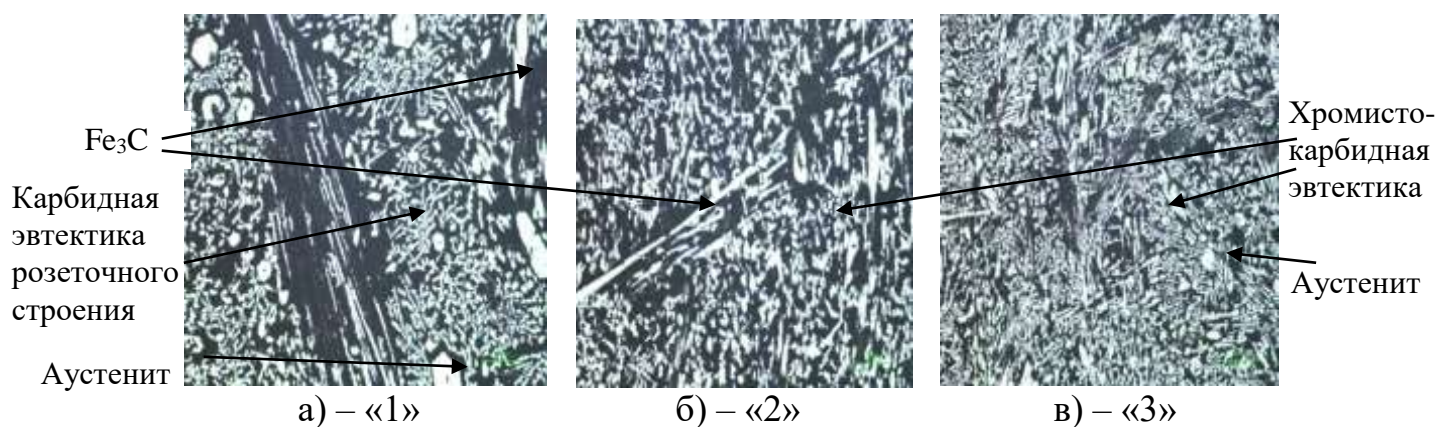
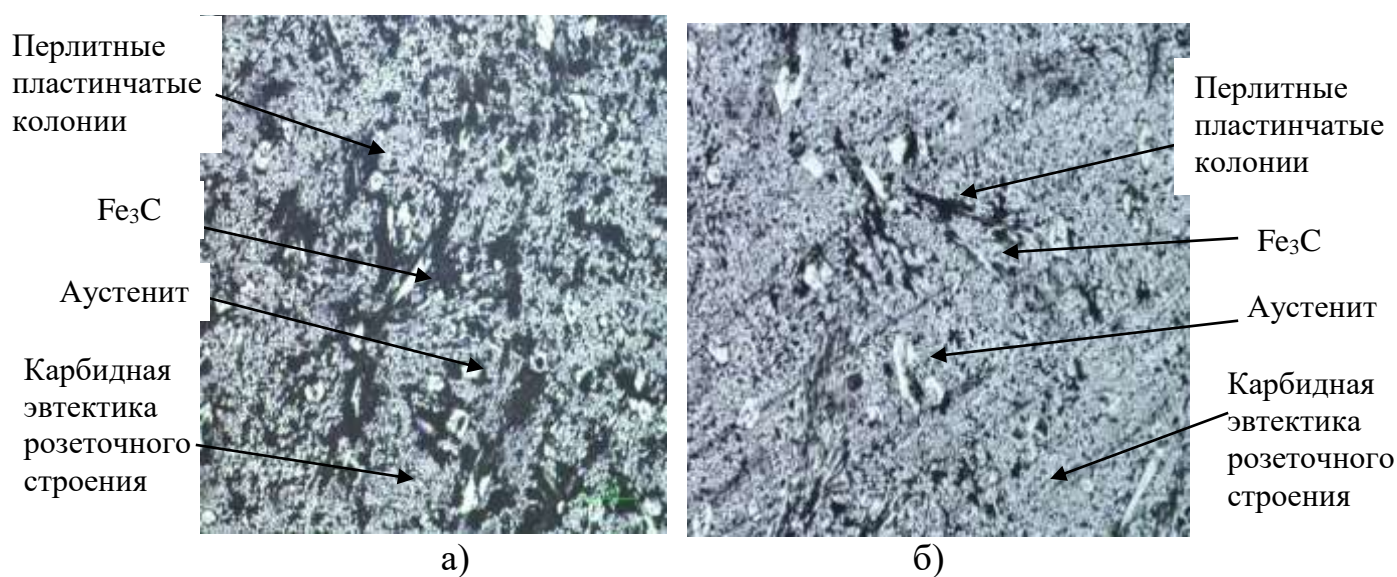


Рисунок 1 – Структура высокохромистых чугунов от зарубежных производителей, x100



а) ЧХ28 выплавка предприятия (базовая);  
 б) ЧХ28(м) опытная плавка после модифицирования №1.

Рисунок 2 – Структура ЧХ28 выплавка до модифицирования и после, x100

Твердость сплава (базовая) 55-57 HRC, структура разнотернистая, есть полосчатые слоистые области пластинчатого перлита и первичного цементита, что соответствует структуре без термической обработки, присутствуют отдельные крупные зерна аустенита, карбидная эвтектика на основе хрома.

Твердость сплава после модифицирования 58-60 HRC, структура основы мелкозернистая с отдельными крупными включениями цементита, есть участки игольчатого мартенсита, отдельные крупные зерна аустенита. Введены следующие модификаторы такие как Nb и Zr.

**Выводы:** Наибольшей эффективностью обладает комплексное легирование, которое позволяет влиять на микроструктуру металлической основы и на характер эвтектических композиций. Сочетая комплексное легирование с термической обработкой, можно получать чугуны с заданными свойствами.

#### Список используемых источников

1. Марукович, Е.И. Износостойкие сплавы / Е.И. Марукович, М.И. Карпенко. – М: Машиностроение, 2005. – С. 428.
2. Курносин, И.А. Управление структурой и свойствами отливок из хромистого чугуна путем легирования, модифицирования, термической обработки / И.А. Курносин, С.Е. Крылова – Сборник материалов X Всероссийской конференции, Оренбург, 2021. – С. 505-508.
3. A. Mahato. Surface folding in metals: a mechanism for delamination wear in sliding. / Y. Guo, N. K. Sundaram, S. Chandrasekhar.: Proceeding of The Royal Society A. - 2014. С. 1-13

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ Ст3**

**Садрисламова Регина Ильгизовна, Джумабаев Хурshedжон Камилевич,  
Латыпов Олег Ринатович**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

### **EVALUATION OF THE EFFECT OF THE ELECTRODE POTENTIAL ON THE CHANGE IN THE MICROHARDNESS OF THE METAL SURFACE St3**

**Sadrislamova Regina Ilgizovna, Dzhumabaev Hurshed Kamilovich,  
Latypov Oleg Renatovich,**

*Ufa State Petroleum Technological University*

*Аннотация. В современном мире используется большое количество металлических конструкций и материалов, которые подвергаются коррозионным процессам. Все это приводит к большим проблемам в их эксплуатации. Целью работы являлось установление зависимости между*

*микротвердостью металлической поверхности Ст3 от наведенного на нее поляризационного потенциала.*

*Ключевые слова: микротвердость, электродный потенциал, поляризационный потенциал, сталь марки Ст3, механические свойства.*

*Abstract. In the modern world, a large number of metal structures and materials that are subjected to corrosion processes are used. This leads to big problems in their operation. The purpose of my work was to establish the dependence between the microhardness of the metal surface of St3 on the polarization potential induced on it.*

*Keywords: microhardness, electrode potential, polarization potential, steel grade St3, mechanical properties.*

В современном мире металлы широко применяются в различных отраслях промышленности. Для качественного использования металлов необходимо знать их поведение в различных эксплуатационных условиях, а также процессы, протекающие на границе раздела фаз металл-электролит и приводящие к превращению химической энергии в электрическую.

Одной из основных задач физического материаловедения является установление связи между структурой и свойствами материалов. Поскольку механические свойства материалов чувствительны к состоянию тонких приповерхностных слоев, можно ожидать, что изменение плотности поверхностной энергии, вызванное электрическим потенциалом, может существенно сказаться на такой характеристике металла, как его микротвердость.

Целью данной работы является установить зависимость изменения микротвердости металлической поверхности Ст3 от наведенного на нее поляризационного потенциала.

Электродный потенциал – величина разности потенциалов между металлом и раствором, выраженная в вольтах, зависящий от природы металла, температуры раствора, концентрации ионов металла в растворе. Электродным потенциалом является электродвижущая сила элемента, состоящая из данного электрода и стандартного водородного электрода, электродный потенциал которого принят равным нулю.

Поляризационный потенциал – это часть защитного потенциала за вычетом омической составляющей напряжения, то есть падения напряжения, обусловленного протеканием тока через защитное покрытие и слой грунта, между металлической поверхностью и электродом сравнения.

Твердость – это стойкость к разрушению при внедрении во внешний слой более твердого материала. Микротвердостью же называется твердость отдельных участков микроструктуры материала. Измеряется вдавливанием алмазной пирамидки под нагрузкой не менее 2Н.

Испытанию подвергалась низкоуглеродистая конструкционная сталь обычного качества Ст3. Подача тока на образец производилась с помощью

источника постоянного тока НУ1503D, к которому подключен амперметр, для дополнительного контроля величины подаваемого тока. Ток подавался на образец в диапазоне от 0 до 1,5 А, с шагом 0,075 А в течении 15 минут на каждый образец.

Перевод значений наведенного тока в поляризационную составляющую производился при помощи потенциостата-гальваностата Р-45Х методом сопоставления показателей величин тока на образцах.

Далее определялась микротвердость образца на приборе ПМТ-3М. Пластилином закрепляли образец на предметном столике под объективом. Включали лампочку, направляли свет, далее наводили фокус и устанавливали на резкость нити окулярного микрометра. На образце выбираем место нанесения отпечатка, помещаем груз 0,2 кгс на шток нагружающего механизма и производим вдавливание индентора. После чего поворачивали предметный столик под окуляр и измеряли две диагонали полученного отпечатка. Определение производили три раза для каждого опыта для достоверности результатов.

Данные опыты подтвердили наличие зависимости микротвердости от пропускаемого через образец тока.

По полученным замерам была построена диаграмма зависимости изменения микротвердости  $HV$  образца из Ст3 от поляризационного потенциала  $\phi$ , приведенная на рисунке 1.

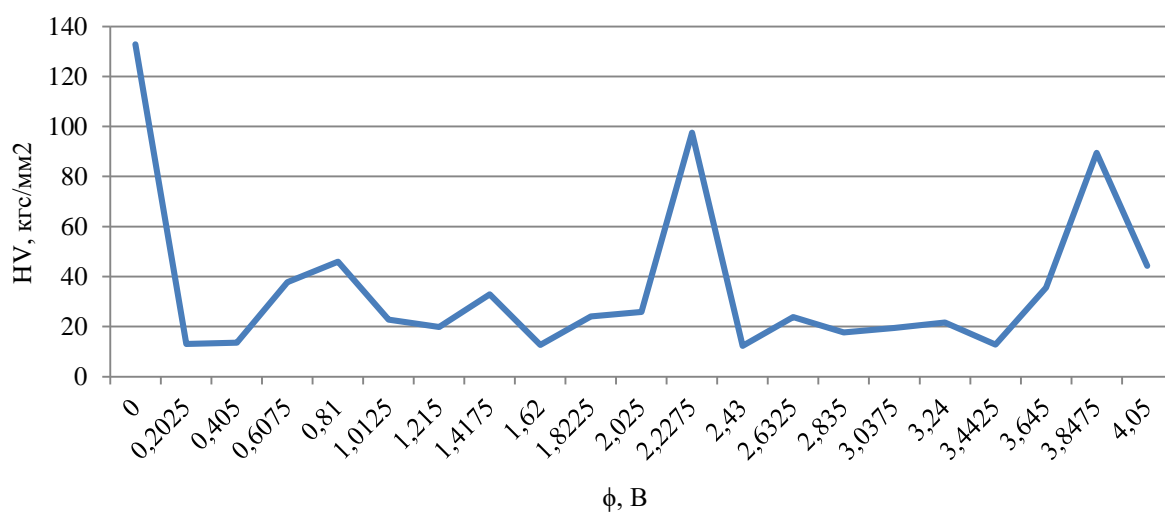


Рисунок 1 – Зависимость микротвердости  $HV$  образца из Ст3 от поляризационного потенциала  $\phi$

Из общей картины следует, что наведенный потенциал на металлоконструкцию, приводит к уменьшению его прочностных характеристик, а именно микротвердости.

В ходе эксперимента выявили, что возникает разность потенциалов, которая вызывает перезарядку имеющихся на их поверхности двойных

электрических слоев. Это в свою очередь приводит к изменению плотности поверхностной энергии исследуемого материала, что, естественно, вызывает соответствующее изменение механических свойств, в частности микротвердости. Установленные в данной работе эффекты непосредственно указывают на существование связи между электронной структурой и механическими свойствами металлов и на возможность ее наблюдения с помощью простых экспериментальных методов.

#### Список использованной литературы

1. Жерин, И.И. Основы электрохимических методов анализа. Часть 2. Неравновесные методы анализа / И.И. Жерин, Г.Н. Амелина, А.Н. Страшко, Ф.А. Ворошилов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 175 с.
2. Латыпов, О.Р., Тюсенков А.С., Черепашкин С.Е., Бугай Д.Е. Поляризационные исследования металлов и сплавов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. – 136с.
3. Гафарова, В.А. Изменение микроструктуры стали 09Г2С при ударных нагрузках / В.А. Гафарова, О.Р. Абдулганиева, А.Д. Иванова, Д.Е. Бугай, И.Р. Кузеев, О.Р. Латыпов // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т.19, № 6. – С. 117-123.
4. Федосов, С.А. Определение механических свойств материалов микроиндентированием (современные зарубежные методики) / С.А. Федосов, Л. Пешек. – М.: МГУ, 2004. – 62 с.

### **ОСОБЕННОСТИ СИЛИЦИРОВАНИЯ ТРУБНОЙ СТАЛИ 10X23N18, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЗМЕЕВИКОВ РЕАКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ**

**Сейтжапаров Бексултан Серикович**

Рубцов А.В. кандидат технических наук, доцент,

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

### **FEATURES OF PIPE SILICIFICATION 10X23N18 STEEL USED AS A MATERIAL EXECUTION OF REACTION FURNACE COILS**

**Seitzhaporov Beksultan S.**

Rubtsov A.V. Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,

*Ufa State Petroleum Technological University*

*Аннотация. Реакционные печи нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств, служат для высокотемпературного*

*разложения углеводородов и эксплуатируются в очень жестких условиях. Змеевики таких печей воспринимают сложные термосиловые нагрузки, а также подвергаются воздействию технологической среды на металл. Вышеуказанные эксплуатационные условия способствуют отложению кокса на внутренней поверхности печных труб и образованию различных дефектов, которые в свою очередь оказывают негативное влияние на безопасную и надежную работу печного оборудования и являются причинами частых остановов на ремонт.*

*Одним из наиболее распространенных и характерных дефектов труб змеевиков реакционных печей является науглероживание металла внутренней поверхности. Как показывает статистика, науглероживание металла практически является одной из доминирующих причин преждевременной отбраковки участков змеевиков реакционных печей на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии. Одним из возможных и недорогих решений этой проблемы является применение специальных термодиффузионных покрытий на основе кремния – силицирование.*

*Ключевые слова: реакционная печь, змеевики, эксплуатационные условия, дефекты труб, науглероживание металла поверхности, кокс, диффузионное проникновение углерода, силицирование.*

*Abstract. Reaction furnaces of oil refining and petrochemical industries are used for high-temperature decomposition of hydrocarbons and are operated in very harsh conditions. Coils of such furnaces perceive complex thermosilic loads, and are also exposed to the technological environment on the metal. The above operating conditions contribute to the deposition of coke on the inner surface of the furnace pipes and the formation of various defects, which in turn have a negative impact on the safe and reliable operation of the furnace equipment and are the causes of frequent shutdowns for repairs. One of the most common and characteristic defects of the pipes of the coils of reaction furnaces is the carburization of the metal of the inner surface. As statistics show, metal carburization is practically one of the dominant causes of premature rejection of sections of reaction furnace coils at oil refining and petrochemical enterprises. One of the possible and inexpensive solutions to this problem is the use of special thermal diffusion coatings based on silicon – silicification.*

*Keywords: reaction furnaces, coils, operating conditions, pipe defects, surface metal carburization, coke, carbon diffusion penetration, silicification.*

В качестве материала для проведения силицирования в порошкообразной смеси были выбраны образцы, вырезанные из кольцевого сечения фрагментов труб змеевика реакционной печи в состоянии поставки и кольцевого сечения фрагментов труб из стали 10X23H18 размером 114×7 мм с различным сроком эксплуатации, в условиях работы конвекционной и радиантной камер реакционной печи [1-4].



Сроки и условия эксплуатации фрагментов следующие:

- фрагмент трубы № 7 эксплуатировался в камере радиации в течение  $\tau=1200$  часов;
- фрагмент трубы № 8 эксплуатировался в камере радиации в течение  $\tau=8000$  часов;
- фрагмент трубы № 9 эксплуатировался в камере конвекции в течение  $\tau=36346$  часов;
- фрагмент трубы № 11 эксплуатировался в камере конвекции в течение  $\tau=64466$  часов.

Перед проведением силицирования образцы зачищались от слоя отложений до металлического блеска. Для насыщения кремнием образцов применялся порошок, который состоит из следующих компонентов: 75 % SiC карбида кремния, 15 %  $Mn_2O_3$  оксида марганца для предотвращения спекания смеси и налипания порошка на образец (инертная добавка), 10 %  $NH_4F$  фтористого аммония для ускорения процесса [5,6].

Для проведения силицирования был изготовлен контейнер цилиндрической формы. Заполнив контейнер реакционной смесью, погружали образцы, заранее обезжиренные. После чего контейнер закрывался чашей и переворачивался. Между контейнером и внутренней поверхностью чаши для герметизации процесса насыпалось измельченное стекло. Готовая конструкция контейнера загружалась в муфельную печь, которая была разогрета до рабочей температуры 1000 °С, после чего выдерживалась в 4, 6, 8, 10, и 12 часов для образцов криволинейной формы размерами 40×10 мм. По истечению заданного промежутка времени печь выключалась, контейнер извлекался и охлаждался на воздухе. Далее после полного охлаждения загерметизированные затворы разбивались молотком. Извлекались образцы, очищались от насыщающей смеси, хорошо промывались и просушивались.

Химический состав образцов определялся с помощью оптического эмиссионного спектрометра МСА II. Эмиссионный спектрометр МСА II предназначен для точного полного анализа химического состава черных и цветных сплавов и обеспечивает, с помощью персонального компьютера, автоматическую работу спектрометра, обработку результатов измерений и объективную регистрацию, и передачу результатов анализа. Полное время анализа на все элементы составляет от 30 до 60 секунд.

Для того, чтобы более подробно изучить содержание углерода и кремния по толщине образцов, на образцах криволинейной формы размерами 40×10 мм до проведения силицирования, а также подвергавшихся силицированию в течение 4, 6, 8, 10 и 12 часов был выполнен косой срез.

Участок №4 находится на поверхности образца, участок №3 – на глубине 1 мм от поверхности, участок №2 – на глубине 2 мм от поверхности, участок №1 на глубине 3 мм от поверхности. Участок № 4 в одном случае расположен на вогнутой части образца, характеризующего внутреннюю часть трубы змеевика реакционной печи, а в другом – на выпуклой части образца, характеризующего наружную часть трубы змеевика реакционной печи.

На рисунке 1 представлен образец криволинейной формы размерами 40×10 мм с косым срезом с участками определения содержания кремния и углерода по толщине образца.

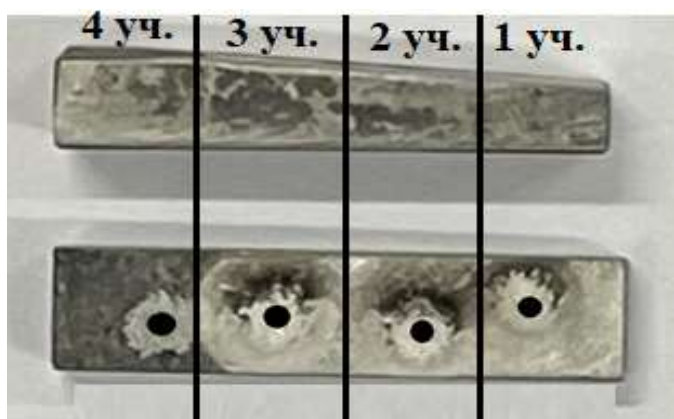


Рисунок 1 – Образец криволинейной формы размерами 40×10 мм с косым срезом с участками определения содержания кремния и углерода по толщине образца

На рисунке 2 приведены гистограммы зависимости содержания кремния и углерода на внутренней (вогнутой) поверхности образцов силицирования криволинейной формы с размером 40×10 мм, в зависимости от участка косого среза до силицирования.

В качестве примера на рисунке 3 приведены гистограммы зависимости содержания кремния и углерода на внутренней (вогнутой) поверхности образцов силицирования криволинейной формы с размером 40×10 мм, в зависимости от участка косого среза и выдержки в силицирующей смеси в течение 6 и 12 часов.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что содержание углерода по толщине образца, вырезанного из фрагмента трубы в состоянии поставки, до силицирования соответствует ГОСТ 5632-2014 и не превышает 0,1 %.

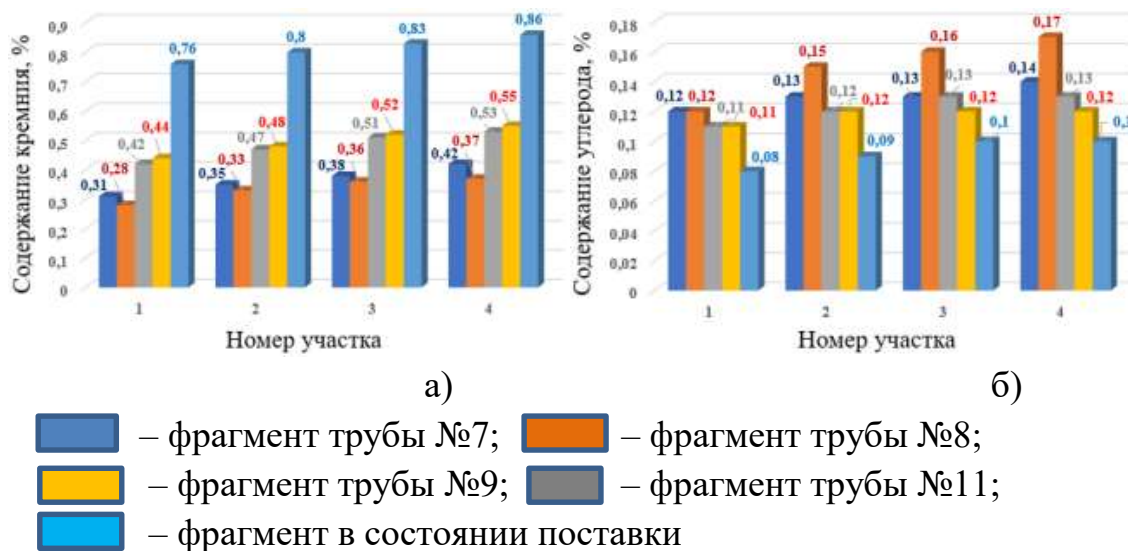


Рисунок 2 – Графики зависимости содержания кремния (а) и углерода (б) от участка косо́го среза на внутренней (вогнутой) поверхности по толщине образцов криволинейной формы размерами 40×10 мм до силицирования

У образцов, вырезанных из фрагментов труб № 9 и № 11, эксплуатировавшихся в конвекционной камере реакционной печи в течение  $\tau=36346$  часов и  $\tau=64466$  часов, содержание углерода по толщине образцов выше, чем у образцов, вырезанных из фрагмента трубы в состоянии поставки и находится в диапазоне от 0,11 до 0,14 %. Причем, у образцов, вырезанных из фрагмента трубы № 9 содержание углерода по толщине несколько выше, чем у образцов, вырезанных из фрагмента № 11. Это может быть обусловлено тем, что фрагмент находился в наиболее неблагоприятных эксплуатационных условиях.

Для образцов, вырезанных из фрагментов труб № 7 и № 8, которые эксплуатировались в радиантной камере реакционной печи в течение  $\tau=1200$  часов и  $\tau=8000$  часов соответственно, процентное содержание углерода максимально по сравнению с другими фрагментами, находится в диапазоне от 0,12 % до 0,2 % и превышает установленный ГОСТ 5632-2014 предел 0,1 % в 1,2÷2 раза. Максимальное содержание кремния наблюдается для образцов, вырезанных из фрагмента в состоянии поставки и составляет на различных измеряемых участках по толщине образца от 0,74 до 0,86 %.

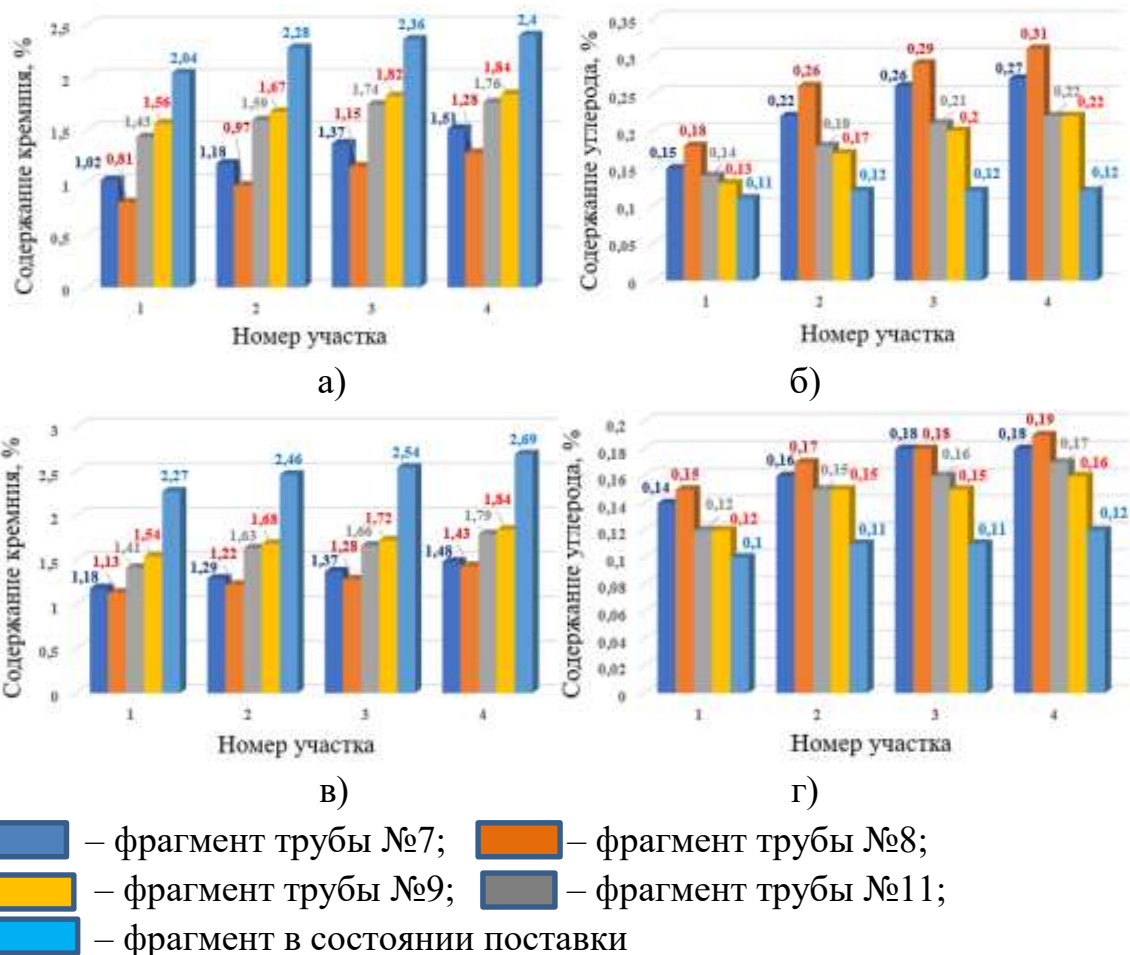


Рисунок 3 – Графики зависимости содержания кремния и углерода от участка косо́го среза на внутренней (вогнутой) поверхности по толщине образцов криволинейной формы размерами 40×10 мм после выдержки в силицирующей смеси в течение 6 часов кремний (а), углерод (б); 12 часов кремний (в), углерод (г)

Для образцов, вырезанных из фрагментов труб с различным сроком эксплуатации, содержание кремния заметно ниже и составляет для фрагментов труб конвекционной камеры от 0,42 до 0,55 %, а для фрагментов труб радиантной камеры – от 0,22 до 0,42 %. Причем наименьшее содержание кремния характерно для фрагмента № 8, который эксплуатировался в радиантной камере в течение 8000 часов в эксплуатационных условиях, способствующих более интенсивному науглероживанию.

В связи с тем, что углерод является антагонистом кремния, вероятно кремний вытесняется углеродом в процессе диффузионного насыщения стали углеродом в процессе эксплуатации реакционной печи.

После выдержки образцов, вырезанных из фрагментов после эксплуатации, в порошкообразной среде карбида кремния в течение 12 часов процентное содержание кремния по их толщине снижается по сравнению с содержанием кремния на аналогичных участках при 4, 6, 8 и 10 часов силицировании.

#### Список использованной литературы

1. Рубцов А.В. Измерение магнитных характеристик, дефектных фрагментов труб змеевика реакционной печи с различным сроком наработки / А.В. Рубцов, Е.А. Наумкин, Н.М. Фахрутдинов // В сборнике: Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. Сборник материалов научно-практической конференции. – 2015. – С. 100-102.

2. Рубцов А.В. Определение механических характеристик металла, фрагмента трубы змеевика реакционной печи по значениям твердости / А.В. Рубцов, М.М. Закирничная, Е.М. Ковалева, Г.А. Гималетдинова // Сборник научных статей. – 2014. – С. 30-33.

3. Рубцов А.В. Анализ механических свойств сварных соединений с различным уровнем накопления повреждений / А.В. Рубцов, А.Г. Чиркова // В книге: 54-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2003. – С. 243.

4. Рубцов А.В. Механические свойства сварных соединений с различным уровнем накопленных повреждений / А.В. Рубцов, А.Г. Чиркова // Сборник научных статей. – 2003. – С. 12-22.

5. Чиркова А.Г. Предельное состояние трубы змеевика реакционной печи / А.Г. Чиркова, Е.А. Наумкин, А.В. Рубцов, У.П. Гайдукевич // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2007. – Т.1. № 5. – С. 100-105.

6. Чиркова А.Г. Разрушающее испытание труб змеевиков реакционных печей / А.Г. Чиркова, Н.А. Махутов, А.В. Рубцов, Е.А. Наумкин, А.Н. Иванова, И.Р. Кузеев, Б.А. Акомолафе // Сборник научно-технических трудов. – 2007. – С. 38-46.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

**Жубаньязов Азамат Куанышевич**

Научный руководитель: Фролова О.А., канд. техн. наук, доцент, доцент  
кафедры механики материалов конструкций и машин Оренбургского  
государственного университета  
*Оренбургский государственный университет*

## **MODELING OF COLD SHEET STAMPING**

**Zhubanyazov Azamat Kuanyshevich**

Supervisor: Frolova Olesya Alexandrovna, Candidate of technical sciences,  
Associate Professor, Associate Professor of the Materials, Structures and Machines  
Department of Orenburg State University  
*Orenburg State University*

*Аннотация. Созданы твердотельные модели матрицы, пуансона и листа. Создана сборка конструкции, имеющая необходимые для заданного пластического деформирования условия сопряжения, крепления и локальных взаимодействий деталей. Смоделирован процесс холодной листовой штамповки.*

*Ключевые слова: моделирование, расчетные модели, пластическая деформация, холодная листовая штамповка.*

*Annotation. Solid-state models of matrix, punch and sheet have been created. An assembly of the structure has been created that has the necessary conditions for coupling, fastening and local interactions of parts for a given plastic deformation. The process of cold sheet stamping is modeled.*

*Keywords: modeling, computational models, plastic deformation, cold sheet stamping.*

Возрастающие требования, предъявляемые к прочностным, технологическим и эксплуатационным свойствам алюминиевых деформированных сплавов, обусловлены увеличением нагрузок на элементы конструкций, а также с возможностью применения в производстве технологичных сплавов с улучшенной возможностью обработки давлением.

Свойства некоторых деформируемых алюминиевых сплавов не удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к некоторым элементам конструкций, поэтому возникает необходимость применять более совершенные конструкционные алюминиевые сплавы с повышенными механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами, что позволит снизить вес конструкций, повысить технологичность изготовления деталей и их надежность.

При разработке и эксплуатации ответственных по назначению изделий весьма важным является обеспечение надежности и высокой работоспособности. Повышение качества конструкций в немалой степени зависит от правильного выбора материала (сплава) полуфабриката, предназначенного для изготовления деталей и узлов конструкции.

Алюминиевые сплавы – основные материалы во многих силовых и ответственных конструкциях, работающих в самых разнообразных условиях: при повышенных температурах и в криогенной технике, при постоянных и переменных нагрузках, в различных климатических условиях.

Сплавы на основе алюминия широко применяются в современной технике, особенно в тех случаях, когда важно снизить массу конструкции за счет применения материала с высокой удельной прочностью.

Одним из основных требований ко всем деформируемым материалам является их высокая пластичность при высоких или нормальных температурах, которая обеспечивает возможность горячей обработки давлением; высокая пластичность при нормальных температурах даёт возможность упрочнения за счёт холодной деформации [1, 2].

Конструкционные и жаропрочные алюминиевые сплавы системы Al–Cu–Mg успешно применяют в изделиях ракетно-космической, авиационной техники, работающих в условиях повышенных температур и нагрузок [3, 4].

В настоящее время широко используются новейшие методы компьютерного моделирования с применением CAD/CAE-технологий, которые нашли широкое и эффективное применение при создании инженерных конструкций. Существует большое количество российских и зарубежных систем автоматизированного проектирования, использующихся обычно совместно с системами автоматизации инженерных расчетов и анализа, которые позволяют выполнять задачи моделирования процессов в различных комбинированных средах [5].

Значительные части конструкций не имеют линейной взаимосвязи нагрузки и вызванных ею перемещений [6]. Жесткость такой конструкции не является постоянной; она является функцией приложенной нагрузки (так называемая касательная жесткость). Типовыми причинами нелинейного поведения являются:

- возникновение деформаций за пределами упругости (пластичность);
- большие прогибы (перемещения);
- изменяющийся статус элементов (например, контакт между телами).

При больших деформациях модель может измениться настолько, что начальные условия будут работать иначе, либо окажутся вообще не верными. Изменения состояния, вызывающее внезапный скачок жесткости. В нелинейных задачах отклик конструкции на внешнюю нагрузку не может быть определен системой линейных уравнений. Нелинейная конструкция может быть подвергнута анализу с помощью серии итерационных линейных приближений с последовательной корректировкой жесткости и других

величин. SOLIDWORKS Simulation использует алгоритм итерационного процесса, называемый методом Ньютона-Рафсона.

SolidWorks является на данный момент бесспорным лидером среди пакетов 3D-моделирования как в России, так и за рубежом. Такие качества, как интуитивно понятный интерфейс, русификация и поддержка ЕСКД, определяют успех внедрения SolidWorks на предприятиях отечественной промышленности [7].

Моделирование пластической деформации (холодной листовой штамповки – гибки) деформированного алюминиевого сплава проводили в программном комплексе SolidWorks с расчетным модулем Simulation.

Задачей исследования являлось моделирование процесса холодной листовой штамповки детали, имеющей выступ криволинейной формы.

На основании представленных моделей матрицы, пуансона и листа была создана сборка, имеющая необходимые для заданного пластического деформирования листа условия сопряжения, крепления и локальные взаимодействия деталей (рисунок 1).

В качестве внешней нагрузки была приложена сила тяжести.

В качестве материала матрицы и пуансона принималась углеродистая сталь. Задаваемые параметры материалов представлены на рисунках 2 и 3.

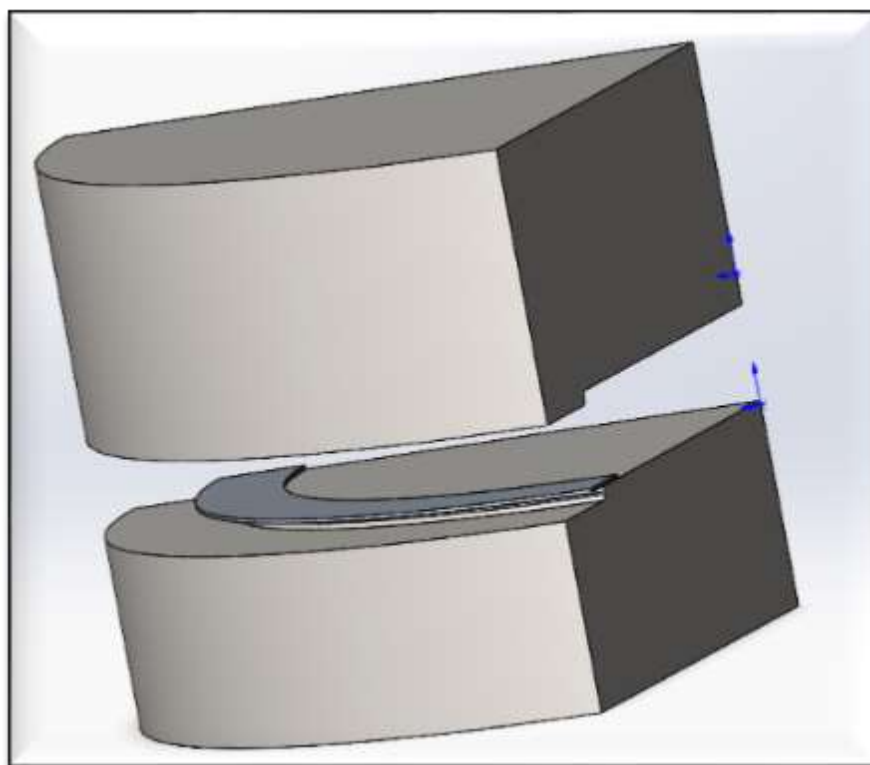


Рисунок 1 – Модель сборки



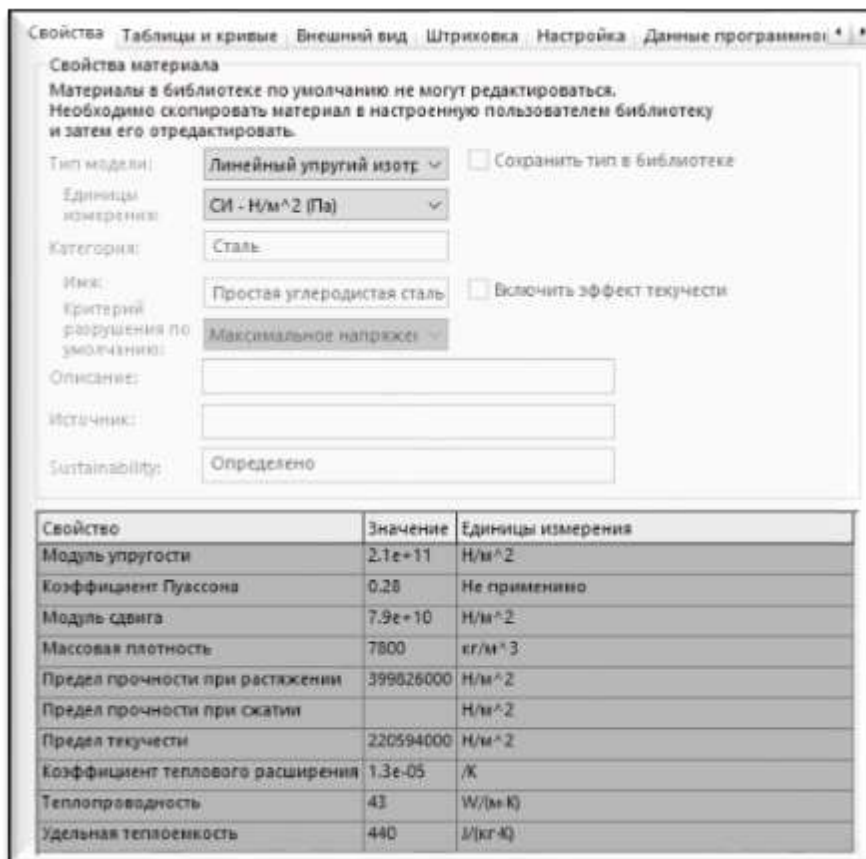


Рисунок 2 – Свойства материала матрицы и пуансона

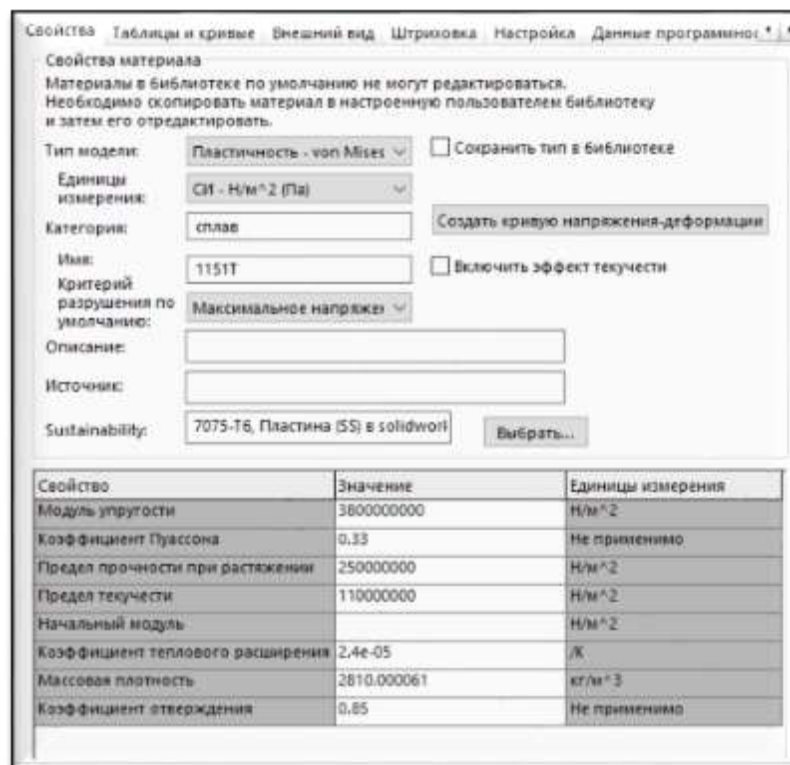


Рисунок 3 – Свойства материала листа

## Список использованной литературы

- 1 Антипов В.В. Алюминиевые деформируемые сплавы / В.В. Антипов, О.Г. Сенаторова, Р.О. Вахромов // Авиационные материалы и технологии, 2012. – № 5. – С.167 – 182.
- 2 Квасов Ф.И. Алюминиевые сплавы типа дюралюмин / Ф.И. Квасов, И.Н. Фридляндерю – М: Металлургия, 1984. – 240 с.
- 3 Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник, 2008. - № 3. С. 2–14.
- 4 Антипов В.В. Алюминиевые деформируемые сплавы / В.В. Антипов, О.Г. Сенаторова, Е.А. Ткаченко, Р.О. Вахромов // Авиационные материалы и технологии, 2012. - № 5. С. 167–182.
- 5 Абдрахимова Р.И. Применение программных комплексов в расчетах элементов конструкций. Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии / Р.И. Абдрахимова, О.А. Фролова. – Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С. 399-401. ISBN 978-5-44177-0299-7.
- 6 <https://softline.ru> (Дата обращения: 08.06.2022).
- 7 <https://sapr.ru/about> – сайт журнала «Сапр и Графика» издательского дома КомпьютерПресс (Дата обращения: 08.06.2022).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ СИЛИЦИРОВАННОГО СЛОЯ ВЛИЯТЬ НА ЖАРОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ 08X18N10T**

**Янбарисова Карина Владиславовна**

Научный руководитель: Тюсенков Антон Сергеевич, доцент, кандидат  
технических наук

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

## **INVESTIGATION OF THE ABILITY OF THE SILICIFIED LAYER TO INFLUENCE THE HEAT RESISTANCE OF STEEL 08X18N10T**

**Yanbarisova Karina Vladislavovna**

Supervisor: Tyusenkov Anton Sergeevich, Associate Professor, Candidate of  
Technical Sciences

Ufa State Petroleum Technological University

*Аннотация. В современном мире используется большое количество металлических конструкций и материалов, которые подвергаются коррозионным процессам. Это приводит к большим проблемам в их эксплуатации. Целью работы являлось исследование жаростойкости*

силицированного слоя. В качестве объекта исследования была выбрана сталь 08X18N10T.

*Ключевые слова:* силицирование, химико-термическая обработка, жаро-стойкость, скорость коррозии, коррозионно-стойкая сталь 08X18N10T, газовая коррозия.

*Abstract.* In the modern world, a large number of metal structures and materials that are subjected to corrosion processes are used. This leads to big problems in their operation. The purpose of my work was to study the heat resistance of the silicified layer. The steel 08X18N10T was chosen as the object of the study.

*Keywords:* silicification, chemical-thermal treatment, heat resistance, corrosion rate, corrosion-resistant steel 08X18N10T, gas corrosion.

Существуют различные способы воздействия на сталь с целью придания ей различных требуемых свойств. Один из комбинированных методов - химико-термическая обработка стали [1-5].

Химико-термическая обработка основывается на поверхностном обогащении металлов, основные параметры которого - температура и длительность выдержки. Силицирование - процесс химико-термической обработки, состоящий в высокотемпературном (950-1100 °С) насыщении поверхности стали кремнием. Силицирование помогает стали приобрести высокую коррозионную стойкость в морской воде, в серной, азотной и соляной кислотах и частично увеличивает стойкость против износа.

Недостаток силицирования заключается в том, что получить однородную поверхность, которая не будет иметь пор, невозможно.

В данной работе была исследована нержавеющая сталь 08X18N10T. По ГОСТ 5632-2014 она относится к сталям аустенитного класса. Это высоколегированная, жаростойкая, хромоникелевая сталь. За счёт высокого содержания хрома сталь устойчива к коррозии, никель обеспечивает прочность и работоспособность при высоких температурах. В незакаленном состоянии эта марка стали склонна к межкристаллитной коррозии.

Испытанию подвергали образцы с силицированным слоем и без него при температурах 500, 600, 700, 800, 900 и 1000 °С. При каждой из температур исследовалась скорость коррозии семи образцов (один из которых контрольный образец (несилицированный), остальные отличались толщиной силицированного слоя).

Размеры образцов определяли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, затем вычисляли суммарную поверхность каждого образца. Массу образцов определяли на аналитических весах с точностью до  $10^{-4}$  г. Образцы помещали в предварительно взвешенные тигли, клещами загружали в печи, нагретые до заданных температур, и выдерживали в них в течение трех часов при соответствующих температурах.

Выдержку в муфельной печи проводили в течение трёх часов. После мы определяли изменения масс образцов после коррозионных испытаний и рассчитывали массовые показатели коррозии.

После выдержки тигли вместе с образцами извлекали из печи. После 10-20 минут охлаждения на воздухе каждый образец взвешивали вместе с тиглем на аналитических весах, затем определяется изменение массы образца после коррозионных испытаний и рассчитывали массовый показатель коррозии.

По экспериментальным данным был построен график зависимости массового показателя коррозии от температуры эксперимента  $K_m^+ = f(t, ^\circ\text{C})$ , (рисунок 1).

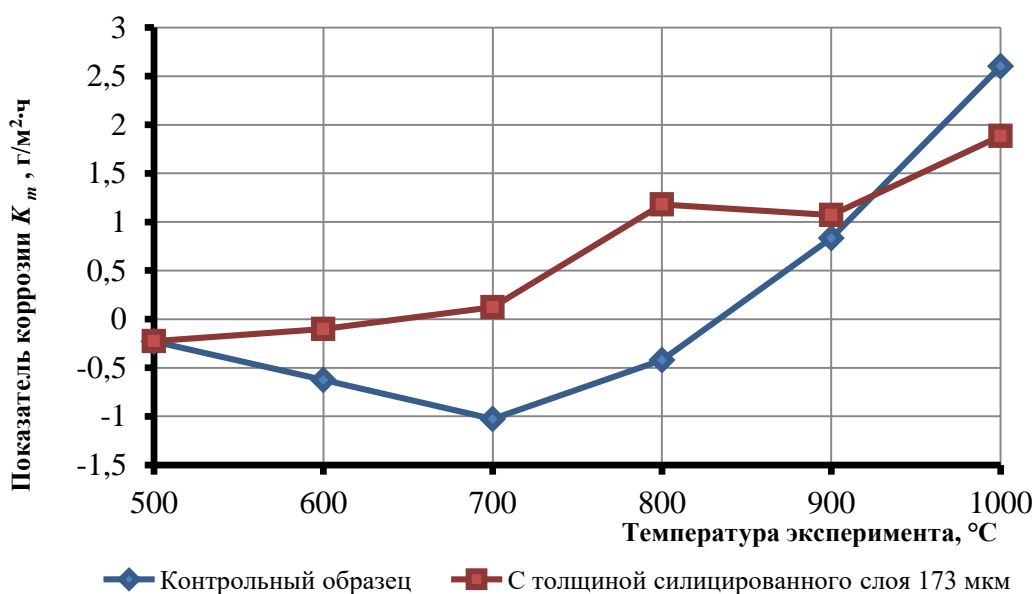


Рисунок 1 – График зависимости  $K_m^+ = f(t, ^\circ\text{C})$  для контрольного образца и образца с толщиной силицированного слоя 173 мкм

Таким образом, установлено, что силицирование повышает жаростойкость стали 08X18H10T.

Неочевидная зависимость жаростойкости от силицирования связана с достаточной погрешностью при определении площади силицированных образцов, так как слой придаёт образцу некую шероховатость.

Также, было установлено, что с увеличением толщины силицированного слоя жаростойкость стали 08X18H10T возрастает.

С повышением температуры жаростойкость силицированной стали повышается по сравнению со сталью, не подвергавшейся химико-термической обработке.

Масса образцов стали исследуемой после выдержки при высоких температурах начала увеличиваться только при температурах выше 800 °C. Вероятно с этим связана рекомендуемая рабочая температура данной стали: от -196 °C до 800 °C.

## Список использованной литературы

1. Kulakov P.A., Rubtsov A.V., Afanasenko V.G. Evaluation of the safe operation time of centrifugal pumps on the selection of determining parameters of the technical condition affecting the residual resource // В сборнике: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, fareastcon 2019. 2019. С. 8933869.
2. Kulakov P.A., Rubtsov A.V., Afanasenko V.G., Zubkova O.E., Sharipova R.R., Gudnikova A.A. Influence of technical condition parameters on the residual resource of capacitive equipment // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering - APITECH-2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. 2019. С. 55052.
3. Рубцов А.В., Чиркова А.Г. Анализ механических свойств сварных соединений с различным уровнем накопления повреждений // В книге: 54-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 2003. С. 243.
4. Чиркова А.Г., Махутов Н.А., Рубцов А.В., Наумкин Е.А., Иванова А.Н., Кузеев И.Р., Акомлафе Б.А. Разрушающее испытание труб змеевиков реакционных печей // В сборнике: Остаточный ресурс нефтегазового оборудования. Сборник научно-технических трудов. Уфа, 2007. С. 38-46.
5. Чиркова А.Г., Наумкин Е.А., Рубцов А.В., Гайдукевич У.П. Предельное состояние трубы змеевика реакционной печи // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2007. № 5. С. 100-105.

# **Секция прочности и диагностика технического состояния конструкций»**

## **ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ПЛОСКОЙ КРЫШКИ ЛЮКА СЕПАРАТОРА ПРИ НАЛИЧИИ ЦАРАПИН**

**Грачева Вероника Викторовна**

Научный руководитель: Рубцов А.В., кандидат технических наук, доцент  
*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

## **STRENGTH ANALYSIS OF THE FLAT HATCH COVER OF THE SEPARATOR IN THE PRESENCE OF SCRATCHES**

**Gracheva Veronika Viktorovna**

Научный руководитель: Rubtsov A.V., Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor  
*Ufa State Petroleum Technical University, Ufa*

*Аннотация. Конструкция технологического оборудования опасных производственных объектов достаточно индивидуальна. Среди распространенных конструктивных элементов, немаловажное значение занимает люк, который предназначен для попадания внутрь технического персонала для внутреннего осмотра, а также проведения ремонтных и монтажных работ. В процессе проведения ремонтных и монтажных работ возможно возникновение линейных дефектов на различных конструктивных элементах люка, и в первую очередь на крышке люка. Представляя собой возможный концентратор напряжений при воздействии эксплуатационных нагрузок, такая царапина может оказывать существенное влияние на напряженно-деформированное состояние крышки люка. Поэтому актуальной работой является исследование напряженно-деформированного состояния плоской крышки люка сепаратора с наличием линейного дефекта - царапины.*

*Ключевые слова: люк-лаз, царапина, коррозионный износ, повреждения, напряженно-деформированное состояние, оценка, плоская крышка, утонение*

*Abstract. The design of the technological equipment of hazardous production facilities is quite individual. Among the common structural elements, the hatch is of no small importance, which is designed to get inside the technical personnel for internal inspection, as well as repair and installation work. During the repair and installation work, linear defects may occur on various structural elements of the hatch, and primarily on the hatch cover. Representing a possible stress concentrator when exposed to operational loads, such a scratch can have a significant impact on the stress-strain state of the manhole cover. Therefore, an urgent work is the study of the stress-strain state of the flat hatch cover of the separator with the presence of a linear defect - a scratch.*

*Keywords: manhole, scratch, corrosion wear, damage, stress-strain state, assessment, flat cover, thinning*

Технологическое оборудование предназначено для эксплуатации в условиях индивидуальных необходимых рабочих сред. Определенное значение среди технологических штуцеров занимает люк-лаз. В процессе жизненного цикла технического устройства на крышках люка могут возникать различные дефекты механического характера при проведении ремонтных или монтажных работ. Наиболее частым встречающимся механическим повреждением являются царапины с различными размерами, формой и месторасположением. В связи с тем, что наличие таких царапин может оказывать на напряженно-деформированное состояние (НДС) крышки люка негативное воздействие, как очаг концентрации максимальных напряжений. Поэтому актуальной работой является моделирование НДС плоской крышки люка в зависимости от длины и месторасположения на ней царапины под действием рабочих технологических параметров. Похожие работы [1-2].

Для проведения моделирования НДС плоской крышки люка в зависимости от длины и месторасположения на ней царапины от влияния рабочих технологических параметров был выбран люк-лаз сепаратора одного из нефтеперерабатывающих производств.

Технологический процесс имеет следующие рабочие параметры: рабочее давление  $P=2,0$  МПа и рабочая температура  $t=20$  °С. Материалом люка-лаза и его крышки является качественная углеродистая сталь 10.

Люк имеет следующие технические характеристики: размер патрубка штуцера  $472 \times 18$  мм; фланец патрубка штуцера плоский приварной с толщиной  $s=18$  мм; толщина плоской крышки  $s=10$  мм; наружный диаметр плоской крышки  $D=510$  мм; крышка снабжена 20 отверстиями  $\varnothing 18$  мм под болтовые соединения.

В процессе исследований был использован лицензионный программный комплекс «КОМПАС-3D» с интегрированной в него системой АРМ FEM для решения инженерных и исследовательских задач. На первом этапе была построена модель люка-лаза в программе «КОМПАС-3D». Затем с помощью системы прочностного анализа «АРМ FEM», были приложены нагрузки такие как: давление и температура; установлены закрепления.

Далее моделировалась царапина с различным месторасположением на плоской крышке. Царапина представляет собой протяженный линейный плоскостной дефект с острыми вершинами. Длина царапины составляла  $L=50$  мм и  $L=100$  мм соответственно, ширина  $B = 1$  мм, глубина  $H = 1$  мм.

Различные месторасположения царапины на плоской крышке люка-лаза для оценки НДС эскизно показаны на рисунке 1а-г.

На первом этапе исследований была проведена оценка НДС плоской крышки без наличия царапины. Результаты расчета НДС плоской крышки люка-лаза без царапины представлены на рисунке 2.

Анализируя полученный результат, приведенный на рисунке 2, можно сказать, что максимальные напряжения равны 76,59 МПа и сосредоточены в зоне, близкой к болтовой окружности плоской крышки люка-лаза. Причем



зона распределения максимальных напряжений носит неравномерный характер.

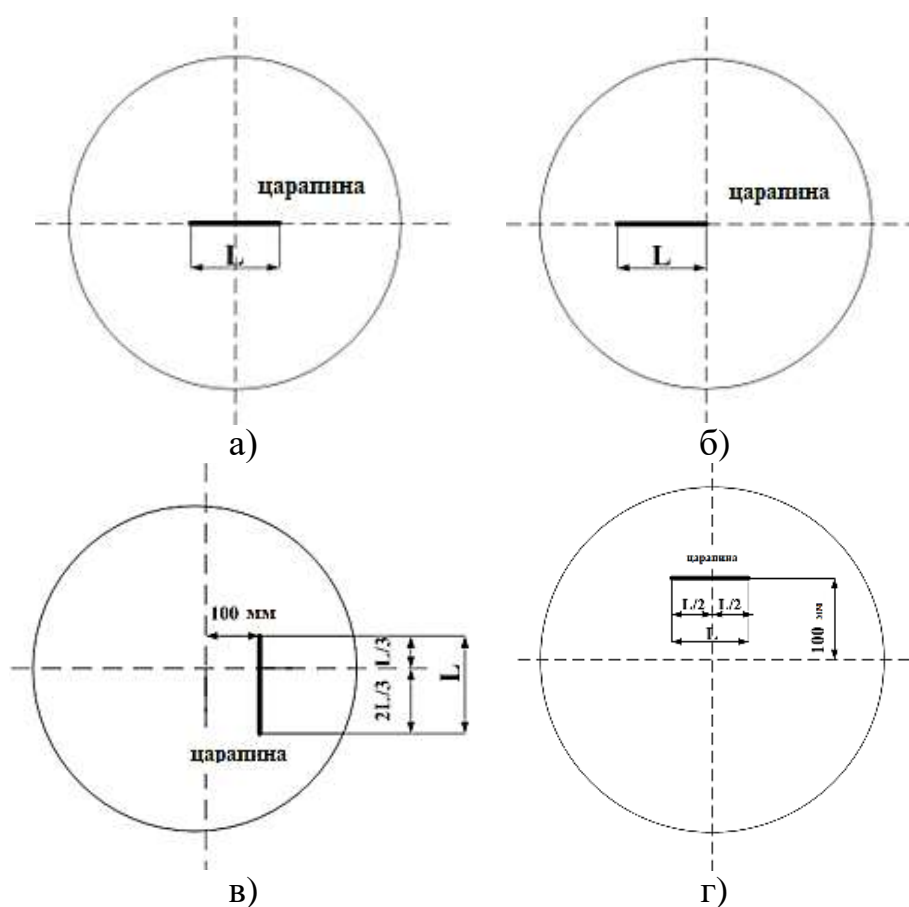


Рисунок 1 – Различные месторасположения царапины на плоской крышке люка-лаза для оценки НДС

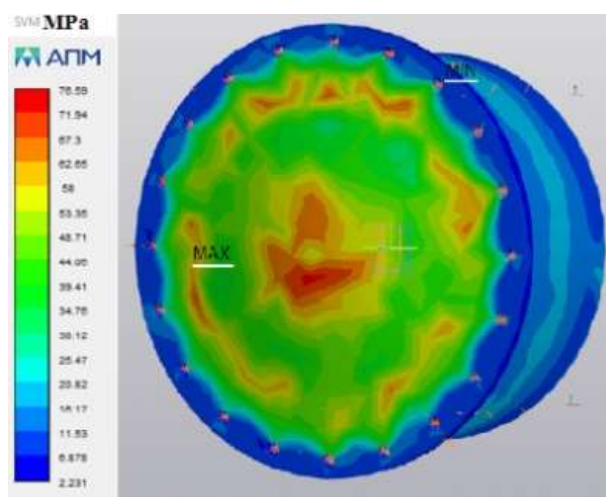
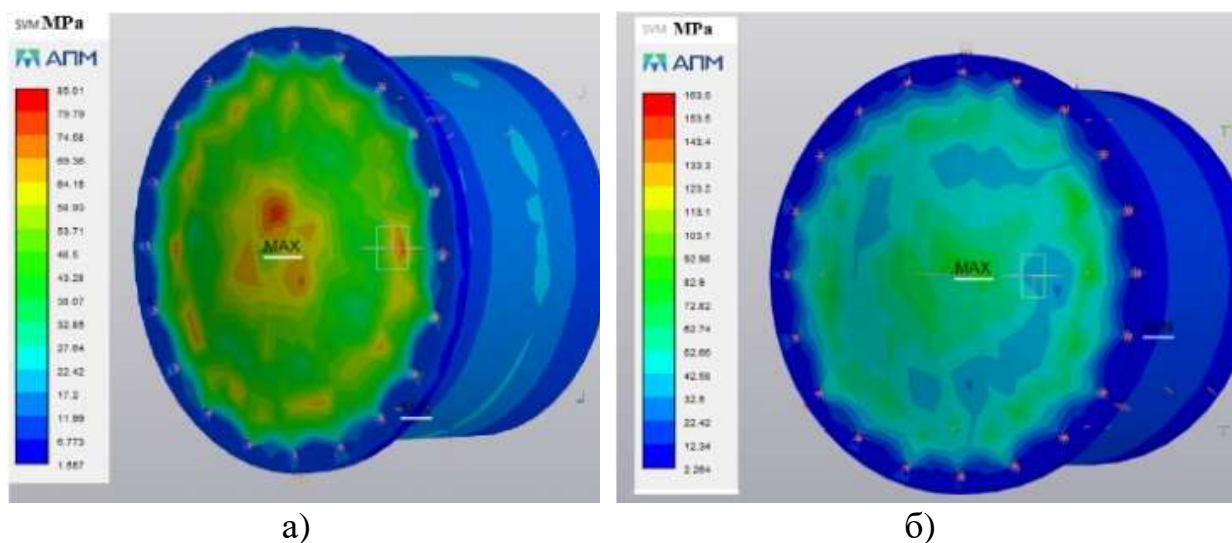


Рисунок 2 – Результаты расчета НДС плоской крышки люка-лаза без царапины

Далее была проведена оценка НДС плоской крышки с царапиной длиной 50 мм и 100 мм с различным месторасположением на поверхности плоской крышки согласно рисункам 1а-г. Результаты расчета НДС приведены на рисунках 3-6.

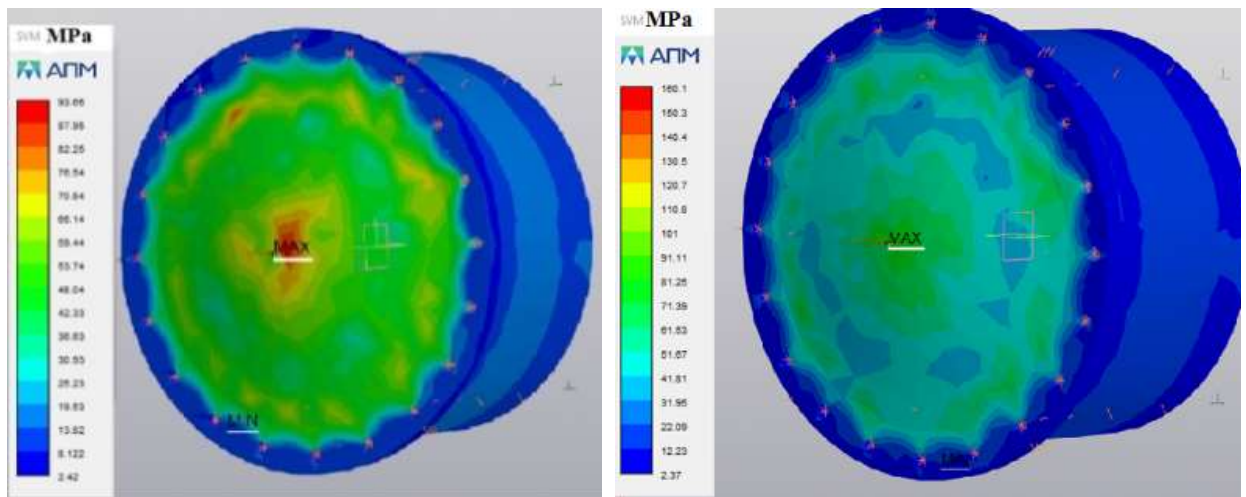
Из полученных результатов, приведенных на рисунке 3, видно, что максимальные напряжения сосредоточены в зоне царапины и составляют 85,01 МПа при длине царапины  $L=50$  мм и 163,5 МПа при длине царапины  $L=100$  мм. Площадь сосредоточения повышенных напряжений, близких к максимальным, при длине царапины  $L=50$  мм больше, чем при длине царапины  $L=100$  мм. Также при увеличении длины царапины изменяется место концентрации минимальных напряжений, которые сосредоточены в болтовых отверстиях.

При смещении расположения горизонтальной царапины влево относительно центра плоской крышки (рисунки 4, 1б), видно, что максимальные напряжения увеличиваются до 93,65 МПа при длине царапины  $L=50$  мм и уменьшаются до 160,1 МПа при длине царапины  $L=100$  мм по сравнению с результатами на рисунке 3. Место концентрации минимальных напряжений в отверстиях под болты также изменяется.



а) Результаты расчета НДС крышки люка-лаза с царапиной длиной  $L=50$  мм;  
б) Результаты расчета НДС крышки люка-лаза с царапиной длиной  $L=100$  мм

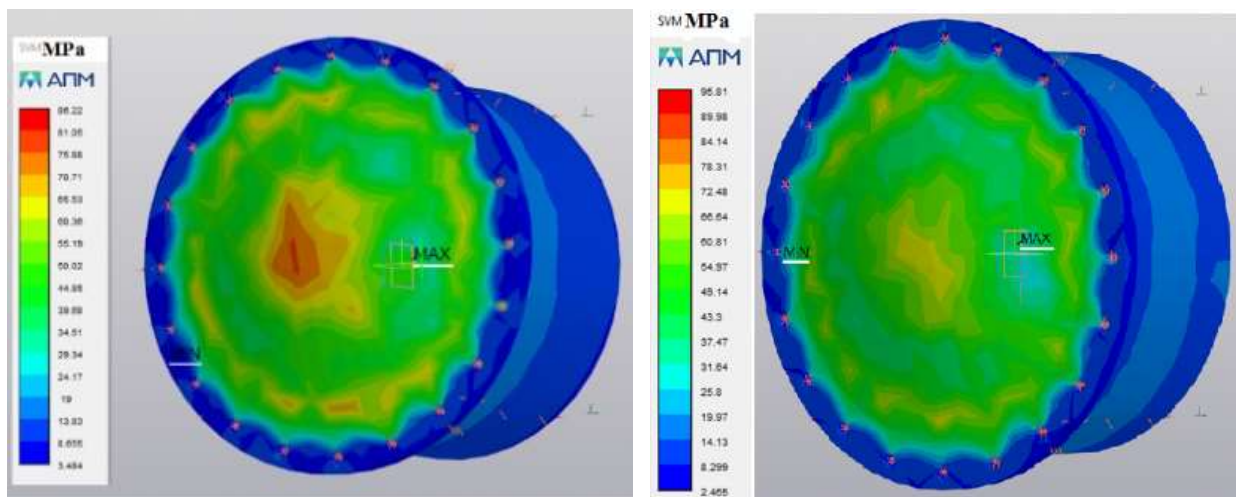
Рисунок 3 – Результаты расчета НДС плоской крышки люка-лаза с расположением царапина согласно рисунку 1а



- а) б)  
 а) Результаты расчета НДС крышки люка-лаза с царапиной длиной  $L=50$  мм;  
 б) Результаты расчета НДС крышки люка-лаза с царапиной длиной  $L=100$  мм.

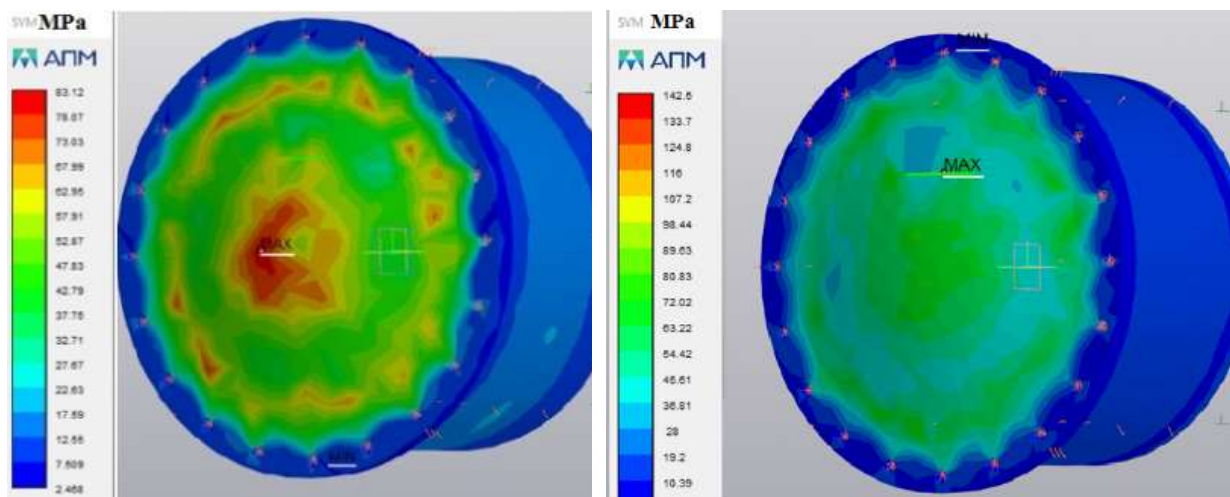
Рисунок 4 – Результаты расчета НДС плоской крышки люка-лаза с расположением царапина согласно рисунку 1б

Полученные результаты (рисунок 5) при вертикальном расположении царапины (рисунок 3в) показывают, что максимальные напряжения также сосредоточены в зоне царапины и составляют 86,22 МПа при длине царапины  $L=50$  мм и 95,81 МПа при длине царапины  $L=100$  мм.



- а) б)  
 а) Результаты расчета НДС крышки люка-лаза с царапиной длиной  $L=50$  мм;  
 б) Результаты расчета НДС крышки люка-лаза с царапиной длиной  $L=100$  мм.

Рисунок 5 – Результаты расчета НДС плоской крышки люка-лаза с расположением царапина согласно рисунку 1в



- а) Результаты расчета НДС крышки люка-лаза с царапиной длиной  $L=50$  мм;  
 б) Результаты расчета НДС крышки люка-лаза с царапиной длиной  $L=100$  мм.

Рисунок 6 – Результаты расчета НДС плоской крышки люка-лаза с расположением царапина согласно рисунку 1г

Анализируя результаты, приведенные на рисунке 6, при горизонтальном расположении царапины (рисунок 3г), можно сделать вывод о том, что максимальные напряжения при длине царапины  $L=50$  мм составляют 83,12 МПа, а при длине царапины  $L=100$  мм они равны 142,5 МПа. Причем в случае, когда длина царапины составляет 50 мм, максимальные напряжения сосредоточены не в зоне царапины, а в центре плоской крышки. Минимальные напряжения также концентрируются в различных болтовых отверстиях.

#### Список использованной литературы

1. Шарипов Д.К., Мухаметзянов З.Р., Хакимов Т.З. Анализ напряженно-деформированного состояния ректификационной колонны и гидравлического подъемника при установке в проектное положение / Шарипов Д.К., Мухаметзянов З.Р., Хакимов Т.З. // Нефтегазовое дело. – год 2020. – Т. 18. № 1. – 107-113.
2. Рубцов А.В., Грачева В.В., Кулаков П.А., Мухаметзянов З.Р., Афанасенко В.Г. Изучение влияния размера на местоположение царапины на напряженно-деформированное состояние плоской крышки люка сепаратора / Рубцов А.В., Грачева В.В., Кулаков П.А., Мухаметзянов З.Р., Афанасенко В.Г. // AIP Conference Proceedings. – год 2021.

# ДВУХУПОРНОЕ ВЫСОКОМОМЕНТНОЕ РЕЗЬБОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Тулибаев Егор Сагитович

Научный руководитель: Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики материалов, конструкций и машин ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

<sup>2</sup>АО «Завод бурового оборудования», г. Оренбург

## DOUBLE-SUPPORT HIGH-TORQUE THREADED CONNECTION OF DRILL PIPES

Tulibaev Egor Sagitovich

Scientific adviser: Poyarkova Ekaterina Vasilyevna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines, Orenburg State University

Orenburg State University

JSC Drilling Equipment Plant, Orenburg

*Аннотация. В работе приведены результаты разработки конструкции нового типа резьбовых соединений для бурильных труб. Соединение двухупорное, слабоконическое, профиль – косая трапеция, шаг крупный. Область применения данного соединения – нефтепромысловые технологические операции в том числе при капитальном ремонте скважин, а также бурение глубоких геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые, а также скважины со сложной геологической структурой. В работе приведен обзор существующих аналогов резьбовых соединений, дана их классификация. Кроме этого, представлен принцип проектирования соединения и представлены результаты сравнительных заводских (предварительных) испытаний.*

*Ключевые слова: двухупорное резьбовое соединение, замковые соединения труб, трубы нефтепромысловые технологические (ТНТ), крутящий момент.*

*Annotation. The paper presents the results of the design development of a new type of threaded connections. The connection is double-butressed, weakly conical, the profile is an oblique trapezoid, the step is large. The scope of application of this compound is oilfield technological operations, including major repairs of wells, as well as drilling of deep exploration wells for solid minerals, as well as wells with a complex geological structure. The paper provides an overview of existing analogues of threaded connections, their classification is given. In addition, the principle of connection design is presented and the results of comparative factory (preliminary) tests are presented.*

*Keywords: double-support threaded connection, pipe locking connections, oilfield technological pipes (TNT), torque.*

Классические замковые соединения типа «З» (NC) в полной мере не обеспечивают современные потребности эксплуатирующих организаций. Данные резьбы были разработаны еще в 50-е годы прошлого века, тогда не было технической и технологической возможности производить двухупорные, высокомоментные резьбы.

Современная добывающая промышленность требует новых решений. Так, при бурении или ремонте глубоких осложненных скважин, требуется применение бурильных труб повышенной надежности и с повышенными техническими характеристиками, особенно по максимальному крутящему моменту в резьбовом соединении. В тоже время современная технология и оборудование (станки с ЧПУ) позволяют без сложностей изготавливать резьбы практически любой конструкции в том числе прецизионные двухупорные.

Конструкция замковых резьб оптимальна именно в одноупорном исполнении, по этой причине двухупорные резьбовые соединения, требуют полного перепроектирования конструкции и соответственно проведения полного цикла расчетов, испытаний, включая испытания на надежность.

Целью проекта является разработка новой бурильной трубы для бурения в сложных горно-геологических условиях за счет проектирования двухупорного высокомоментного резьбового соединения с увеличенным промывочным каналом.

Главное тождество на кручение труб нефтепромысловых технологических, можно записать, как

$$M_{кр}(т.т.) \approx M_{кр}(зам),$$

где  $M_{кр}(т.т.)$  – максимальный крутящий момент тела трубы,

$M_{кр}(зам)$  – максимальный крутящий момент резьбового соединения.

Из практики известно, что максимальный крутящий момент резьбового соединения практически всегда значительно меньше максимального крутящего момента тела трубы, а страгивающая нагрузка напротив, практически всегда в резьбовом соединении значительно превосходит страгивающую нагрузку (нагрузку растяжения) тела трубы. Исходя из этого, увеличение максимального крутящего момента резьбового соединения с помощью проектирования оптимальной конструкции резьбового соединения, нам представляется весьма перспективным.

Полученные результаты показали, что предложенная конструкция резьбового соединения значительно превосходит классические замковые соединения, как по показателю максимального крутящего момента, так и промывочной способности канала, что также благоприятно сказывается на

эксплуатационных показателях, что в свою очередь положительно влияет на конкурентоспособность в рынке.

Исходя из рисунка 1 и данных таблицы 1, можно сделать вывод, что новое резьбовое соединение более сбалансировано с телом трубы, и напрямую влияет на рациональность использования металла, экономику и позволяет вести разведку, ремонт в глубоких, осложненных скважинах.

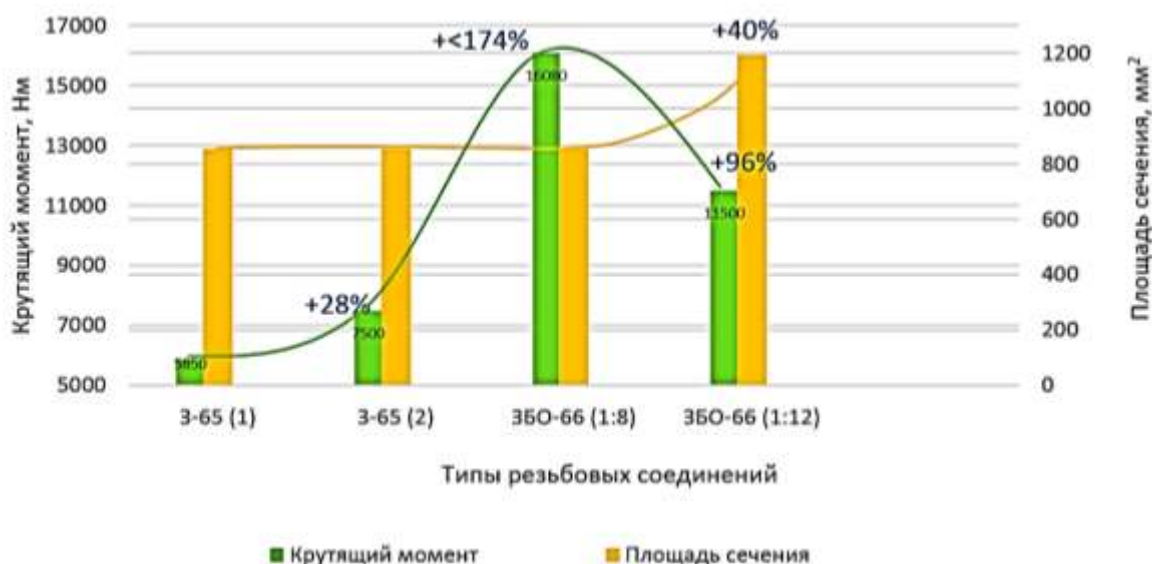


Рисунок 1 – Сравнение характеристик крутящего момента и промывочной способности различных типов резьбовых соединений

Таким образом, сокращение протяженности ЗТМВ, вызванное увеличением силы при разогреве в процессе РСТ, а также интенсификация фазовых превращений в приконтактных областях способствуют формированию более равнопрочной конструкции сварного соединения в целом, в которой наличие ЗТМВ не оказывает влияния на свойства растяжения.

Таблица 1 – Сравнение технических характеристик спроектированного резьбового соединения и существующего замкового соединения, на основании заводских испытания

Характеристика	3-65	ЗБО-66
1	2	3
Тело трубы		
Наружный диаметр, мм	63,5	63,5
Толщина стенки, мм	6,0	6,0

1	2	3
Группа прочности	Л(Х)	Л(Х)
Высадка	-	-
Предельно допустимая растягивающая нагрузка тела трубы, кН	427,0	427,0
Предельно допустимый крутящий момент тела трубы, Н•м	10780	10780
Максимальное внутреннее давление, МПа	107,7	107,7
Максимальное наружное давление, МПа	108,7	108,7
Замок, наружный диаметр, мм	80,0	80,0
Внутренний диаметр, мм	32,0	39,0
Конусность	1:6	1:12
Предельно допустимая сдвигающая (растягивающая) нагрузка замка, кН	620	598
Предельно допустимый крутящий момент замка, Н•м	7500	11500
Рекомендуемый момент свинчивания, Н•м	4500	6900
Отношение крутящих моментов замка и тела трубы	0,7	1,07

## Список использованной литературы

1. Биргег И.А. Расчет резьбовых соединений. Гос. изд. обор. пром., М.,1959, – 250 с.
2. Калинин А. Г. и др. Разведочное бурение. Учебн. Для вузов. – «Недра-ООО Бизнесцентр», 2000. – 748 с
3. Копылов В.Е., Артющкин В.Н. Быстроразъемные и упругие соединения бурильных труб. – Тюмень, ТГУ, 1983. – с.96.
4. Лачинян Л.А., Угаров С.А. Конструирование, расчет и эксплуатация бурильных геологоразведочных труб и их соединений. М., «Недра», 1975. – 232 с.



**ВЫЯВЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗОН КОНЦЕНТРАЦИИ  
МАКСИМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБАХ ЗМЕЕВИКА ПЕЧИ  
ПИРОЛИЗА С УЧЕТОМ «ПРИКИПАНИЯ» ПОДВЕСОК И  
ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА**

**Закирничный Евгений Григорьевич**

Научный руководитель: Рубцов Алексей Вячеславович доцент кандидат  
технических наук

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

**DETECTING THE LOCATION OF THE ZONES OF MAXIMUM STRESS  
CONCENTRATION IN THE PIPES OF THE PYROLYSIS FURNACE  
COIL TAKING INTO ACCOUNT THE «BUILDING» OF THE  
SUSPENSIONS AND CHANGES IN THE MECHANICAL  
CHARACTERISTICS OF THE METAL**

**Zakirnichny Evgeny Grigorivich**

Scientific adviser: Rubtsov Alexey Vyacheslavovich

*Ufa state petroleum technical university*

*Аннотация. Проблема эксплуатационной надежности и безотказности змеевиков высокотемпературных трубчатых печей, работающих по принципу реакторов, в настоящее время является достаточно острой и актуальной. Результаты предыдущих исследований, которые посвящены решению вопросов в области изучения закономерностей накопления повреждения в змеевиках реакционных печей, а также возможных механизмов их разрушения, позволили установить влияние различных факторов на формирование и изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) змеевиков. Однако, на данный момент не в полной степени изучены особенности распределения НДС в змеевиках печей пиролиза при эксплуатации с учетом влияния эксплуатационных нагрузок и изменения механических характеристик металла в процессе эксплуатации.*

*Ключевые слова: эксплуатационная надежность, трубчатый змеевик, накопление повреждений, изменение механических свойств, напряженно-деформированное состояние.*

*Abstract. The problem of operational reliability and non-failure operation of coils of high-temperature tube furnaces operating on the principle of reactors is currently quite acute and relevant. The results of previous studies, which are devoted to solving issues in the field of studying the patterns of damage accumulation in the coils of reaction furnaces, as well as possible mechanisms for their destruction, made is possible to establish the influence of various factors on the formation and change of the stress-strain state (SSS) of coils. However, at the moment, the features of the distribution of SSS in the coils of pyrolysis furnaces during operation have not been fully studied, taking into account the influence of operational loads and changes in the mechanical characteristics of the metal during operation.*

*Key words: operational reliability, tubular coil, accumulation of formations, change in mechanical properties, stress-strain state.*

На сегодняшний день для дальнейшего развития и функционирования отраслей нефтехимического синтеза необходимо достаточное количество ключевых мономеров, таких как этилен, пропилен и др. Основным крупномасштабным способом получения низших олефинов в промышленности является процесс пиролиза. Трубчатые печи пиролиза являются неотъемлемой составляющей технологического процесса пиролиза и работают в условиях сложного термосилового нагружения. Продолжительное воздействие высоких эксплуатационных температур в совокупности с науглероживанием может приводить к изменению механических свойств металла змеевиков, местной или локальной потере устойчивости труб змеевика и как следствие, преждевременному аварийному выходу печи из строя. Проблема эксплуатационной надежности и безотказности змеевиков высокотемпературных трубчатых печей, работающих по принципу реакторов, в настоящее время является достаточно острой и актуальной.

В предыдущих работах, посвященных изучению механизмов деградации металла печных змеевиков, представлены результаты анализа влияния различных факторов на формирование и изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) змеевиков как цельных конструкций, даны характеристики отдельных дефектов, показано изменение механических свойств высоколегированных сталей в процессе эксплуатации, изучено НДС в ремонтных сварных соединениях, отличающихся разнотолщинностью в условиях различных стадий технологического процесса [1-6]. Однако, в настоящее время не выявлены особенности в распределения напряженно-деформированного состояния в змеевиках печей пиролиза при эксплуатации с учетом влияния эксплуатационных нагрузок и изменения механических характеристик металла в процессе эксплуатации.

В качестве объекта исследования НДС выбран трубчатый змеевик радиантной камеры печи пиролиза одного из нефтехимических производств со следующими характеристиками:

- размер труб – 140×8мм;
- рабочее давление – 1 МПа;
- рабочая температура – 830 °С;
- длина труб змеевика – 10060 мм.

Трубы выполнены из стали 10Х23Н18. Змеевик закреплен на подвесках типа «ёлочка», при этом:

- расстояние между подвесками – 1220мм;
- теплопроводность стали - 21 (Вт/(м\*град));
- теплоемкость стали - 511 (Дж/(кг\*град));
- коэффициент линейного расширения -  $\alpha = 18 \cdot 10^{-6}$  (1/град).

В качестве метода исследования было выбрано численное моделирование. Для построения модели змеевика был выбран программный комплекс «Abaqus CAE», как один из основных пакетов для решения задач методом конечных элементов (МКЭ).

Для предварительного моделирования, с целью упрощения построения, в программном комплексе «КОМРАС-3D» был построен эскиз змеевика, затем этот эскиз был перемещен в программный комплекс «Abaqus CAE», в котором была построена конечная модель змеевика пиролиза.

На первом этапе исследований была проведена оценка НДС трубчатого змеевика без учета, так называемого «прикипания» подвесок к трубам змеевика, которое возможно при расплавлении подвесок в условиях эксплуатации при высоких температурах.

Распределение НДС змеевика без учета «прикипания» подвесок представлено на рисунке 1.

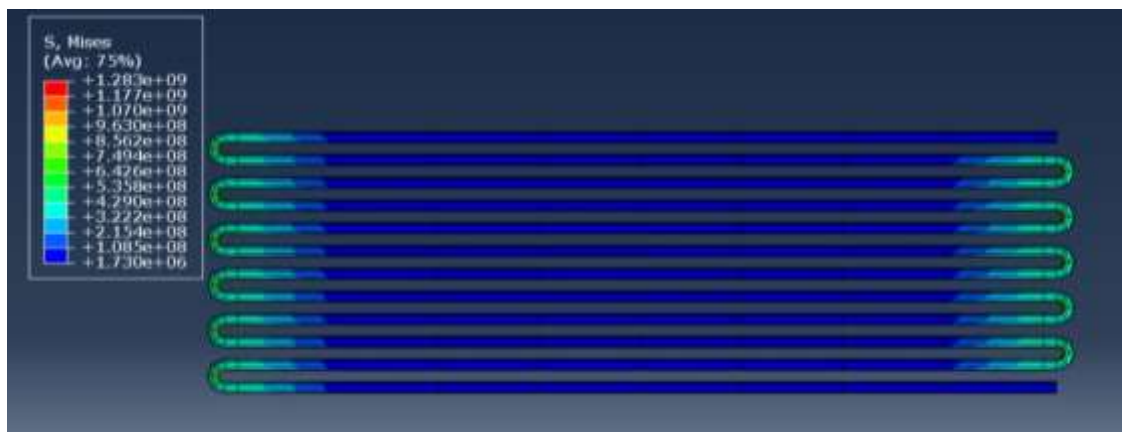


Рисунок 1 – Распределение НДС змеевика без учета «прикипания» подвесок

Анализируя рисунок 1 видно, что максимальные напряжения составляют 12,83 МПа и сосредоточены в местах соединения труб с калачами.

Далее были рассмотрены варианты поочередного «прикипания» подвесок на трубах входа углеводородного сырья (труба № 12) и выхода продукта (труба № 1) с температурами  $t = 650$  °С (температура, при которой происходит паровоздушный выжиг кокса),  $t = 830$  °С (температура эксплуатации) и  $t = 1000$  °С (температура нагрева стенки трубы змеевика при эксплуатации). Подвеска, которая рассматривалась как «прикипевшая» к трубе змеевика, моделировалась в виде неподвижной опоры. Результаты расчета НДС представлены на рисунках 2-3.

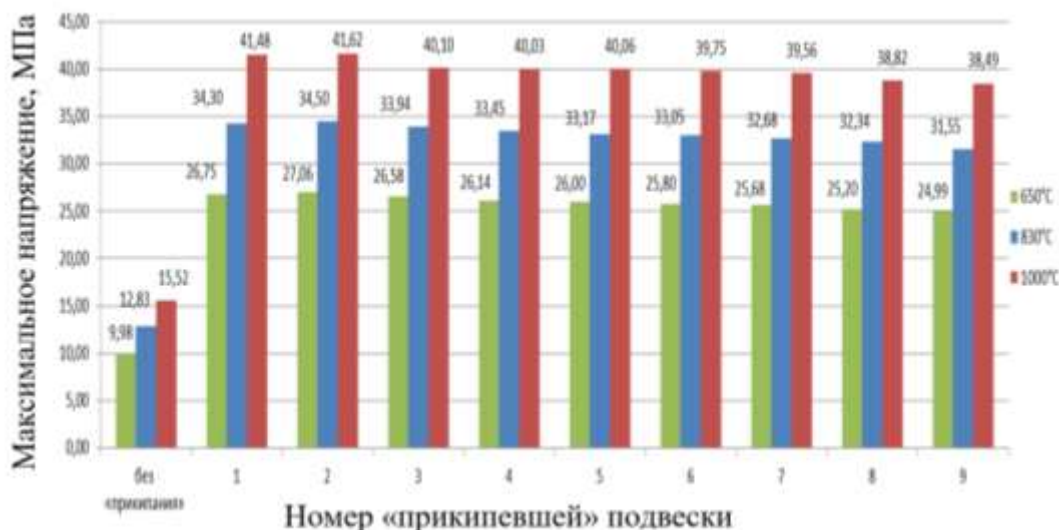


Рисунок 2 – Результаты расчета НДС змеевика при температурах  $t = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  с вариантами поочередного моделирования «прикипания» подвесок к трубе входа углеводородного сырья (труба № 12)

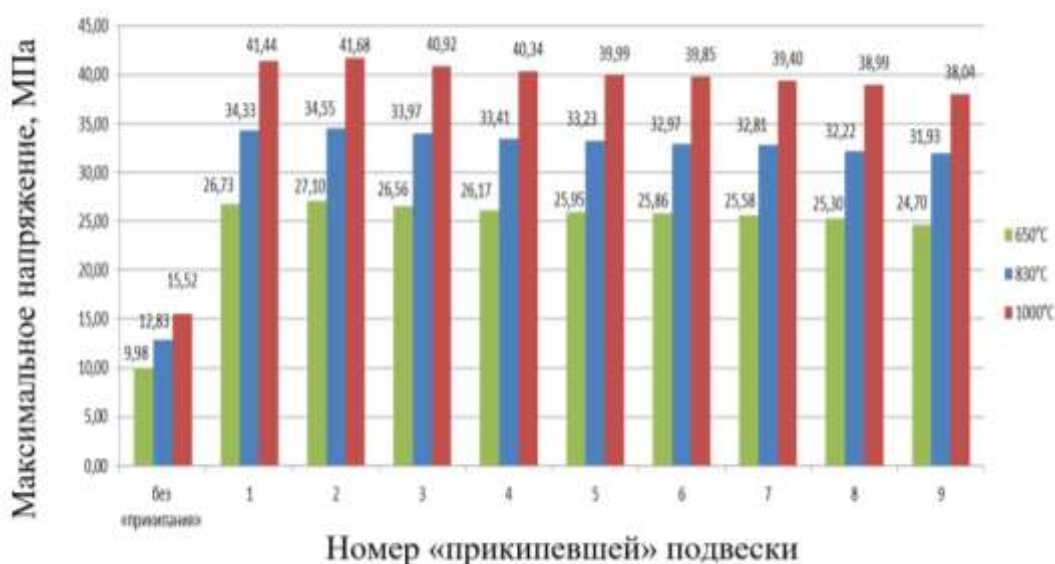


Рисунок 3 – Результаты расчета НДС змеевика при температурах  $t = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  с вариантами поочередного моделирования «прикипания» подвесок к трубе выхода продукта (труба № 1)

Анализируя полученный результат для верхней трубы № 1 при температуре  $t = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$  можно сделать вывод о том, что значения максимальных напряжений наблюдаются при варианте «прикипания» подвески № 2 и составляют 34,55 МПа.

При температуре  $t = 650$  °С без учета «прикипания» подвесок максимальные значения напряжений составляют 9,88 МПа, а с учетом - 27,1 МПа.

При  $t = 1000$  °С без учета «прикипания» подвесок максимальные значения напряжений составляют 15,52 МПа, а с учетом - 41,68 МПа. Причем, значения максимальных напряжений при температурах  $t = 650$  °С,  $t = 830$  °С и  $t = 1000$ °С закономерно максимальны в случае «прикипания» подвески № 2.

Анализируя полученный результат для нижней трубы №12 при  $t = 830$  °С, можно сделать вывод о том, что значения максимальных напряжений наблюдаются при варианте «прикипания» подвески № 2 и составляют 34,5 МПа. При температуре  $t = 650$  °С без учета «прикипания» подвесок максимальные значения напряжений составляют 9,88 МПа, а с учетом - 27,06 МПа.

При  $t = 1000$  °С без учета «прикипания» подвесок максимальные значения напряжений составляют 15,52 МПа, а с учетом - 41,62 МПа. Причем, значения максимальных напряжений при температурах  $t = 650$  °С,  $t = 830$  °С и  $t = 1000$  °С закономерно максимальны в случае «прикипания» подвески № 2.

#### Список использованной литературы

1. Рубцов А.В. Диагностика и оценка технического состояния технологического оборудования, применяемого на опасных производственных объектах / Рубцов А.В., Закирничная М. // учебное пособие УГНТУ, каф. ТМО - Уфа : УГНТУ, 2012. – 57 с.
2. РТМ 26-02-84 Методика расчета на прочность элементов печей, работающих под давлением. Общие требования. Введ 01.01.1984. – 17с.
3. Фаршатов А.Р. Моделирование напряженно-деформированного состояния змеевика печи пиролиза при возникновении поврежденной в процессе эксплуатации.: магистерская диссертация :05.02.13/ А.Р. Фаршатов ; УГНТУ. – Уфа, 2019. – 115с.
4. Кинев, С.А. Обеспечение безопасной эксплуатации змеевика печи для пиролиза углеводородов как сварной конструкции: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.13 / С.А. Кинев ; УГНТУ. – Уфа, 2003. – 23 с.
5. Симарчук, А.С. Совершенствование метода расчета змеевика печи пиролиза с учетом локальных концентраторов напряжений : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.13 / А.С. Симарчук ; УГНТУ. – Уфа, 2004. – 24 с.
6. Чиркова, А.Г. Прочность и ресурс квазимногослойных оболочек, сформированных в процессе эксплуатации нефтегазового оборудования.: дис. д-ра техн. наук : 05.02.13 / Чиркова А.Г. ; УГНТУ. – Уфа, 2019. – 249 с.

# **ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ WC НА СВОЙСТВА ГАЗОПЛАМЕННОГО ПОКРЫТИЯ**

**Плесовских Алексей Юрьевич**

Научный руководитель: Крылова Светлана Евгеньевна, д.т.н., доцент,  
профессор кафедры МТМ АКИ ОГУ  
ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет", г. Оренбург

## **INFLUENCE OF GRANULOMETRIC COMPOSITION AND PERCENTAGE OF WC ON THE PROPERTIES OF THE FLAME COATING**

**Plesovskikh Alexey Yurievich**

Supervisor: Krylova Svetlana Evgenievna, Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor, Professor of the Department of MTM AKI OSU  
FSBEI HE "Orenburg State University", Orenburg

*Аннотация. Приведены данные испытаний износостойких порошковых покрытий систем: Ni-Cr-B-WC и Co-WC, наносимых методами HVOF (высокоскоростное газопламенное напыление) и GDCS (холодное газопламенное напыление). С применением растровой электронной микроскопии (РЭМ), определены особенности структуры и распределение карбидов WC в покрытии. Исследована зависимость механических свойств покрытия от granulometрии порошковой композиции WC в поверхностном слое.*

*Ключевые слова: газопламенное напыление; износостойкое вольфрамсодержащее покрытие; микроструктура; износостойкость поверхности; адгезия; пористость.*

*Annotation. The test data of wear-resistant powder coatings of the systems: Ni-Cr-B-WC and Co-WC applied by HVOF (high-speed flame spraying) and GDCS (cold flame spraying) methods are presented. Using scanning electron microscopy (SEM), the features of the structure and distribution of WC carbides in the coating were determined. The dependence of the mechanical properties of the coating on the granulometry of the WC powder composition in the surface layer has been studied.*

*Keywords: flame spraying; wear-resistant tungsten-containing coating; microstructure; wear resistance of the surface; adhesion; porosity.*

Известно, что уменьшение размера частиц, напыляемых методами HVOF и GDCS, позволяет значительно улучшить послойное заполнение покрытия, за счет формирования более однородной структуры, повышения ее плотности, при одновременном уменьшении объема микропустот. В этой связи, выбор фракционного состава и формы порошковых частиц приобретает особое значение [1-3].

В работах [4,5] указано, что напыляемые порошковые покрытия с содержанием вольфрама способны надежно защитить рабочую поверхность от изнашивания. Вольфрамсодержащие покрытия обладают повышенной контактной прочностью, твердостью, способностью сохранять стойкость и механические свойства при повышенных температурах, вплоть до 700-800 °С, обладают стойкостью к коррозионным средам [6, 7].

Для разработки оптимального состава, обеспечивающего требуемые эксплуатационные свойства поверхности деталей нефтегазодобывающей отрасли, использовался сферический WC различного типа, с фракцией в диапазоне от 15 до 100 мкм, замешанный со связкой двух типов систем: Ni-Cr-B и Co. Исследуемые составы покрытий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых составов покрытий

Обозначение	Химический состав порошка	Способ напыления покрытия	Размер фракции WC, мкм
состав 1	Ni-Cr-B : WC (7:3)	<i>GDCS</i>	60-100
состав 2	Ni-Cr-B : WC (6:4)	<i>GDCS</i>	15-30
состав 3	CO : WC (1:9)	<i>HVOF</i>	15-30

На рисунке 1 представлены результаты металлографических исследований с изучением размерности WC в покрытиях опытных образцов с различным содержанием упрочняющей карбидной фазы.

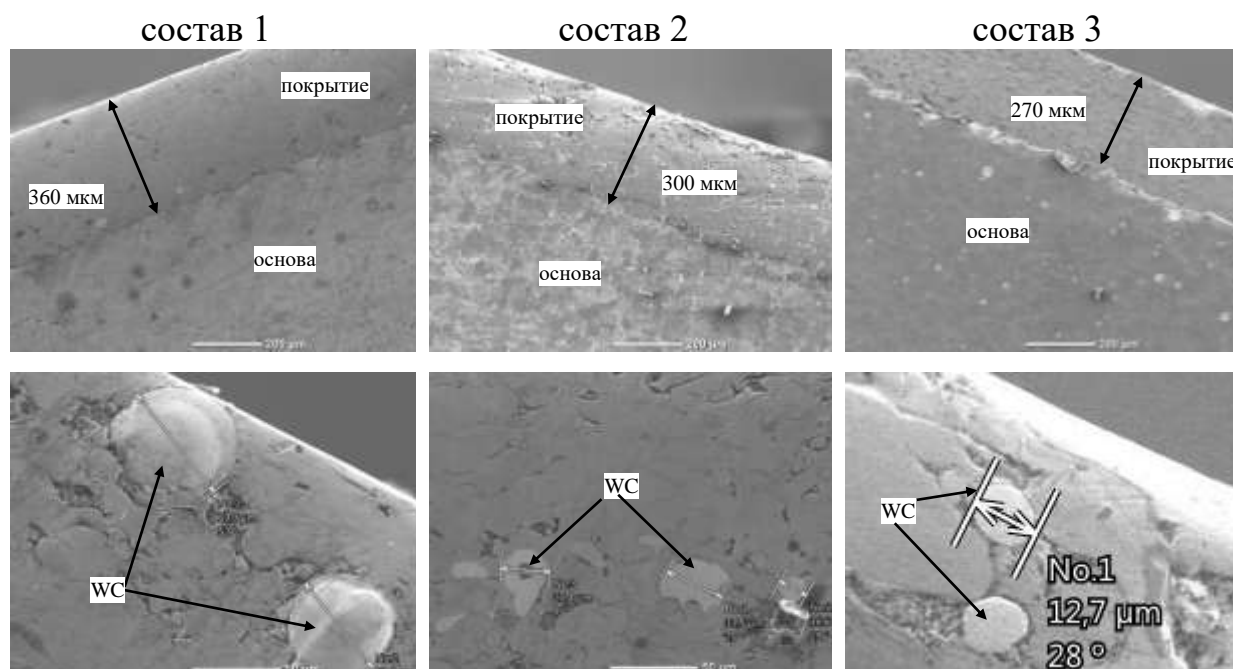


Рисунок 1 – Структура поверхностного слоя покрытия, размерность и форма частиц WC

Карбид вольфрама в покрытии представляет собой сферические гранулы, имеющие идентичный размер исходной порошковой композиции. Это свидетельствует о том, что напыляемые частицы при скоростном соударении с подложкой не подвергаются серьезным механическим напряжениям, вследствие чего их форма и размеры остаются неизменными, они не препятствуют свободному формированию ламелей в вязкой основе, равномерно распределяются в связке, не образуя свободных полостей на границе WC – связка [8].

Результаты измерения пористости покрытия представлены здесь на рисунке 2.



Рисунок 2 – Характер распределения пористости в анализируемых покрытиях

Зафиксированная пористость покрытий различных составов, нанесенных методами HVOF и GDCS, находятся в допустимых пределах до 10%. При этом, можно утверждать, что пористость в пределах 4,38% не является критическим показателем для покрытия, так как с повышением пористости смазка легко распространяется по поверхности покрытия, прочно на ней удерживается и заполняет поры, наблюдается эффект самосмазывания покрытия [9].

Для выявления закономерности между размерностью порошковой композиции, методом напыления и прочностью сцепления покрытия с основой, проводились испытания на адгезионную прочность методом нормального отрыва по ASTM C633-13, на образцах сегментной формы с цилиндрической контактной поверхностью площадью 490,6 мм<sup>2</sup>. Скорость нагружения составляла 0,013 мм/с, температура 22,5°C, влажность 53%. Адгезионная прочность исследуемых составов покрытия соответствовала значениям, представленным в таблице 2.

Согласно полученным результатам, видно, что при уменьшении размерности порошковой композиции и увеличении скорости переноса частиц (со 100 м/с методом GDCS до 1000 м/с HVOF) эквивалентно увеличивается адгезионная прочность покрытия с подложкой.

Для аргументированного предложения разработанного покрытия к эксплуатации необходимо оценить его стойкость к изнашиванию. Образец



испытывали по ASTM G65 со схемой трения «вал-втулка». Частота вращения составляла 750 мин.<sup>-1</sup> в течении 8 минут, в условиях трения без смазочного материала, при применении постоянной нагрузки 130Н.

Таблица 2 – Адгезионная прочность покрытий

	Максимальное усилие разрушения, кН	Адгезионная прочность, МПа
№1	5318	10,9
№2	9775	19,9
№3	35622	72,6

Проанализировав полученные данные, представленные в таблице 3, при уменьшении размерности карбида вольфрама со 100 до 15 мкм увеличивается и общая износостойкость покрытия.

Таблица 3 – Зависимость величины изнашивания от размерности WC

№ состава	Масса образца, грамм		Износ, грамм
	до испытаний	после испытаний	
№1	14,65	14,58	0,07
№2	14,87	14,86	0,01
№3	14,57	14,56	0,01

В результате применения более мелкодисперсных (от 15 до 30 мкм) порошковых композиций WC, получены повышенные показатели износостойкости и адгезии при равных условиях эксперимента. Удалось достичь наиболее плотной упаковки частиц между ламелями, а соответственно, и уменьшить общий показатель пористости до 0,5% в опытном образце. Согласно полученным результатам, можно предположить, что применение комбинированной металлической основы Ni-Cr-W взамен Co, что обеспечивает дополнительную привлекательность разработки с экономической точки зрения.

#### Список использованной литературы

1. C.J. Villalobos-Gutiérrez, G.E. Gedler-Chacón, J.G. Barbera-Sosa, A. Piñeiro, M.H. Staia, J. Lesage, D. Chicot, G. Mesmacque, E.S. Puchi-Cabrera, Fatigue and corrosion fatigue behavior of an AA6063-T6 aluminum alloy coated with a WC10Co-4Cr alloy deposited by HVOF thermal spraying, Surf. Coat. Technol. 202 (2008) 4572–4577.

2. J.A. Picas, M. Punset, M. Teresa Baile, E. Martín, A. Forn, Tribological evaluation of HVOF thermal-spray coatings as a hard chrome replacement, *Surf. Interface Anal.* 43 (2011) 1346–1353.
3. A. Karimi, C. Verdon, J.L. Martin, R.K. Schmid, Slurry erosion behaviour of thermally sprayed WC-M coatings, *Wear* 186 (1995) 480–486.
4. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением / Теория, технология и оборудование.-М.: Металлургия, 1992. - 432 с.
5. Анциферов В. Н., Бобров Г. В., Дружинин Л. К. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. М.: Металлургия, 1987. 792 с.
6. Pierson H. O. *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*. – New Jersey: Noyes Publications, 1996.
7. S. Usmani, S. Sampath, D.L. Houck, D. Lee, Effect of carbide grain size on the sliding and abrasive wear behavior of thermally sprayed WC-Co coatings, *Tribol. Trans.* 40 (1997) 470–478.
8. Плесовских, А. Ю. Импортозамещающая технология изготовления деталей нефтегазодобывающей отрасли с нанесением износостойких покрытий на основе вольфрама / А. Ю. Плесовских, С. Е. Крылова, С. П. Оплеснин // Вестник современных технологий. – 2019. – № 2(14). – С. 9-14. – EDN WJOBJF.
9. Properties of gas-thermal coatings [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.avcd.ru/svoystva-gazotermicheskikh-pokryitii.html> - (Acquisition date: 05.04.2022).

## **РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**Пивоваров Валерий Юрьевич**

Научный руководитель: Кузеев Искандер Рустемович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технологические машины и оборудование»  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

## **DEVELOPMENT OF APPROACHES FOR REMOTE ASSESSMENT OF THE DAMAGE DEGREE TO OIL AND GAS INDUSTRY OBJECTS**

**Pivovarov Valery Yurievich**

Scientific director: Kuzeev Iskander Rustemovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Technological Machines and Equipment»  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University»*

*Аннотация. Диагностика оборудования и конструкций объектов нефтегазовой отрасли может быть затруднена ввиду недоступности диагностируемого участка, что понижает точность оценки ресурса. В работе предлагается подход, направленный на возможность отдаленной оценки степени поврежденности, основанный на исследовании изменения электромагнитных параметров поверхностных слоев металла оборудования.*

*Ключевые слова: диагностика, отдаленная регистрация информации, электромагнитные свойства, степень поврежденности.*

*Abstract. Diagnostics of equipment and structures of oil and gas industry facilities can be difficult due to the inaccessibility of the diagnosed area, which reduces the accuracy of resource estimation. The paper proposes an approach aimed at the possibility of a remote assessment of the degree of damage, based on the study of changes in the electromagnetic parameters of the surface layers of the equipment metal.*

*Key words: diagnostics, remote recording of information, electromagnetic properties, degree of damage.*

В настоящее время для оценки ресурса оборудования опасных производственных объектов используется ряд методов неразрушающего контроля, а также расчетно-экспериментальных методов, базирующихся на эмпирических уравнениях [1]. Однако, точность оценки ресурса некоторых объектов, таких как подземные трубопроводы, скважинное оборудование и подобное ему, может быть неоднозначной по причине отсутствия прямого доступа для осуществления диагностики неразрушающими методами контроля.

Возможность дистанционной оценки повреждений в данной работе основывается на применении электромагнитных методов неразрушающего контроля, позволяющие прецизионно оценить поверхностные свойства металла.

В работе [2] представлена гипотеза о существовании дробно-размерного слоя между объемом и поверхностью металла, имеющего фрактальную (дробную) размерность  $D = 2...3$ . Согласно данной гипотезе, информацию о состоянии материала в любой его части можно получить благодаря особым свойствам указанного слоя. На данный факт также указывает работа [3], в которой было установлено, что сверхтонкие слои упругих материалов способны накапливать информацию о всех эксплуатационных воздействиях. При этом авторы отмечают достаточность нескольких точечных измерений для оценки состояния всего объема объекта.

Для проверки взаимосвязи разных участков одного и того же материала, была исследована напряженность магнитного поля прибором ИКН-2М-8 на специальных образцах из стали 09Г2С с боковым «хвостом» (рисунок 1), имитирующие сложную геометрическую конфигурацию реального оборудования и конструкций. На образцах был выполнен искусственный

концентратор напряжений (сечение А-А) для однозначного определения потенциальной зоны разрушения.

Образцы были подвержены одноосному статическому растяжению при различных скоростях деформирования. По мере растяжения, регистрировались магнитные характеристики на разных участках «хвоста» с определенным шагом до полного разрушения. Измерения осуществлялись в идентичных условиях для обеспечения большей достоверности результатов, так как магнитные методы контроля чувствительны к внешним магнитным полям.

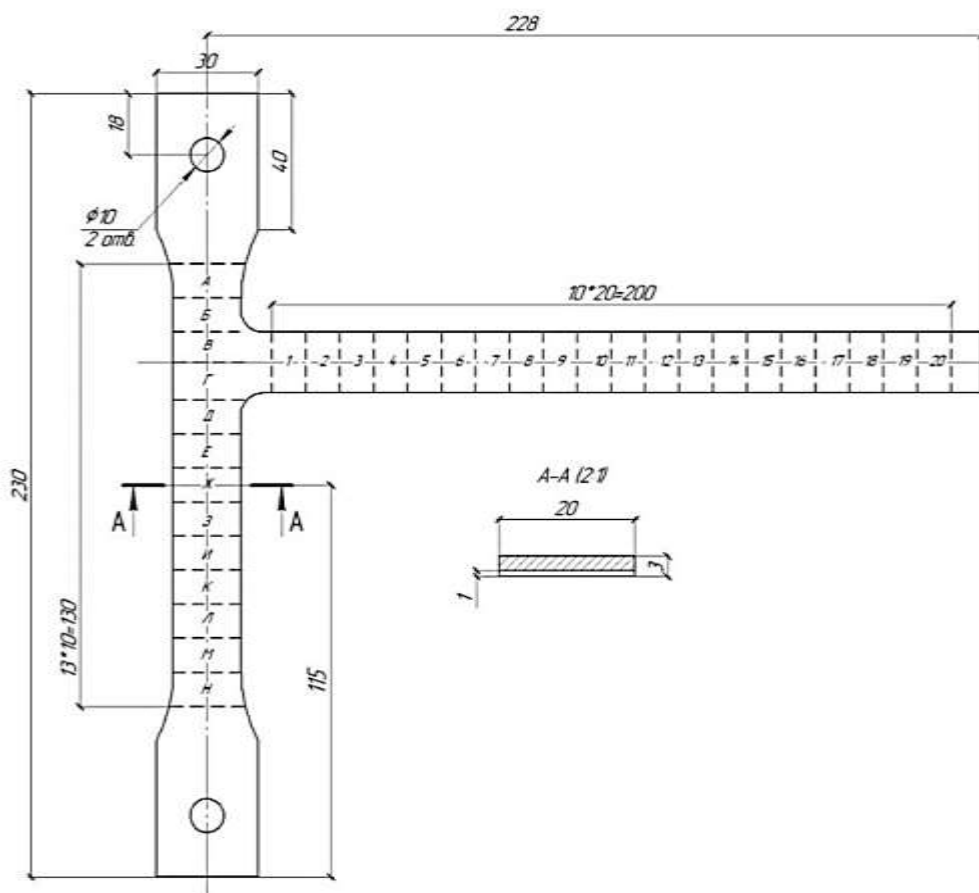


Рисунок 1 – Чертеж образца с боковым «хвостом» и схема расположения точек измерений

Проведенные исследования показали корреляцию напряженности магнитного поля в «хвостовой» части образцов с нагрузкой при растяжении (рисунок 2).

Для нагруженной части системы изменение магнитных характеристик можно объяснить магнитоупругим эффектом Виллари – изменением намагниченности под действием механических деформаций. Для хвостовой части такое объяснение не может иметь место, что было показано при моделировании деформирования образца методом конечных элементов в программном комплексе Ansys. Расчеты показали почти полное отсутствие

эквивалентных напряжений в «хвостовой» части образца, а как следствие и деформаций (рисунок 3).

Изменение исследуемых магнитных характеристик в «хвостовой» части образца может быть следствием изменения намагниченности всего образца, которая в свою очередь зависит от вектора магнитного момента  $P_m$  и объема тела  $V$  [4]. Как и объем тела, хотя он изменяется незначительно в процессе растяжения, так и вектор магнитного момента (перестройка доменной структуры, например) может стать причиной изменения магнитного состояния всего образца.

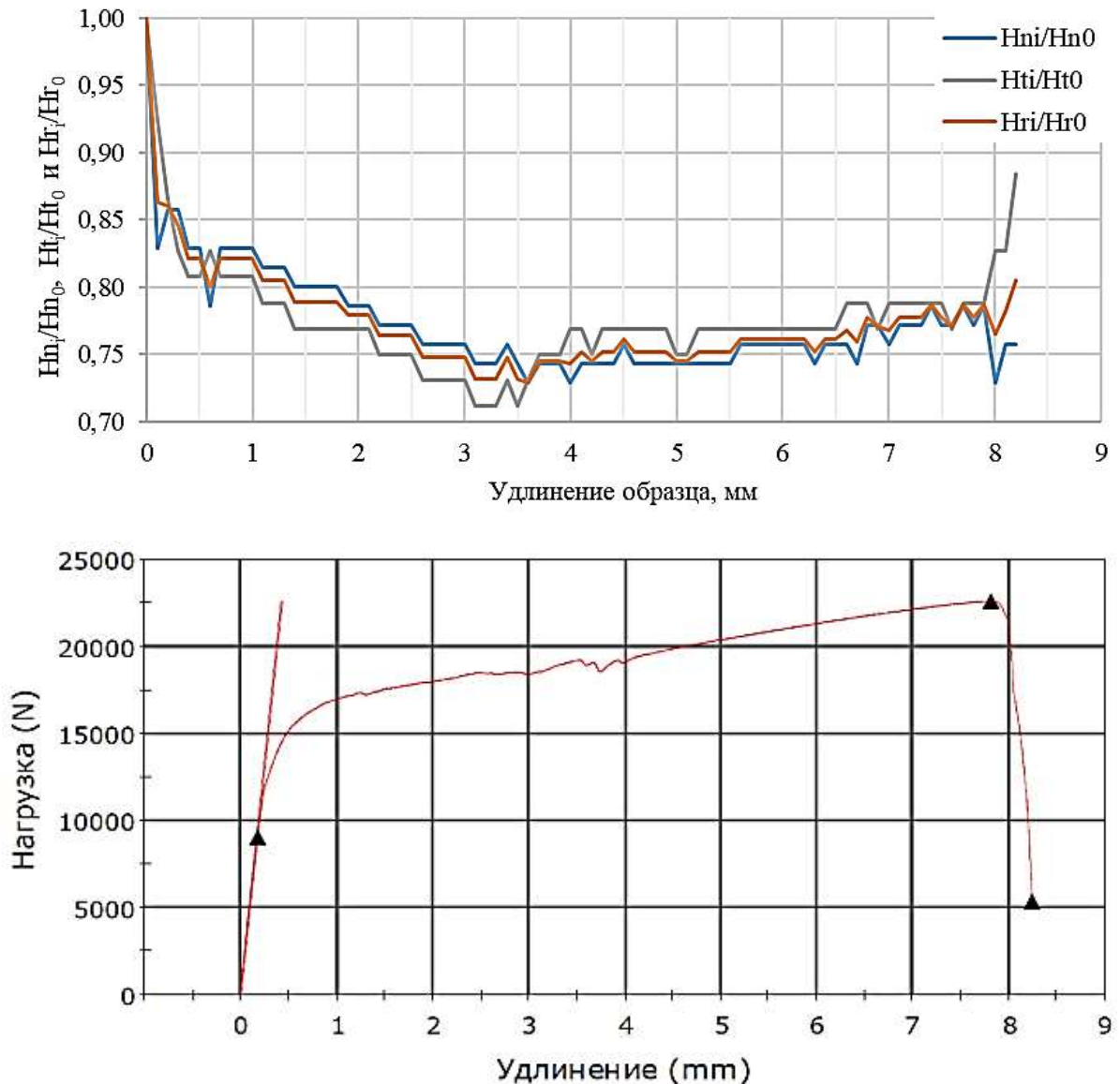


Рисунок 2 – Зависимость относительных составляющих напряженности магнитного поля, ее относительной результирующей в точке 7 от удлинения образца и его диаграмма растяжения

Однако, учитывая тот факт, что «хвост» не испытывает никаких физических воздействий, а изменения магнитных характеристик на нем регистрируются, следовательно, между ним и напряженно-деформированными участками существует взаимосвязь, т.е. происходит передача информации. Полученный результат позволяет говорить о возможности создания подхода, позволяющего отдаленно оценить степень поврежденности конструкционного материала.

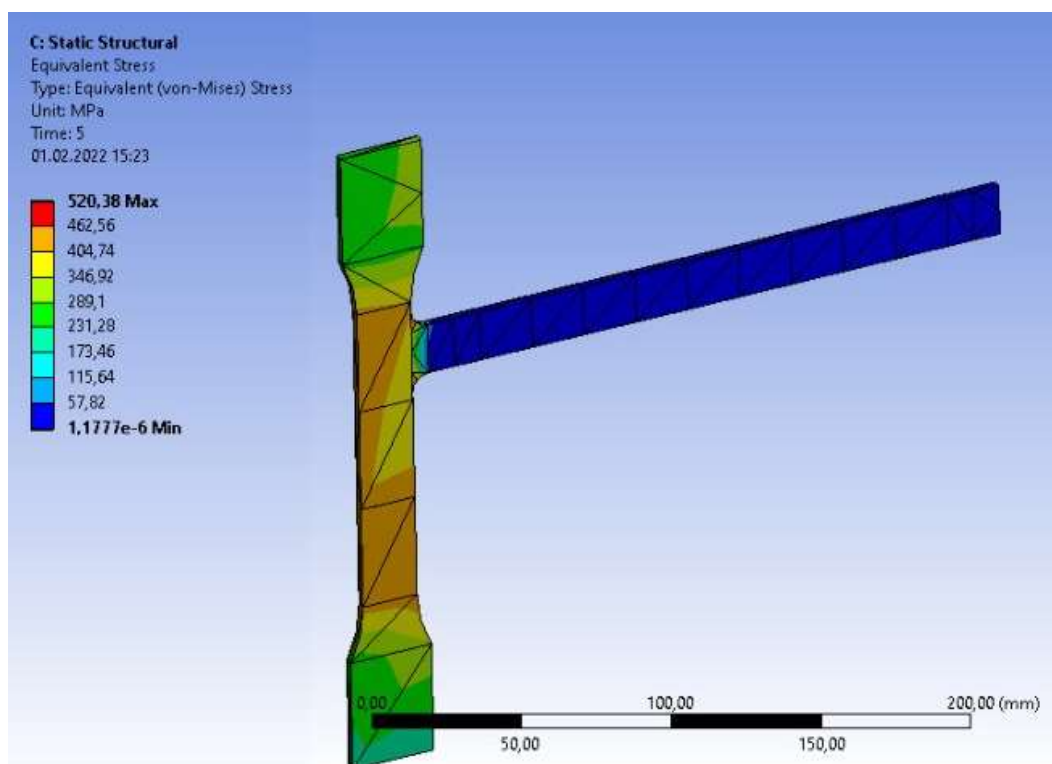


Рисунок 3 – Карта эквивалентных напряжений на исследуемом образце

#### Список использованной литературы

- 1 Махутов Н.А. Комплексный анализ механических свойств материала для обоснования ресурса и безопасности продуктопроводов / Н.А. Махутов, В.Н. Пермяков, Л.Р. Ботвина, Л.А. Кравцова // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2006. – № 3. – С. 65-76.
- 2 Кузеев И.Р. Поверхность и поверхностные явления / И.Р. Кузеев, Е.А. Наумкин, Ю.Н. Савичева, С.В. Попова // Уфа: «Нефтегазовое дело». – 2008. – 144 с.
- 3 Филин В.М. Диагностика механических систем / В.М. Филин, С.В. Гордеев // Авиация и космонавтика. – 1990. – № 3. – С. 46-47.
- 4 Осташев В.Б. Часть IV. Электромагнетизм: Магнетизм. Электромагнитная индукция: Конспект лекций // СПбГТИ(ТУ). – 2019. – 80 с.

# **ПРОЦЕСС МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА ИЗ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ С ЗАДААННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

**Пояркова Елизавета Никитична, Поярков Никита Владимирович**

Научный руководитель: Чирков Юрий Александрович, д.т.н.,  
профессор кафедры ММКМ ОГУ

Оренбургский государственный университет, Оренбург

## **THE SIMULATION PROCESS OF AN OBJECT MADE OF A MATERIAL WITH A SHAPE MEMORY EFFECT WITH SPECIFIED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES**

**Poyarkova Elizaveta Nikitichna, Poyarkov Nikita Vladimirovich**

Scientific adviser: Chirkov Yury Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of MMCM OSU

Orenburg State University, Orenburg

*Аннотация. Описана конструкция компенсатора, применяемого на промысловых трубопроводах. Предложен прототип объекта из материала с эффектом памяти формы, применимого для эксплуатации промысловых трубопроводов путем моделирования его физико-механических свойств. Выполнен сравнительный анализ деформаций и напряжений конструкции на примере альтернативных материалов (сталь 08X18H10T и армированная резина).*

*Ключевые слова: промысловый трубопровод, компенсатор, материал с эффектом памяти формы, физико-механические свойства, предел прочности.*

*Abstract. The design of the compensator used on field pipelines is described. A prototype of an object made of a material with a shape memory effect, applicable for the operation of field pipelines by modeling its physical and mechanical properties, is proposed. A comparative analysis of deformations and stresses of the structure was carried out on the example of alternative materials (steel 08Kh18N10T and reinforced rubber).*

*Keywords: field pipeline, compensator, shape memory material, physical and mechanical properties, tensile strength.*

Трубопровод представляет собой сложную конструкцию с множеством отдельных элементов. В основном трубопровод состоит из труб, кранов, запорной и регулирующей арматуры, компрессорных и распределительных станций, опор, соединительных механизмов, защитных кожухов, фланцев, отводов, заглушек, затворов и компенсатором.

При проведении данного исследования особое внимание было уделено компенсаторам, так как на текущий момент этот тип оборудования, представляющий высокую важность и ответственность, делается по традиционным технологиям без учета современных исследований.

Компенсаторами считаются устройства, воспринимающие и компенсирующие напряжения, перемещения и деформации, а также вибрации и смещения. Применение компенсаторов аргументируется их способностью стабилизировать или устранить воздействие факторов, возникающих в результате воздействия другого оборудования или окружающей среды.

Типичный компенсатор состоит из одного или нескольких металлических сильфонов или из таких материалов, как резина, ткань или пластик. Металлы и сплавы являются наиболее универсальными, подходят для использования при высоких температурах, обладают высокими прочностными свойствами и устойчивы к коррозии. Применение материалов с памятью формы для изготовления компенсаторов позволит сделать оборудование более долговечным и простым в эксплуатации.

В данной работе был смоделирован проект компенсатора, изготовленного из материала с эффектом памяти формы. Были рассмотрены несколько вариантов материалов с памятью формы, а также проведен сравнительный анализ с другими типами материалов.

В качестве материала элемента модели первоначально был использован сплав – никелид титана, содержащий 50,75 (ат.) % Ni и 49,25 (ат.) % Ti, близкий по составу к эквиатомному никелиду титана. Данный материал удовлетворяет следующим требованиям: низкое значение характеристической температуры начала прямого мартенситного перехода, высокий предел текучести при комнатной температуре, высокое значение эффекта памяти формы и пластичности прямого превращения в интервале возможных температур.

Первым шагом была построена муфта из никелида титана. Далее, в соответствии с ГОСТ 33259-2015 для данной муфты был подобран и смоделирован фланец с подходящими характеристиками. Фланец подбирается исходя из номинального давления на трубопроводе. Для моделирования был выбран фланец стальной плоский приварной. Материал исполнения 08X18N10T (сталь коррозионноустойчивая жаропрочная).

Далее была создана модель сборки муфты из материала с эффектом памяти формы и фланцев стальных плоских приварных.

Для точности исполнения конструкции была смоделирована схема сборки компенсатора с элементом из материала с памятью формы на трубопроводе с номинальным диаметром 100 мм в соответствии с ГОСТ Р 51571-2000 и ГОСТ 9940-81 (рисунок 1).



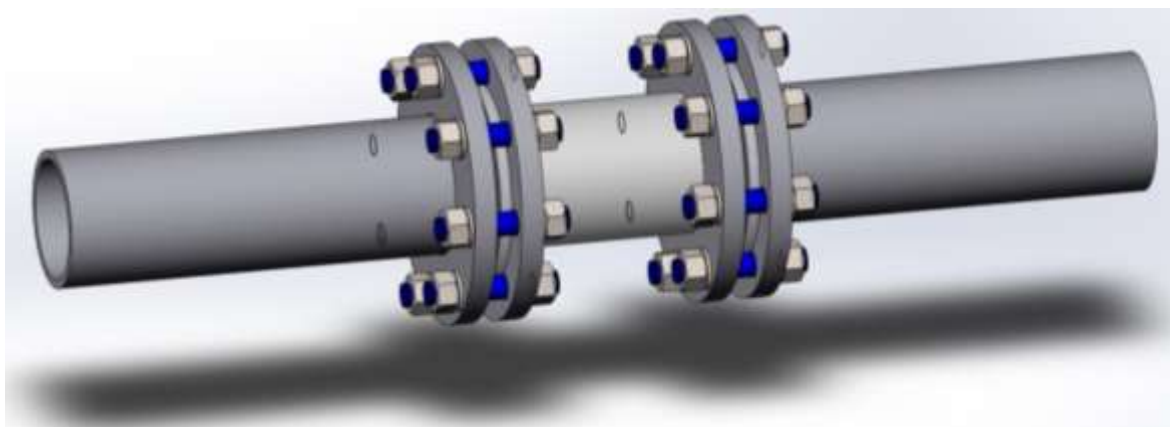


Рисунок 1 – Сборка компенсатора и трубопровод

Для расчета модели на нагрузки и деформации методом конечных элементов в качестве исходных данных были приняты следующие параметры:

1. Расчётная температура 20°C.
2. Материал фланцев компенсатора – 08X18H10T сталь коррозионностойкая жаропрочная, материал муфты (вставки) – никелид титана.

Следующим этапом построения расчетной модели является задание закреплений, внешних нагрузок и создание сетки модели.

На рисунке 2 представлена эпюра напряжений, возникающих в конструкции. Данная эпюра напряжений показывает, что максимальные эквивалентные напряжения не превышают расчетных.

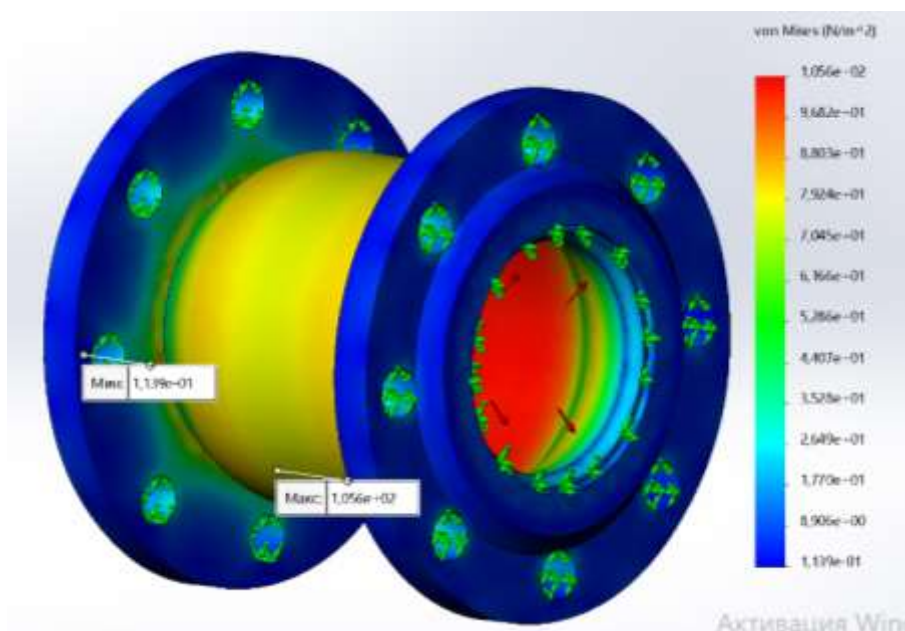


Рисунок 2 – Эпюра эквивалентных напряжений

Далее показана эпюра (рисунок 3), которая имеет значения эквивалентных напряжений выше, чем в случае нагружения только

внутренним давлением, но также находится в диапазоне допустимых напряжений. Деформации, полученные в результате нагружения, являются минимальными и не оказывают практически никакого влияния на конструкцию.

Для проведения сравнительного анализа и адекватности выводов было проведено несколько аналогичных расчетов модели компенсаторов, с заменой материала муфты (вставки), изначально смоделированной из никелида титана. В качестве материалов для сравнения была выбрана сталь 08X18H10T, соответствующая материалу фланцев, и резина, используемая в виброкомпенсаторах. Следует отметить, что резина не подходит для работы с агрессивными средами, так как элементы, изготовленные из резины подвержены разрушению в ходе эксплуатации спустя короткие сроки и требуют частой замены, что значительно повышает эксплуатационную стоимость обслуживания оборудования.

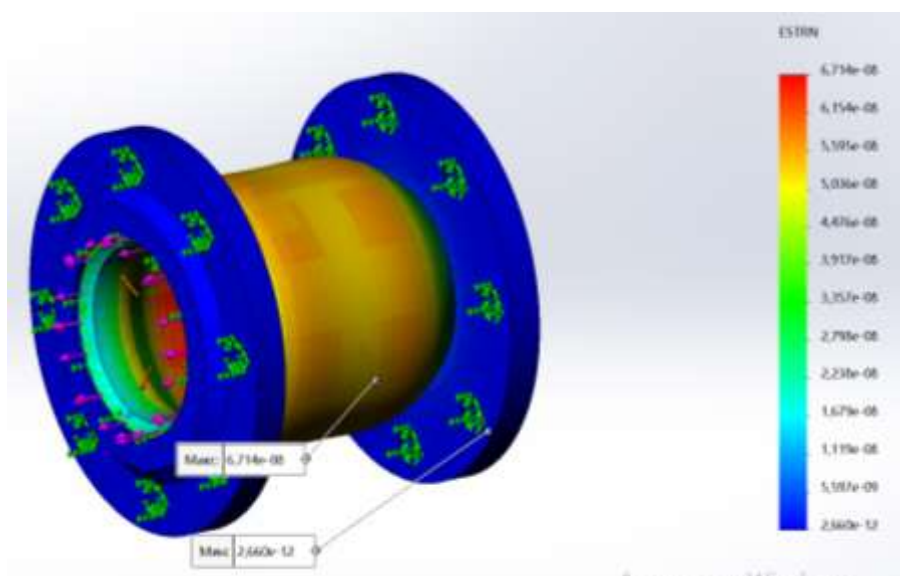


Рисунок 3 – Эпюра статических деформаций

Далее на рисунках 4 и 5 отражены полученные эпюры эквивалентных напряжений и деформаций для этих случаев.

Уровень напряжения возникающий по телу муфты из 08X18H10T находится в допустимом диапазоне, но значительно уступает характеристикам, полученным в результате моделирования муфты (вставки) из никелида титана. Напряжения не превышают предела текучести материала, что в свою очередь обеспечивает целостность конструкции.

Напряжения, возникающие в муфте, изготовленной из резины, также находятся в допустимом диапазоне для данной схемы нагружения. Но в силу особенностей характеристик материала, не подходит для применения для агрессивных сред в отличие от никелида титана. Кроме того, вставки из

резины требуют дополнительных расчетов на тепловые нагрузки и имеют некоторые особенности при эксплуатации.

Следующим этапом моделирования является обработка полученных результатов. Для точности полученных выводов также, помимо подбора различных материалов были проведены расчеты при различных условиях нагружения. Полученные результаты в графическом виде представлены ниже. Следует отметить, что нагрузки от собственного веса учитываются автоматически в соответствии с плотностью материала.

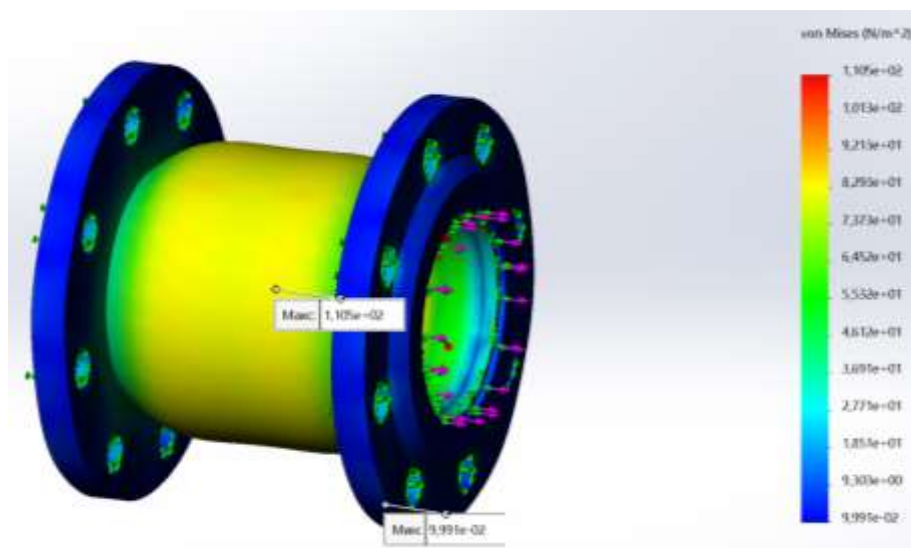


Рисунок 4 – Эпюра эквивалентных напряжений (муфта из 08X18H10T)

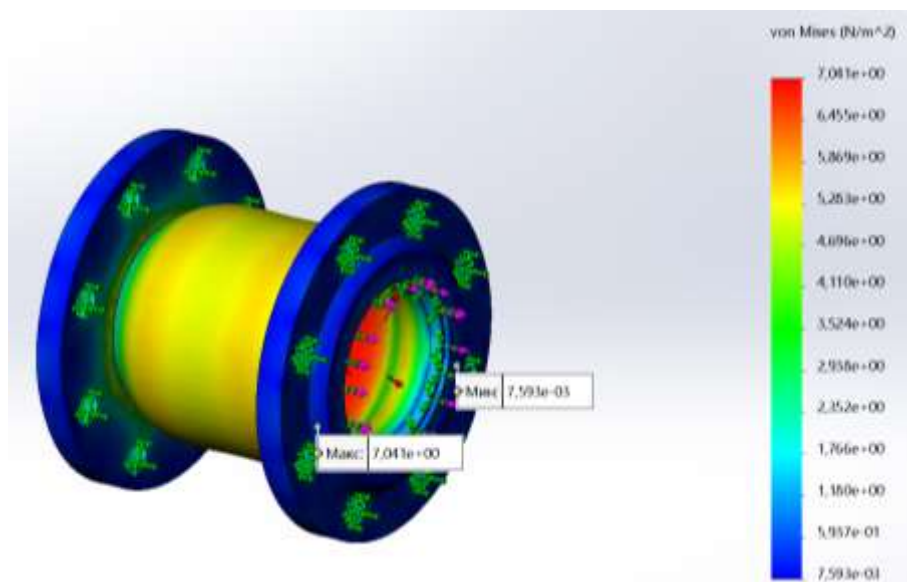


Рисунок 5 – Эпюра эквивалентных напряжений (муфта из резины)

По сравнительным гистограммам (рисунок 6) можно отметить, что лучшими показателями, касательно возникающих в конструкции напряжений, обладает никелид титана. Кроме того, предел прочности стали 08X18H10T

составляет 275МПа, в то время как предел прочности никелида титана с заданными физико-механическими свойствами составляет 600МПа, то есть превышает предел прочности стали более чем в 2 раза.

Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод о том, что при дополнительном нагружении компенсатора растягивающими и сжимающими усилиями, напряжения, возникающие в образце, изготовленном из резины по своим показателям сильно приближаются к показателям муфты (вставки) из 08Х18Н10Т, что еще раз подчеркивает нецелесообразность их использования для конкретной прикладной задачи. При внутреннем давлении системы в 15Мпа, являющимся рабочим режимом, никелид титана также показывает лучшие свойства. Нагружение 25МПа в качестве предельных для данного типа конструкций также не оказывает значительного влияния на показатели этого материала.

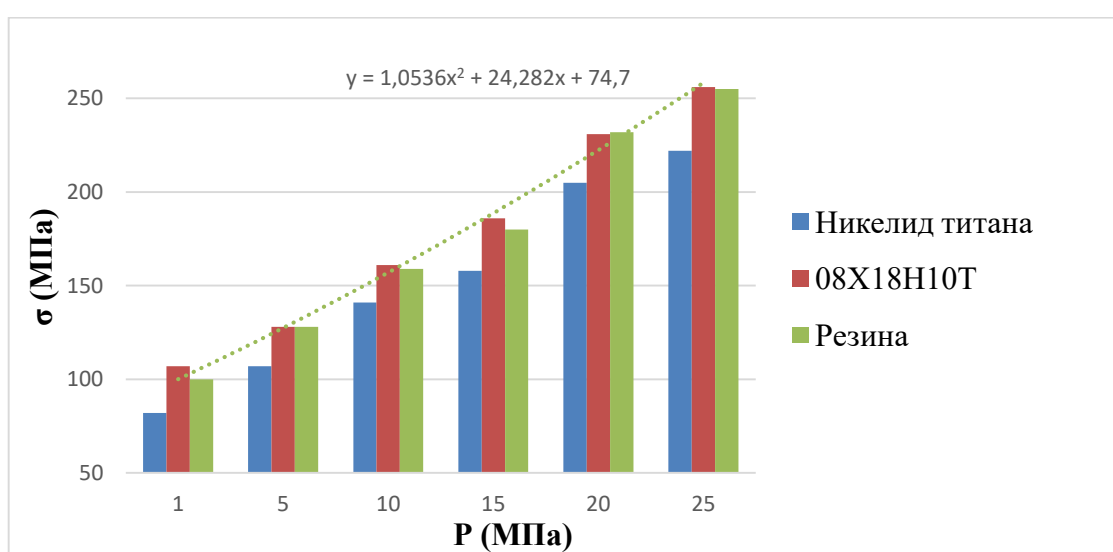


Рисунок 6 – Зависимости эквивалентных напряжений от внутреннего давления системы при нагружении растягивающими и сжимающими усилиями (сравнение характеристик никелида титана, стали 08Х18Н10Т, резины)

Таким образом, на этапе обработки результатов моделирования конструкции, изготовленной из материала с памятью формы с заданными физико-механическими характеристиками, можно сделать вывод о том, что материал с эффектом памяти формы (никелид титана в данном случае) имеет высокую несущую способность с учетом комплексного влияния всех действующих факторов, и данная модель компенсатора обеспечит герметичность соединения для выполнения своих функций.

#### Список использованной литературы

1. Агине́й Р.В. и др. Возможности применения инновационных материалов с памятью формы в нефтяной промышленности //Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – №. 1. – С. 39-47.

2. Александрович М. А. и др. Краевые задачи механики для сплавов с памятью формы // Ученые записки Казанского университета. Серия Физико-математические науки. – 2015. – Т. 157. – №. 3.
3. Беляев С. П. и др. Влияние предварительной деформации на функциональные свойства биметаллического композита «TiNi сталь» // Вестник российских университетов. Математика. – 2010. – Т. 15. – №. 3-2.
4. Бледнова Ж.М., Степаненко М.А. Роль сплавов с эффектом памяти формы в современном машиностроении // Ж.М. Бледнова, М.А. Степаненко. – Краснодар: Кубанский гос. Технологический ун-т. – 2012.
5. Коллеров М. Ю. и др. Функциональные материалы с эффектом памяти формы. – 2015.
6. Лихачев В. А., Кузьмин С. Л., Каменцева З. П. Эффект памяти формы. – ЛГУ, 1987. – С. 216.
7. Мишустин И. В., Мовчан А. А. Моделирование фазовых и структурных превращений в сплавах с памятью формы, происходящих под действием немонотонно меняющихся напряжений // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2014. – № 1. – С. 37-53.
8. Ноздрин М.А., Зарубин З.В. Исследование напряженно-деформированного состояния в материалах с памятью формы // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2006. – №. 3.
9. Хусаинов М.А., Бондарев А.Б., Петров Н.В., Андреев В.А., Летенков О.В. Методика исследования физико-механических свойств сплавов Ti-Ni с эффектом памяти формы // Вестник НовГУ. 2010. №60.

# **Секция «Компьютерный инжиниринг в цифровом проектировании и производстве»**

**К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ  
АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ И РАСЧЕТА  
ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Иванов Дмитрий Александрович**

Научный руководитель: Фролова О.А., канд. техн. наук, доцент, доцент  
кафедры механики материалов конструкций и машин Оренбургского  
государственного университета  
*ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет", г. Оренбург*

**TO THE QUESTION OF THE CHOICE OF MODERN AUTOMATION  
TOOLS FOR MODELING PRODUCTS AND CALCULATION OF  
ENGINEERING STRUCTURES**

**Ivanov Dmitriy Aleksandrovich**

Supervisor: Frolova Olesya Alexandrovna, Candidate of technical sciences,  
Associate Professor, Associate Professor of the Materials, Structures and Machines  
Department of Orenburg State University  
*FSBEI HE "Orenburg State University", Orenburg*

*Аннотация. Проведен анализ существующих систем для инженерного проектирования, рассмотрены преимущества и недостатки по возможностям работы, а также ценовой доступности, выполнены их сравнения.*

*Ключевые слова: моделирование, расчетные программы, характеристики инженерных систем.*

*Annotation. The analysis of existing systems for engineering design was carried out, the advantages and disadvantages in terms of work capabilities, as well as affordability, were considered, and their comparisons were made.*

*Keywords: modeling, calculation programs, characteristics of engineering systems.*

При проектировании и расчете конструкций широко используются различные российские и зарубежные компьютерные программы и комплексы (ANSYS, T-FLEX, Autodesk Inventor, SolidWorks, Компас-3D, WinMachine и др.). САД-системы (Computer-Aided Design) являются средствами автоматизированного проектирования и предназначены для автоматизации проектирования, создания конструкторской и технологической документации. САЕ-системы (computer-aided engineering) являются средствами автоматизации инженерных расчётов, анализа и моделирования физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий [1]. Кроме того, в настоящее время основной технологией проектирования становится информационное моделирование BIM (Building Information Modeling или Building Information Model),

представляющее собой комплексный подход к проектированию и управлению жизненным циклом объекта.

В современных условиях работа с плоскими изображениями и объемными моделями, ведение технической документации преимущественно производится на компьютере. Как известно, проектирование – это процесс поиска оптимального решения, который на разных этапах требует внесения тех или иных изменений в расчетную модель, а использование средств автоматического проектирования значительно упрощает эту задачу, сокращая при этом время работы.

В машиностроении нашли широкое применение такие популярные программы, как Autodesk Inventor, SolidWorks, Компас-3D. Эти популярные программы помогают создавать модели элементов, изделий и конструкций, визуализировать концепции путем создания реалистичных изображений, выполнять различные расчеты при различных воздействиях, моделировать условия нагружения и динамику эксплуатации объектов и конструкций в реальных условиях, составлять рабочую документацию и исследовать проектные идеи [2].

Однако, хотелось бы понять, какая из современных компьютерных программ имеет наибольшее количество преимуществ?

ANSYS представляет собой программный продукт, который является универсальным расчетным программным комплексом, основанным на методе конечных элементов, и позволяющим решать различные задачи: конструкционные, тепловые, гидрогазодинамические, электромагнитные, а также междисциплинарные.

Из всех преимуществ программы Autodesk Inventor следует выделить следующие:

- прогрессивное управление 3D моделированием;
- возможность переноса чертежей из других систем, без особых изменений;
- возможность взаимного объединения с другими продуктами Autodesk;
- поддержание российских стандартов при проектировании;
- многочисленные стандартные и часто используемые библиотеки;
- способность задания параметров сборки.

Наибольшие отличительные возможности программы SolidWorks следующие:

- интуитивный интерфейс, который достаточно хорошо продуман;
- большое количество надстроек параметров;
- направленность на конструкторско-технологическое производство.

Платформа Компас-3D является отечественной разработкой и предпочтительна во многих организациях по программе импортозамещения.

К основным достоинствам относятся:

- удобный и интуитивный интерфейс, даже для начинающего пользователя;
- работа на платформе собственной сборки;



- использование ГОСТов и ЕСКД;
- лояльный подход к продаже продукта, что дает возможность экономить затраты на приобретение программы.

Кроме всего, хотелось бы обратить внимание на еще одну немаловажную характеристику любой программы – ее стоимость. Пользование студентами этих программ обуславливается несколькими аспектами. Либо это будет не лицензионная версия, использование которой наказуемо в РФ, либо лицензионное издание, которое стоит некоторых денег, а каких конкретно – попробуем разобраться. Если учитывать, что данные комплексы систем используются большими промышленными предприятиями, то можно предположить, что и лицензии на эти комплексы не дешевые, а значит, непостижимы для обычного студента.

Стоит отметить, что бесплатные 30-ти дневные пробные версии есть у всех программ, но хватит ли этого месяца, чтобы, например, выполнить проектирование для курсового проекта? У отечественной компании Аскон на этот счет есть предложение в виде Компас-3D Home с доступной годовой подпиской, стоимость которой не превышает полутора тысяч рублей. «КОМПАС-3D Home поможет вам с ремонтом в доме или квартире. Подсчитайте количество плитки или обоев, спроектируйте водопровод, чтобы установить фильтры для воды или посудомоечную и стиральную машинку. Моделируйте и создавайте своими руками оригинальную мебель. Вы сможете создать как трехмерную модель для понимания формы объекта, так и чертежи для ее воплощения. Вы сможете построить чертеж дома, а с помощью технологии MinD получить его объемную модель» - так пишут на сайте разработчика.

Ценовая категория на лицензии программ-конкурентов уже достаточно высока и под силу только большим предприятиям, а «домашних» лайт версий нет.

Сложно сказать, какая из программ имеет большее количество преимуществ. Вместе с тем, выбор систем программирования требует серьезного рассмотрения и обоснования [4]. Проведенный анализ показал, что при выборе программного продукта для моделирования изделий и расчета инженерных конструкций необходимо избирательно подходить к данному вопросу и вариативно выбирать подходящую программу для решения поставленной задачи, а иногда и использовать возможность их объединения для более полного создания проекта или сравнительного анализа результатов моделирования и расчета, учитывая доступность той или иной программы лично для каждого. Хотелось бы заметить, что лицензионные версии могут быть доступными для студентов на базе университета, в котором студенты обучаются, но все же если говорить о домашней эксплуатации, то несомненно лидером является отечественный Компас-3D.

## Список использованной литературы

1 Фролова, О.А. Применение САПР при моделировании, расчете и анализе конструкций / О.А. Фролова. – Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы II международной научно-практической конференции: изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып.2. – Т.II. – С. 160–163.

2 Абдрахимова, Р.И. Применение программных комплексов в расчетах элементов конструкций. Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии / Р.И. Абдрахимова, О.А. Фролова. – Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С. 399–401. ISBN 978-5-44177-0299-7.

3 Компас-3D: Номе о программе // Аскон URL: <https://kompas.ru/kompas-3d-home/buy/>. (дата обращения: 15.05.2022)

4. Екимова М.Ю., Шарлай Д.В., Белухин В.С. Обоснование выбора средств разработки специализированного программного обеспечения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-vybora-sredstv-razrabotki-spetsializirovannogo-programmnogo-obespecheniya> (дата обращения: 13.06.2022).

## **ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

**Фёдоров Максим Владимирович**

Научный руководитель: Решетов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин.  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»*

## **OVERVIEW OF SOFTWARE TOOLS AND METHODS USED IN THE DESIGN OF SPINDLE ASSEMBLIES OF METAL-CUTTING MACHINE TOOLS**

**Fedorov Maxim Vladimirovich**

Supervisor: Reshetov Sergey Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State University»*

*Аннотация. В исследовании проводилось построение модели конструкции шпиндельного узла металлорежущего станка путём*

*разработки новых конструкторских решений, комбинации и усовершенствования имеющихся, с помощью использования современных САЕ-систем. Предварительно был осуществлен обзор существующих и наиболее применяемых программных средств проектирования, моделирования, и расчёта. Как результат, с применением этих средств будет разработана новая конструкция, служащая целям качественного улучшения имеющегося станочного парка и модульному проектированию нового. Разработка будет осуществляться с применением современных средств компьютерного моделирования, используемых для качественного и сравнительного анализа конструктивных, разработанных и существующих шпиндельных валов.*

*Annotation. In the study, a design model of the spindle assembly of a metal-cutting machine was built by developing new design solutions, combining and improving existing ones, using modern CAE systems. A preliminary review of the existing and most used software tools for design, modeling, and calculation was carried out. As a result, with the use of these tools, a new design will be developed, serving the goals of qualitative improvement of the existing machine park and modular design of the new one. The development will be carried out using modern computer modeling tools used for qualitative and comparative analysis of constructive, developed and existing spindle shafts.*

Разработка любой конструкции не возможна без применения средств проектирования имеет смысла без дальнейшей проверки спроектированной конструкции на устойчивость к влиянию внешних и внутренних нагрузений возникающих в процессе эксплуатации. Для чего в наше время используется широкий диапазон программных средств САПР.

Понятие САПР – средства автоматизированного проектирования – общее понятие описывающее группу комплексов, реализующих все этапы программного проектирования. Предметно их принято подразделять на

- а. САД (Computer-aided design) системы;
- б. САЕ (Computer-aided engineering) системы;
- в. САМ (Computer-aided manufacturing) системы.

Что есть САД? Computer Aided Design – совокупность программных средств, используемых для разработки технологической и конструкторской документации, создания чертежей и трёхмерных моделей. Наиболее распространённые программы в данной категории на территории бывшего СНГ, это AutoCAD и Autodesk Inventor, компании Autodesk; SolidWorks от Dassault Systemes и КОМПАС-3D фирмы АСКОН.

AutoCAD – одна из самых часто применяемых САД-систем в мире. Её функционал даёт возможность выполнять проектирование как в двумерной, так и трехмерной среде. Данная программа позволяет проводить построение 3D-модели, разработку и оформление чертежей. Популярность AutoCAD обуславливается ещё и тем, что, не смотря на формальную приверженность

программы к САД-системам, в ней можно выполнять проекты как строительного, так и машиностроительного характера.

Основными особенностями данной системы, как САПР, AutoCAD являются следующие характеристики:

а. Программа является стандартом, для всех САПР, так как её функционал обеспечивает большинство нужд, встающих перед работниками инженерных и строительных специальностей;

б. Широкий диапазон функциональных возможностей, индивидуальной настройки и предметной адаптации к выполняемым задачам;

в. Помимо собственных возможностей, программа предоставляет инструменты интегрирования приложений, разработанных на соответствующих языках программирования. Одним из таких языков, как наиболее применяемый, является AutoLISP и с применением совокупность инструментов и функций в виде интерфейса для создания новых приложений, благодаря которому одна программа будет взаимодействовать с другой (Application Programming Interface);

г. Простота и широкий диапазон средств интегрирования обеспечил наличие большого количества разрабатываемых программ как от внутренних отделов, так и сторонних разработчиков компаний-партнёров.

Для упрощения работы специалистам различных областей кампанией Autodesk, были созданы узко специализированные прикладные программные продукты-вариации AutoCAD - AutoCAD Architecture, Autocad Map, Autocad Plant, Autocad Raster Design 3D, AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical.

Одним из таких программных продуктов – Autodesk Inventor.

**Autodesk Inventor** – это профессиональный комплекс для трехмерного проектирования промышленных изделий и выпуска документации. Среди особенностей Inventor стоит отметить актуальные инструменты 3-D моделирования, и технологию прямого редактирования. Пользователю даётся возможность гибко сочетать твердотельное и поверхностное моделирование, а также создавать модели в формате сетки с звеном ячейки в виде треугольника. При этом ему доступны различные методы создания и редактирования трехмерных объектов:

а. Традиционный параметрический метод, в основе которого лежит дерево построения, группировкой отдельных 3-d элементов, включая построения по сечениям, а также на наборах параметров и зависимостей;

б. Свободное «скульптурное» моделирование на основе технологии Т-сплайнов;

в. Прямая манипуляция частей модели (границы, ребра, вершины и элементы), способствующие последующему моделированию в случае необходимости развития и доработки моделей, разработанных не в программных средствах компании Autodesk.

г. Поддержку прямого импорта геометрии из других САПР с сохранением ассоциативной связи (технология AnyCAD). Это не учитывая в том числе и близкое взаимодействие с собственными программами фирмы Autodesk:

упомянутый ранее AutoCAD, профессиональное программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации и визуализации 3ds Max, программа для промышленного дизайна Alias, комплекс для автоматизированного проектирования, реализующий принцип информационного моделирования зданий Revit, пакет 3D-дизайна Navisworks и другими, что позволяет использовать Inventor для решения задач в разных областях, включая дизайн, архитектурно-строительное проектирование и пр.

Существенным плюсом является поддержка отечественных стандартов при проведении расчетов, моделировании и оформлении документации, чему способствует применение обширных библиотек стандартных и часто используемых элементов и наличие большого числа специалистов проектирования типовых узлов и конструкций (болтовые соединения, зубчатые и ременные передачи, проектирование валов и колес и многое другое) и параметризации деталей и сборок, в том числе управления составом изделия.

Для эффективного управления процессом разработки изделий, управления инженерными данными и организации коллективной работы над проектами, Autodesk Inventor может быть интегрирован с PLM-системой Autodesk Vault и схожими системами других разработчиков [1]. Популярной альтернативой, хоть и с несколько меньшим функционалом является SolidWorks от Dassault Systemes.

**SolidWorks** – это программный комплекс, реализующий для автоматизации конструкторских работ промышленного предприятия. Это стандартный отраслевой выбор, предлагающий специализированное программное обеспечение с более легкой кривой обучения.

Черты системы, выгодно отличающие ее от других CAD-систем:

- а. Продуманный интерфейс пользователя, ставший образцом для подражания
- б. Обилие надстроек для решения узкоспециализированных задач
- в. Ориентация как на конструкторскую, так и на технологическую подготовку производства
- г. Библиотеки стандартных элементов
- д. Распознавание и параметризация импортированной геометрии
- е. Интеграция с системой SolidWorks PDM [2].

Недостатком этого программного обеспечения является иногда встречающееся некорректное автоматическое проставление размеров, что легко исправляется пользователем вручную. Данной неприятной особенностью лишен программный комплекс Kompas-3D.

**Komпас-3D** – это система параметрического моделирования деталей и сборок, используемая в областях машиностроения, приборостроения и строительства. Российская система трехмерного проектирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий и сотни тысяч профессиональных пользователей.

Компас-3D широко используется для проектирования изделий основного и вспомогательного производств в таких отраслях промышленности, как машиностроение (транспортное, сельскохозяйственное, энергетическое, нефтегазовое, химическое и т.д.), приборостроение, авиастроение, судостроение, станкостроение, вагоностроение, металлургия, промышленное и гражданское строительство, товары народного потребления и т. д.

Преимущества системы Компас-3D:

- а. Простой и понятный интерфейс
- б. Использование трехмерного ядра собственной разработки (С3D)
- в. Полная поддержка ГОСТ и ЕСКД при проектировании и оформлении документации
- г. Большой набор надстроек для проектирования отдельных разделов проекта
- д. Гибкий подход к оснащению рабочих мест проектировщиков, что позволяет сэкономить при покупке
- е. Возможность интеграции с системой автоматизированного проектирования технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ и другими системами единого комплекса [3].

Недостатки:

- а. Могут возникать проблемы при загрузке 3D моделей из других программ;
- б. Проектирование в 3D сложнее для новичка, чем 2D, требуется полноценное освоение моделирования;
- в. Не очень хорошая возможность визуализации объектов;
- г. Система поверхностного моделирования имеет недостатки в оформлении.

CAE системы — класс продуктов для компьютерной поддержки расчетов и инженерного анализа. Появление возможности создавать твердотельную модель требовала детального ее описания, прогнозирование эксплуатационных нагрузок, включая воздействие температуры, сопротивления среды. Ведущими представителями данной сферы являются Ansys, Nastran, APM WinMachine.

**ANSYS** - универсальная программная система конечно-элементного анализа. С 70-х годов прошлого века является ведущим одним из мировых лидеров в области компьютерного инжиниринга (CAE, Computer-Aided Engineering) и конечно-элементного решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций (включая нестационарные нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Программная система ANSYS используется на таких всемирно известных предприятиях, как Daimler-Chrysler, Exxon, FIAT, Ford, General Electric, Meyer Werft, Siemens, Shell, Volkswagen-Audi и др., а также применяется на многих ведущих

предприятиях промышленности РФ [4][5]. Не менее применяемым программным средством является программа Nastran.

**Nastran** (официально марка принадлежит NASA (Cosmic)). Эту марку имеют такие наиболее распространенные пакеты: MSC/Nastran (компания MacNeal-Schwendler Corporation) и UAI/Nastran (компания Universal Analytics). Менее распространены NE/Nastran (компания Noran Engineering) и ME/Nastran (компания MacroIndustries). В России официальным распространением и поддержкой пакета UAI/Nastran занимается фирма TESIS, а поддержкой пакета MSC/Nastran – российское представительство компании MacNeal-Schwendler Corporation. Несмотря на значительно более низкую цену, реальные возможности пакетов фирм UAI, MSC, NE ни в чем не уступают пакету Ansys, а иногда и превосходят в развитии и возможностях.

При всех своих преимуществах программные комплексы Nastran, проигрывают системе ANSYS меньшим количеством доступных компьютерных платформ и операционных систем. Что можно представить преимуществом, для чего указывается, что применяемые Nastran FEMAP-оболочки, применяемые системами Windows 95/98/NT. Ключевым плюсом данной системы, являются не самые высокие системные требования [6] [7].

На ниве САЕ-систем проявили себя и российские разработчики. Компания НТЦ АПМ, в сотрудничестве с Аскон, создала систему автоматизированного проектирования **APM WinMachine**, способную конкурировать с вышеописанными программными комплексами.

Данный программный продукт, создан на базе актуальных методов инженерного проектирования, подразумевающая применение численных методов различных областей механики, математики и моделирования. Удобство и интуитивность эксплуатации данной системы отражает прикладные особенности, сформированные большим числом опытных специалистов скомбинированные с возможностями компьютерной техники, и технологии. Это дает возможность весомого увеличения характеристик производительности труда КБ, что открывает шанс для предприятия снизить требования к квалификации сотрудников, работающих с системой, не неся при этом никакого ущерба.

В основе системы APM WinMachine лежит модульный принцип. Это открывает возможности индивидуальной работы каждого конкретного комплекса, реализуя удобство создания индивидуального набора инструментов, необходимого пользователю.

Адаптация и доработка поставляемых программ под требования заказчика, обучение работе с поставляемым программным обеспечением, а также постоянная техническая поддержка пользователей и предоставление им специализированных материалов по работе с системой позволяют вывести процесс взаимодействия «разработчик — пользователь» на качественно новый уровень.

Возможности интеграции со сторонними программными продуктами (через обменные форматы) позволяют использовать для получения расчетных

моделей ранее созданную графическую информацию, что существенно сокращает временные затраты в процессе проектирования.

Возможности инструментального обеспечения позволяют решать обширный круг прикладных задач, среди которых проектирование механического оборудования, его элементов, для чего применяются инженерные методики, позволяющие автоматически генерировать чертежи с детализацией и трёхмерные модели стандартизированных изделий.

APM WinMachine даёт возможность осуществлять анализ напряженно-деформированного состояния (с использованием метода конечных элементов) трехмерных объектов любой сложности при произвольном закреплении, статическом или динамическом нагружении [8].

В наше время на рынок предоставляет широкий спектр систем автоматизированного проектирования с различными системами с различным функционалом и ценой. Выбор подходящей САПР среди многих – непростая задача [9]. При принятии решения необходимо ориентироваться на потребности предприятия, задачи, которые стоят перед пользователями, стоимость приобретения и содержания системы и многие другие факторы.

#### Список использованной литературы

1. Климачева Т. Н. 2D черчение в AutoCAD 2007-2010. Самоучитель. - М.: ДМК Пресс, 2009. – 560 с.: ил.
2. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский и др. - М.: БХВ-Петербург, 2016. – 800 с.
3. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. - М.: Либроком, 2013. – 272с.
4. Самсонов, В. В. Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D / В.В. Самсонов, Г.А. Красильникова. - М.: Academia, 2016. – 224с.
5. Расчет несущих систем станков в САЕ – системе Ansys: учебное пособие / А.Н. Поляков, С. В. Каменев, К. С. Романенко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 190 с.
6. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. М.: ДМК Пресс, 2013. – 784 с.
7. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. М.: ДМК Пресс, 2003. – 448 с.
8. APM WinMachine. Система автоматизированного расчета и проектирования машин, механизмов и конструкций. Краткое описание продукта. –М.: НТЦ АПМ, 2000. – 58 с.
9. Берлинер, Э. М. САПР конструктора машиностроителя. Учебник / Э.М. Берлинер, О.В. Таратынов. - М.: Инфра-М, Форум, 2015. – 288 с.
10. Екимова М.Ю., Шарлай Д.В., Белухин В.С. Обоснование выбора средств разработки специализированного программного обеспечения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. №3. URL:



<https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-vybora-sredstv-razrabotki-spetsializirovannogo-programmnogo-obespecheniya> (дата обращения: 14.06.2022).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНООСНОЙ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ С ТЕПЛОАГРУЖАТЕЛЕМ**

**Шулаев Иван Дмитриевич**

Научный руководитель: Чирков Юрий Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры механики материалов, конструкций и машин

*Оренбургский государственный университет*

## **STUDY OF THE OPERATION OF A SINGLE-AXLE EXPLOSIVE MACHINE WITH A HEAT LOAD**

**Shulaev Ivan Dmitrievich**

Supervisor: Chirkov Yury Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines

*Orenburg State University*

*Аннотация. Статья посвящена описанию работы технологического оборудования, представляющая собой экспериментальную разработку в виде разрывной машины с теплоагрегатом вертикальной компоновки.*

*Целью исследования - описание и выявление достоинств и недостатков в работе основного узла машины, которая преобразует тепловую деформацию в разрывающее осевое усилие.*

*Использовались общенаучные методы анализа, наблюдения, сравнения. Результат работы заключается в определении потерь разрывающего усилия в стыках деталей машины.*

*Практическая значимость заключается в возможности применения в качестве учебного стенда и стартового оборудования малобюджетных технологических предприятий.*

*Ключевые слова: разрывная машина, разрывная машины с теплоагрегатом, теплоагрегат.*

*Abstract. The article is devoted to the description of the operation of technological equipment, which is an experimental development in the form of a tensile testing machine with a vertical heat loader.*

*The purpose of the study is to describe and identify the advantages and disadvantages in the operation of the main unit of the machine, which converts thermal deformation into a tearing axial force.*

*General scientific methods of analysis, observation, comparison were used. The result of the work is to determine the loss of breaking force in the joints of machine parts.*

*The practical significance lies in the possibility of using low-budget technological enterprises as a training stand and starting equipment.*

*Keywords: stretching machine, heat load stretching machine, thermal load*

Машиностроение является основной технической системой, способствующей экономическому развитию страны. В настоящее время вопросы инновационно-технологического развития машиностроения в Российской Федерации занимают основные позиции [1].

В России в последние годы изобретается около 300 технологий машиностроения ежегодно [2, 3].

Работа зарубежных и отечественных фирм в сфере испытаний выполняется с учетом требований стандарта ASTM E8/E8M-16a и ГОСТ 28840-90. Важнейшим направлением развитием испытательной техники является автоматизация процессов испытаний. В современных испытательных машинах используются электрические датчики, преобразователи, вычислительные блоки и измерительная аппаратура.

В большинстве случаев, металлические детали и конструкции работают при статических нагрузках. На сегодняшний день наиболее распространены статические испытания, где образец подвергается нагрузкам с применением разных схем напряженного состояния.

Разработанная экспериментальная установка с теплонагружателем [4] рассчитана для проведения длительных испытаний на растяжение до разрушения и определения физико-механических свойств металлов при комнатной температуре и воздействии коррозионных сред [5, 6].

В качестве теплонагружателя выступает полая труба, изготовленная из коррозионно-стойкой стали с коэффициентом линейного расширения  $\alpha$  от  $16,6 \cdot 10^6$  до  $17,4 \cdot 10^6$  град<sup>-1</sup>.

Удлинение трубы происходит за счет теплового удара воспроизводимым нагревом электрического тэна, встроенного по длине внутри трубы – теплонагружателя. На верхней части трубы установлен упорный фланец, на нижней части две гайки, которые позволяют теплонагружателю свободно удлиняться в вертикальном направлении оси Z, тем самым образуя «зазоры» между упорным фланцем и рамой (рисунок 1).

По мере удлинения, система тросов и блоков проворачивает гайки до упора, выбирая «зазор» между упорным фланцем и рамой по оси Z. После выбора зазора, нагретая труба – теплонагружатель жестко закреплена между упорным фланцем и винтом, при охлаждении создает разрывающую нагрузку, передающейся через винт к закрепленному образцу в диапазоне скоростей от  $10^{-4}$  до  $10^{-8}$  м/с<sup>2</sup>.

В ходе серии исследований конструкции и работы разрывной машины с теплонагружателем при испытании цилиндрических образцов диаметром

6 мм, были выявлены недостатки. Во время нагрева и охлаждения наблюдался эффект скачкообразного изменения нагрузки, регистрируемой динамометрическим устройством закреплённым на одном из концов подвижного захвата (рисунок 2).

В начале первого цикла нагрева установки, системой тросов, блоков и грузов для выбирания зазоров гайкой образец уже предварительно нагружен силой диапазоне 1640 Н – 1690 Н. После нагрева трубы в течение 30 минут, происходит процесс ее охлаждения, где нагрузка увеличивается с 1690 Н до 11440 Н. Процесс испытания образца происходит за несколько циклов нагрева и охлаждения теплонагрузителя (рисунок 2). Общие потери нагрузки на образец в переходе между циклами нагрев – охлаждение трубы составили от 9% до 11 %. Потери между циклами охлаждение – нагрев от 15 % – 20 %.

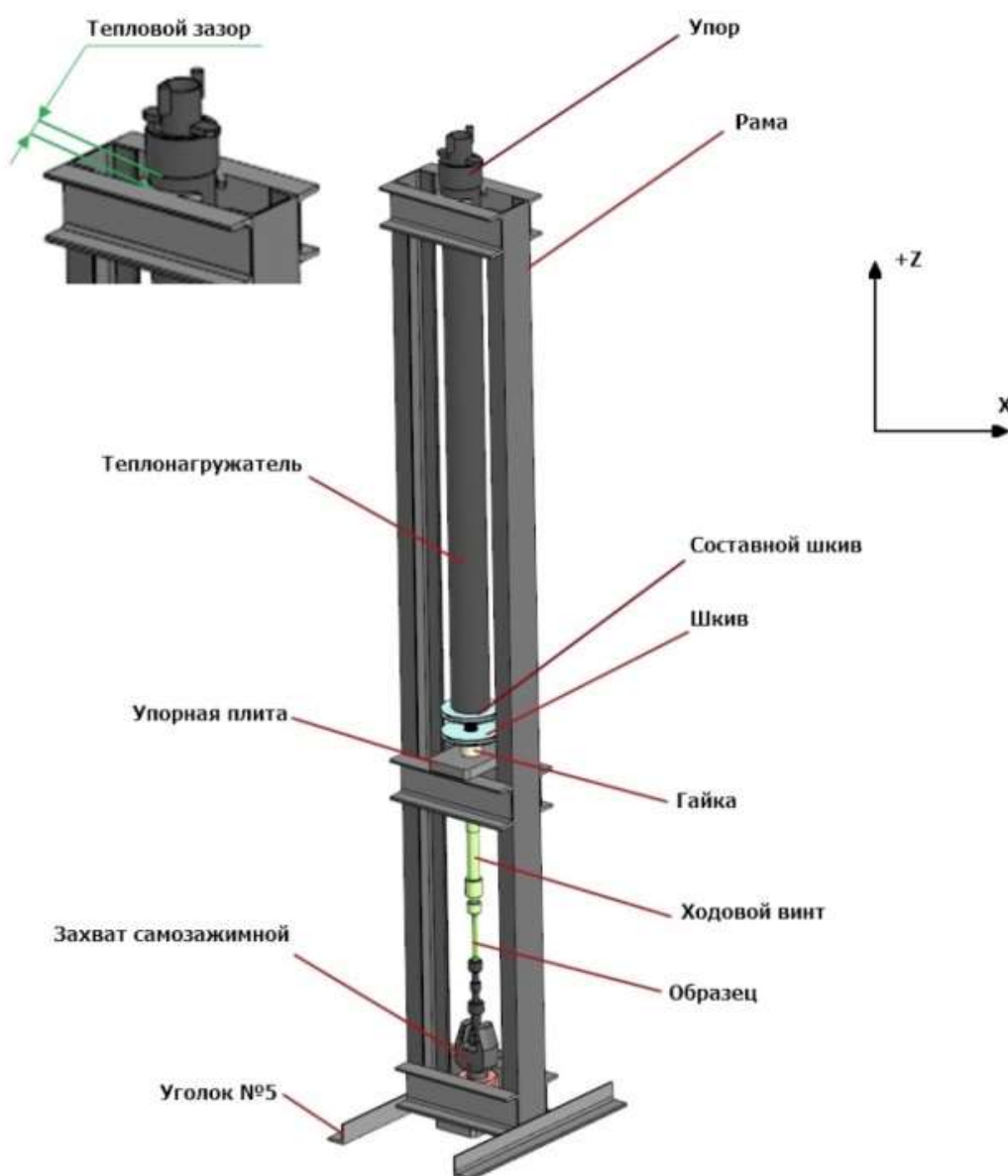


Рисунок 1 - Общий вид установки (разрывная машина с теплонагрузителем)

По итогу работы установки с теплонагружателем образец подвергается пластическими деформациям, вызывающие местное упрочнение металла и повышше его твердость и прочность. Часть разрывающего усилия рассеивается на деформации в несущую раму, резьбовые соединения и опоры гаек.

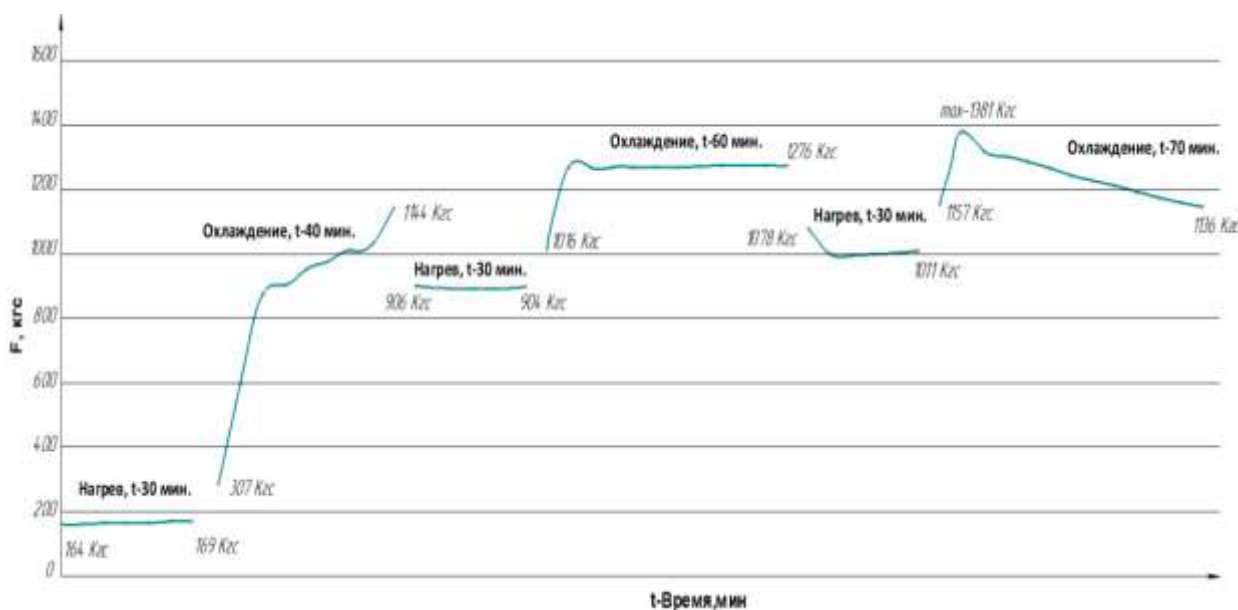


Рисунок 2 – График изменения разрывающей силы при растяжении образца

В ходе исследования установки были выявлены следующие существенные недостатки в конструкции испытательной установки с термонагружателем:

- малая величина жесткости, влияющая на определение механических свойств материала при растяжении образца;
- отсутствие устройства, обеспечивающего соосность между захватами, при отсутствии которого возникают напряжения от изгибающего момента на образец;
- непостоянная скорость деформаций от нагружения и изменение растягивающей силы на образец.

Полученные данные в ходе исследования позволят решить выше описанные проблемы путем глубокой модернизации и полным техническим оснащением в соответствии с требованиями актуальных стандартов.

Достаточно простая компоновка и дешевизна изготовления машины может найти свое применение в качестве стартового оборудования на машиностроительных предприятиях, строительном производстве, научных институтах, что позволит определять физико-механических свойства металлических и не металлических материалов производить входной контроль качества продукции на предприятии при длительных испытаниях материалов.

## Список использованных источников

1. Борисов В.Н., Почукаева О.В. Инновационное развитие машиностроения // Проблемы прогнозирования. 2013. № 1 (136). С. 38–51. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20406076> (дата обращения: 10.05.2022).
2. Индикаторы инновационной деятельности: 2018: стат. сб. / Н.В. Городникова, Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский и др.; Нац. исслед. ун-т И60 «Высшая школа экономики». Москва: НИУ ВШЭ, 2018. 344 с. URL: <https://www.hse.ru/primarydata/ii2018> (дата обращения: 15.05.2022)
3. Индикаторы инновационной деятельности: 2019: стат. сб. / Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, И.А. Кузнецова [и др.]; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». Москва: НИУ ВШЭ, 2019. 376 с. URL: <https://www.hse.ru/primarydata/ii2019> (дата обращения: 15.05.2022)
4. Установка для испытаний материалов на растяжение: пат. 2091743 Рос. Федерация. № 93058031/28, / Чирков А.Н., Кушнарченко В.М., Чирков Ю.А., Огорелкова Н.И., Узяков Р.Н.; заявл. 30.12.1993 ; опубл. 27.09.1997
5. ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84) Методы испытаний на растяжение. Металлы. – Введ. 1986–01–01. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 26 с.
6. ГОСТ 28840–90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. – Введ. 1993–01–01. – Москва : Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.
7. Левин Е.В., Окунев А.Ю. Исследование точности измерения температуры на основе анализа энергетического баланса на приемнике излучения ИК-прибора // Измерительная техника. 2015. № 5. – С. 48-52.
8. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 176 с.

## ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТРУБЫ ТЕПЛОАГРУЖАТЕЛЯ

**Шулаев Иван Дмитриевич**

Научный руководитель: Чирков Юрий Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры механики материалов, конструкций и машин

*Оренбургский государственный университет*

## THERMOGRAPHIC EXAMINATION OF THE PIPE HEAT LOAD

**Shulaev Ivan Dmitrievich**

Supervisor: Chirkov Yury Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines

*Orenburg State University*

*Аннотация:* В статье рассматривается термографическое сканирование трубы теплонагружателя, который входит в сборку установки для испытаний материалов на растяжение. Представлены результат сканирования в виде инфракрасного и видимого изображения трубы теплонагружателя. Исследование реализуется с помощью специального программного комплекса в котором можно редактировать параметры термограммы и извлекать информацию о точках на поверхности измеренной детали.

*Ключевые слова:* теплонагружатель, тепловизор, термографическое сканирование, дефекты, термограмма, тепловизионное изображение

*Abstract.* The article deals with thermographic scanning of the heat loader pipe, which is included in the assembly of the installation for testing materials for tension. The scan result is presented in the form of an infrared and visible image of the heat loader pipe. The study is implemented using a special software package in which you can edit the thermogram parameters and extract information about points on the surface of the measured part.

*Keywords:* thermal load, thermal imager, thermographic scanning, defects, thermogram, thermal image

Процесс термографического обследования – один из направлений неразрушающего контроля, цель которого заключается в обследовании внешней стенки трубы теплонагружателя для определения областей неравномерного прогрева.

Термографическое сканирование осуществляется специальным прибором – тепловизор. Современные тепловизоры регистрируют инфокрасное излучения объекта по малым точкам лежащих на видимой поверхности. По точкам поверхности строиться инфракрасное изображение с определенным разрешением. В текущее время тепловизоры способны формировать термографическое изображение высокого разрешения (более 640x480) [3].

На данный момент элементная база инфракрасной техники уже фактически приближается к предельно возможным характеристикам [4]. Методики термографического контроля различных объектов можно разделить на два класса [2].

Пассивный метод заключается в измерении теплового потока от поверхности объекта исследования без использования дополнительного термического воздействия на него.

Активный метод применяется в случае наличия теплового равновесия между объектом исследования и окружающей средой.

Термографическое обследование трубы теплонагружателя проводилось в условиях комнатной среды. Был задан ряд параметров вводимых в устройство телевизора:

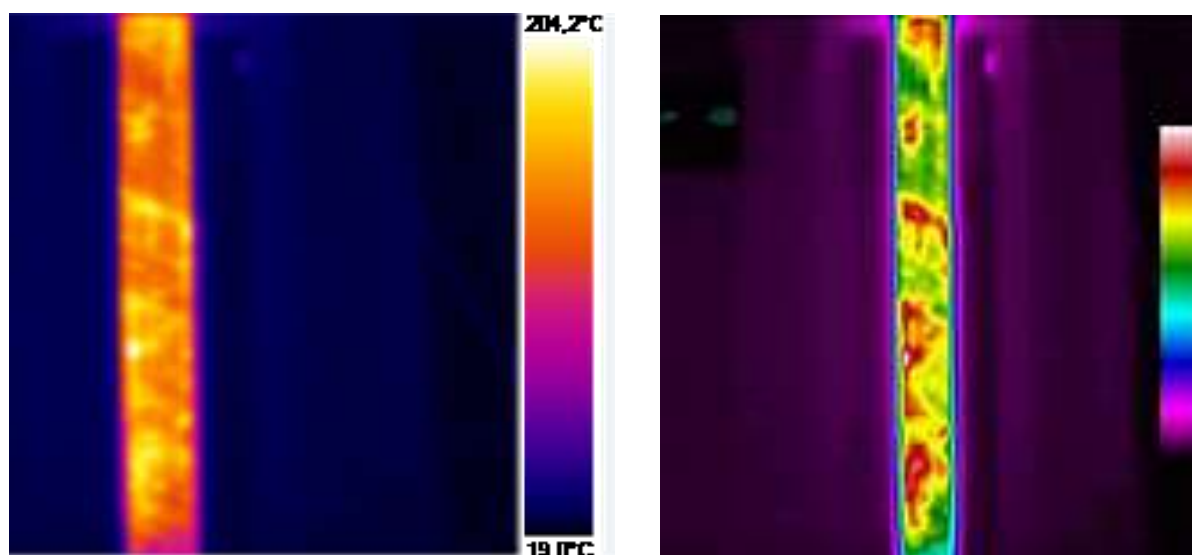
- температура наружного воздуха 25 градусов,
- коэффициент излучения  $\varepsilon_T = 0,52$  подбирался из учета марки стали шероховатости и блеска трубы.
- расстояние до объекта 2,5 м.

Особое внимание уделено к подбору коэффициента излучения  $\varepsilon_T$ . Неточная величина этого параметра может послужить основным фактором недостоверного измерения.

В работах [1,5] отмечалось, что неточность задания коэффициента излучения, а также присутствие и сама величина температуры отраженного излучения могут привести к значительным ошибкам при измерении температуры, от нескольких до десятков градусов и более. Температура самого объекта и температура отраженного излучения с воздухом также существенно влияет на величину ошибок [7,6].

Результаты исследования получены с помощью тепловизора RGK TL-70 и обработанные в программном комплексе RGK Vision.

На тепловизионном снимке (рисунок 1) захвачена область трубы теплонагревателя после 30 минут нагрева.



а)

б)

Виды изображений: а – ИК изображение; б – видимое изображение

Рисунок 1 – Тепловизионное изображение трубы теплонагревателя, спустя 30 минут нагрева

Начальный этап обработки результатов измерения в программе RGK Vision начинается с обозначения областей в виде прямых L1 и L2 для последующего их вывода на термограммы (Рисунок 2). Построение прямых

дает наглядное распределение температурных ингредиентов в исследуемой области.

Обработанный результат в программе RGK Vision позволил построить термограммы, отражающие количество точек для каждой прямой L1 и L2 на поверхности трубы теплонагрузателя и числовые значения температуры этих точек, (рисунок 3 и 4).

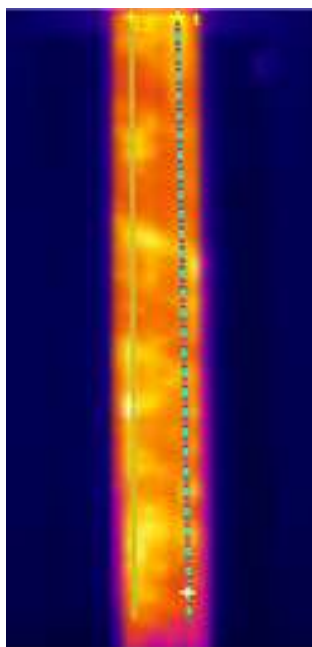


Рисунок 2 – Расположение прямых L1 и L2 для измерения температуры

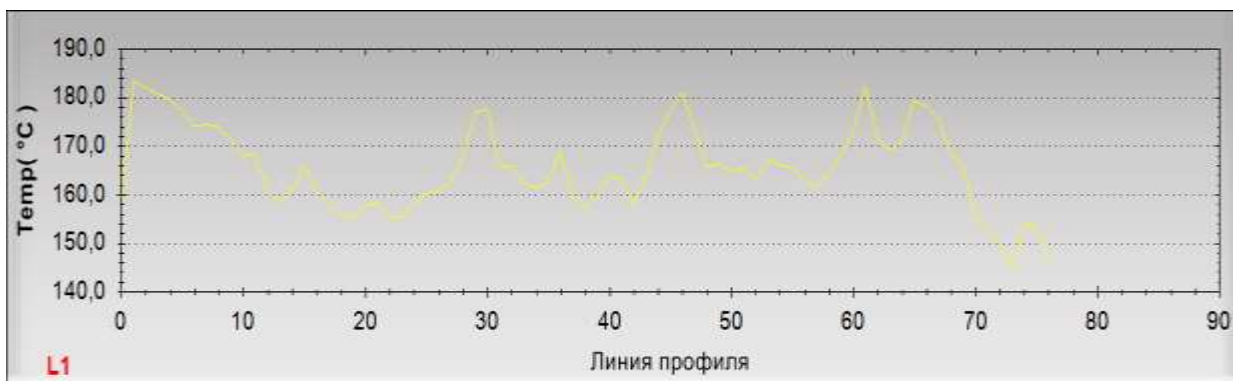


Рисунок 3 – Показание точек прямой L1 в программном комплексе RGK Vision



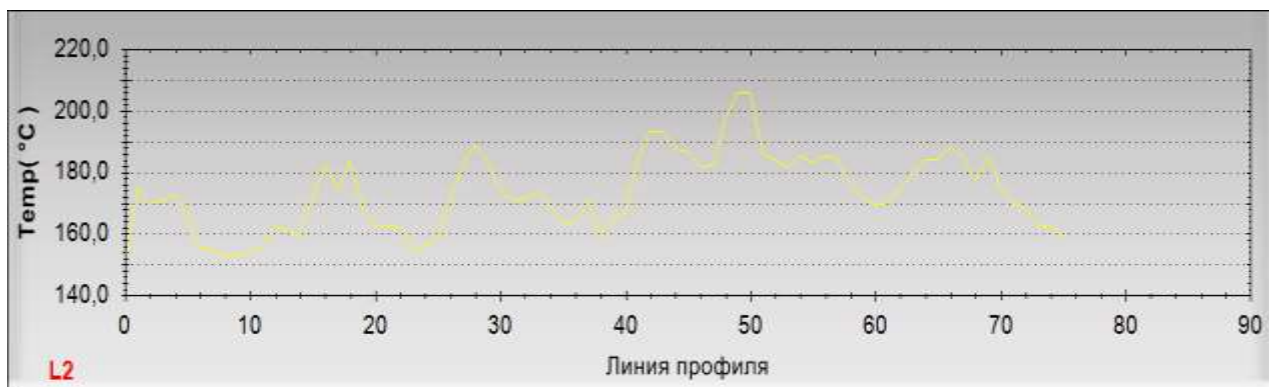


Рисунок 4 – Показание точек прямой L2 в программном комплексе RGK Vision

Программа позволяет сразу определить среднее значение температуры по каждой из линий L1 и L2 (таблица 1).

Таблица 1 – Информация о линии температурного профиля

№	Средняя температура, °С	Максимум, °С	Минимум, °С	Коэффициент изл.	Окружающая температура, °С	Влажность, %	Расстояние, м
L1	165,5	183,4	144,7	0,52	25,0	50	≈2,5
L2	173,3	206,0	151,2	0,52	25,0	50	≈2,5

Процедура испытания длилась 30 минут, замеры теплового состояния трубы проводились с интервалом 5 мин

По окончании процедуры результаты значений L1 и L2 фиксировались на графике, представленном на рисунке 5.

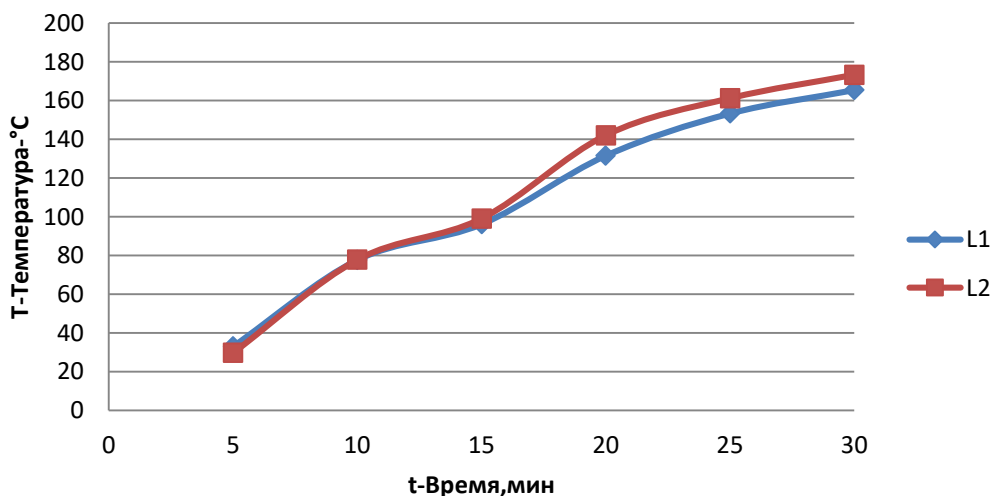


Рисунок 5 – График зависимости температуры от времени испытания

На неравномерность нагрева трубы в некоторой степени влияют внешние дефекты, которые вносят структурные изменения в материале трубы, скопление которых могут стать причиной неравномерного распределения температурного поля.

Факторы влияющие на распределение тепла в объекте:

- глубокие царапины или трещины;
- пористость и микропористость;
- скрытые внутренние пустоты;
- литейные дефекты (непровары, скрытые раковины);
- инородные металлические включения;
- локальные перегревы.

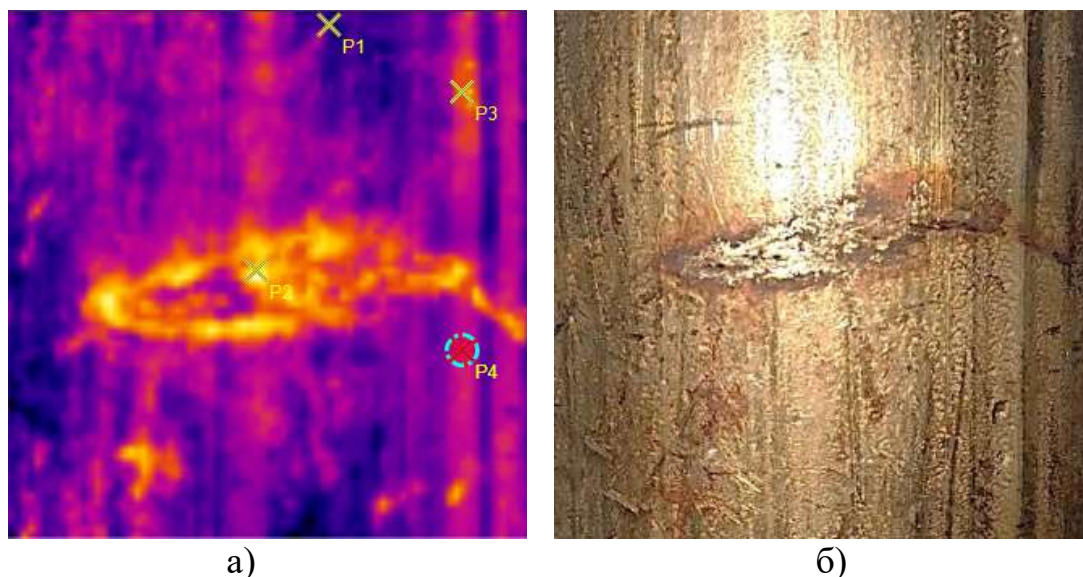
Ключевым этапом при проведении измерений с помощью тепловизора является обработка результатов и представление их в удобном виде для последующего анализа.

На представленном рисунке 6 изображены дефекты в виде вертикальных полос проката и следы от дуговой сварки. Точки Р3 и Р4 расположенные на линии проката имеют локальные зоны с повышенной шероховатостью, а точка Р2 расположенная в области сварки является инородным включением в теле трубы.

При коэффициенте излучения  $\varepsilon_T = 0,52$  разница между точками составляет:

- Р1 и Р2 – 43,2 °С;
- Р2 и Р3 – 14,6 °С;
- Р3 и Р4 – 10,9 °С.

Результаты исследования показали, что на неравномерный прогрев трубы термонагружателя связан с неплотным прилеганием и V-образной формой нагревательного тена по внутренней части трубы. Включения в виде различных дефектов и непостоянная колеблющаяся толщина стенки трубы также влияют на неравномерный прогрев термонагружателя и его деформации.



а)

б)

а) термограмма

б) фотоснимок дефектной поверхности

Рисунок 6 – Внешние дефекты

Список использованных источников:

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. 2-е изд. М.: ИД «Спектр», 2013. 575 с.
2. Вавилов В.П. Инфракрасная термография механических напряжений в строительных конструкциях // Контроль. Диагностика. 1998, №1. С. 21-25.
3. Варганов А. З. Термографический контроль для строительства (обзорная статья) / А.З. Варганов, В. В., Набатов // ГИАБ. 2011. №9.
4. Громов Ю.Ю., Лобанов Б.С., Ищук И.Н., Иванова О.Г., Ширшов С.С. Интеллектуальная информационная система синтеза решения задач теплового обнаружения скрытых подповерхностных объектов // Инженерная физика. 2009, №11. – С. 36-42.
5. Енюшин В.Н., Крайнов Д.В. О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании // Известия КГАСУ. 2013. № 1 (23). – С. 99-103.
6. Левин Е.В., Окунев А.Ю. Исследование точности измерения температуры на основе анализа энергетического баланса на приемнике излучения ИК-прибора // Измерительная техника. 2015. № 5. – С. 48-52.
7. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 176 с.

## **ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ШАРОВЫХ КРАНОВ**

**Михайленко Екатерина Александровна, Федоров Максим Владимирович, Пархома Константин Игоревич**

Научный руководитель: Клещарева Галина Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин

*Оренбургский государственный университет*

## **OVERVIEW OF DESIGNS OF BALL VALVES**

**Mikhaylenko Ekaterina Aleksandrovna, Fedorov Maxim Vladimirovich, Parkhoma Konstantin Igorevich**

Supervisor: Kleschareva Galina Alexandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines

*Orenburg State University*

*Аннотация. Проведен обзор шаровых кранов по виду присоединений их к линии трубопровода. В обзоре иллюстрированы некоторые разновидности конструкций основных представителей вида, где все описанные характерные особенности можно различить, изучив их.*

*Ключевые слова: шаровый кран, запорная арматура, торцово-штуцерное соединение, плавающая шаровая пробка, фланцевое соединение.*

*Annotation. A review of ball valves was carried out to monitor their connection to the pipeline line. The review illustrates some of the design features of the main types, where all the characteristic features that can be distinguished and studied are described.*

*Keywords: ball valve, shut-off valves, end fitting, floating ball plug, flange connection.*

Запорная арматура — это изделие, которое устанавливается в трубопровод и служит для регулировки потока среды с помощью изменения положения затворного элемента, который в свою очередь изменяет площадь поперечного сечения трубопровода. Особое место в разновидностях такой арматуры являются краны. Особенность кранов как запорной арматуры состоит в том, что затворный элемент имеет форму тела вращения, который по средству штока изменяет свое положение поворотом вокруг своей оси. Краны отличаются своей универсальностью в использовании, простотой конструкции, высокой герметичностью, легкостью в управлении и потому они получили широкое распространение во многих сферах жизнедеятельности человека. Затвор может иметь форму шара, конуса или цилиндра. На практике, большое распространение имеет форма шара. Основными элементами крана являются шаровая пробка, шпindel, корпус, седла и их уплотнения, уплотнительные элементы шпинделя [1].

Краны классифицирует по нескольким признакам, в основном здесь будет уделяться внимание их разновидности по типу присоединения к трубопроводу.

Штуцерный шаровой кран, представленный на рисунке (рис. 1) в основе своей конструкции, имеет корпус, на котором с одной стороны нарезана наружная резьба для соединения торцово-штуцерного типа с трубопроводом, с другой стороны имеется внутренняя резьба для соединения со штуцером крана. В корпусе и в штуцере предусмотрена канавка под уплотнительную тарелку, выполняемая чаще всего из фторопласта. Тарелка служит для обеспечения герметизации крана. В данном кране не требуется использование сёдел, так как этот тип кранов, чаще всего применяется для трубопроводов с малым проходным отверстием потому установка тарелок возможна в корпусе и штуцере, а затяжка уплотнений происходит с помощью резьбового соединения. Внутри корпуса размещается шаровая пробка. Пробка — это сферическая деталь имеющая сквозное отверстие, через которое проходит среда. Также пробка имеет фрезерованную поверхность, на которой выполняется паз, с помощью которого осуществляется соединение со шпинделем и соответственно поворот. Шпиндель имеет фторопластовое уплотнительное кольцо между буртиком и корпусом и еще одно между корпусом и металлической втулкой. Далее на штоке располагается ручка и ограничитель для обеспечения точного поворота и фиксации положения "открыто-закрыто". Для соединения с трубопроводом требуется ниппель с накидной гайкой, которая будет наворачиваться на корпус и штуцер по наружной резьбе. Между ниппелем и штуцером обязательно предусматривается прокладка.

Также возможна немного другая конструкция без изменения основных принципов работы. Отличием является исполнением крана из трёх корпусных частей — это корпус, где располагается пробка со штоком, с обоих концов корпуса выполнена внутренняя резьба, с помощью которой присоединяется два штуцера с ответной резьбой [2].

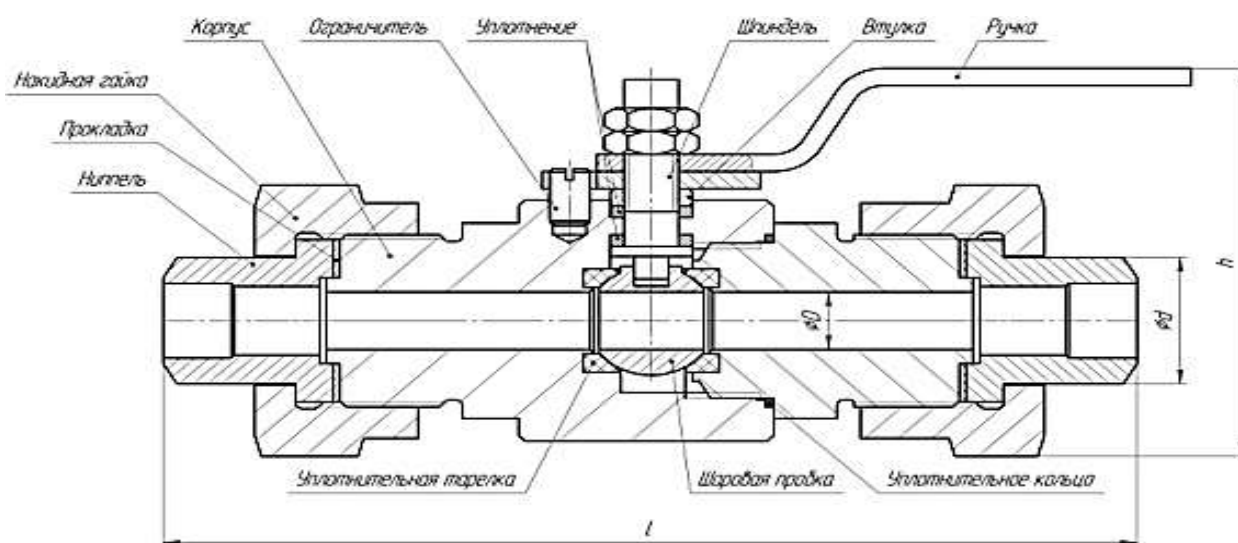


Рисунок 1 – Конструкция штуцерного шарового крана

Муфтовые краны по конструкции схожи со штуцерными кранами, отличием является присоединение к трубопроводу. На корпусе и штуцере со стороны трубопровода нарезана внутренняя резьба чаще всего трубная коническая или дюймовая коническая. Для легкости установки крана в трубопровод корпус исполняют в форме шестигранника под гаечный ключ. Также для удобства установки в трубопровод и сохранения компактности применяется смешанный тип т.е. штуцерно-муфтовый или наоборот. Конструкции представлены на рисунках (рис. 2, рис. 3).

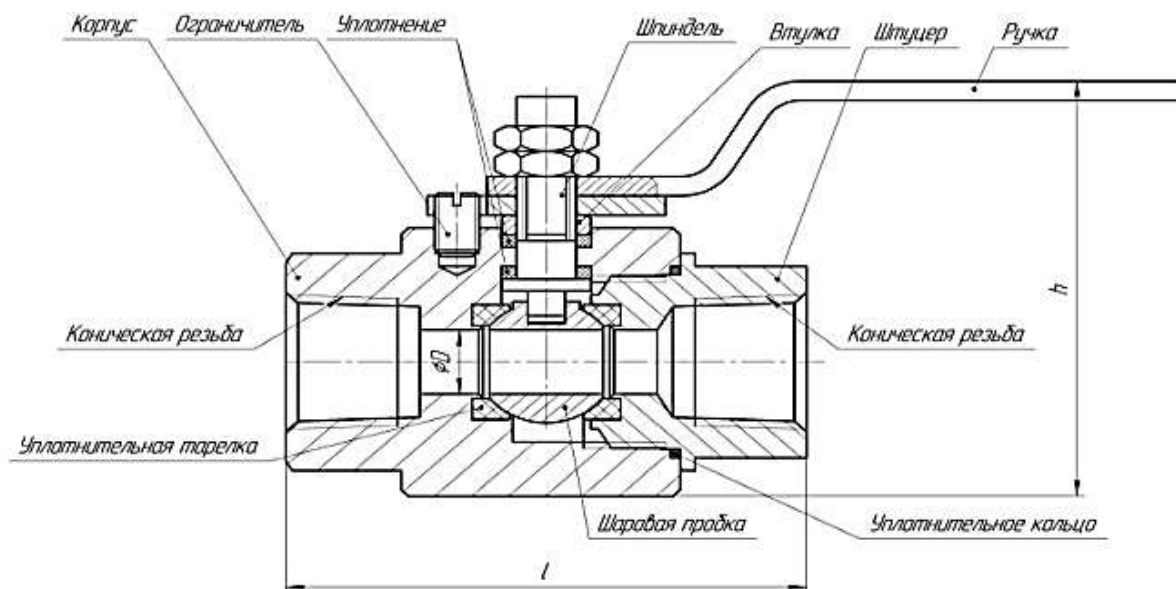


Рисунок 2 – Конструкция муфтового шарового крана

Краны под приварку являются менее универсальными так как сложно осуществить их быстрый демонтаж из трубопровода, а после срезания потребуется доработка и восстановление кромок под приварку. Обычно разделка кромок при ручной дуговой сварке соответствует шву С17 по ГОСТ 16037-80. Крана менее компактен, в сравнении, например, с муфтовым типом. Больше материал при изготовлении штуцера уходит в стружку, при невозможности исполнения сварного варианта. Исполнение корпуса также может быть цельносварным, состоящий из двух или трёх частей - корпуса и двух патрубков, к которым приварены крышки, а они в свою очередь выполнены по типу плоских приварных фланцев, поэтому обеспечения герметичности осуществляется стягиванием уплотнительных тарелок шпильками. Приварной тип присоединения используют для трубопроводов, которые не требуют технического обслуживания.

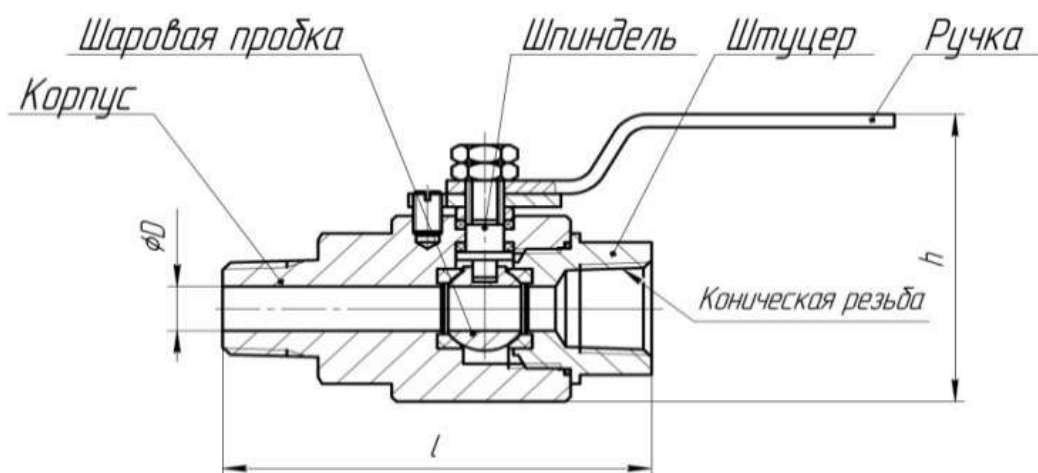


Рисунок 3 – Конструкция штуцерно-муфтового шарового крана

Фланцевые шаровые краны – наиболее распространенные и широко-универсальные краны, применяемые в трубопроводе. Они характеризуются простой установкой в линию трубопровода, высокой безопасностью, так как фланцевое соединение является самым надежным, и характеризуется хорошей герметичностью.

По размещению шаровой пробки и других элементов крана различают несколько конструкций:

1. Конструкция крана с верхним разъемом предусматривает сборку крана через верхнее отверстие корпуса. Кран сам по себе имеет простую конструкцию. Корпус представляет собой сложную корпусную деталь. С одной стороны, такой корпус характеризуется высокой прочностью, но с другой стороны он очень неэкономичен и трудоёмок в изготовлении. Затворный элемент в рассматриваемой конструкции может быть, как плавающим, так и в опоре. При наличии опоры приходится пойти на усложнение конструкции шаровой пробки. Седла имеют канавку для уплотнения шаровой пробки, канавку для уплотнительного кольца и отверстия под пружины, которые упираются в выступ корпуса. Шток крана имеет сальниковый узел из четырёх фторопластовых колец и металлическое кольцо которое установлено во избежание повреждения фторопластовых колец при затяжке узла. Кран закрывается крышкой, которая фиксируется шпильками. Кран оснащен антистатической защитой. В целом, как и изготовление сборки крана является достаточно кропотливой работой (рис. 4).

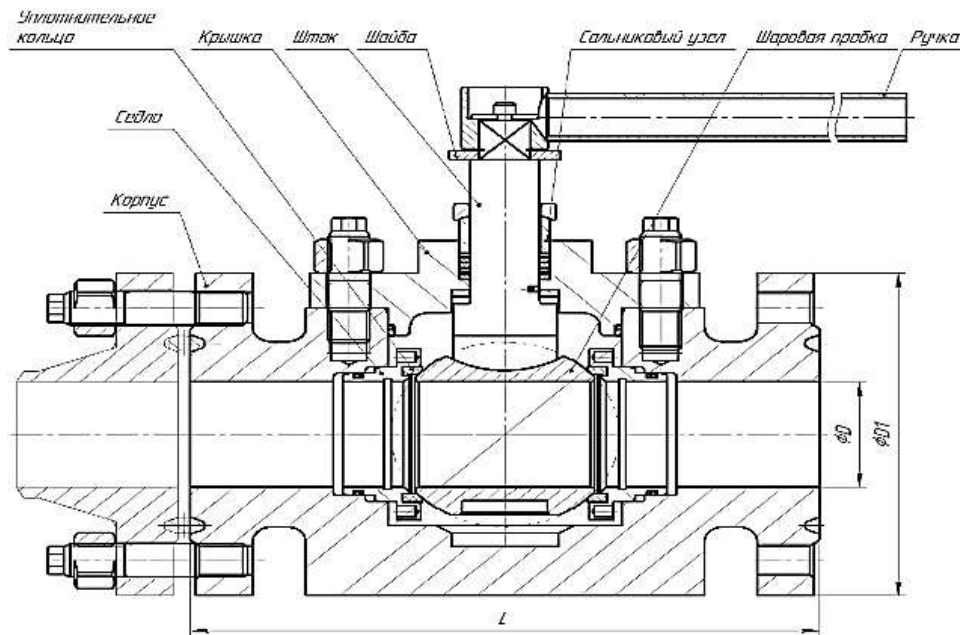


Рисунок 4 – Конструкция крана с верхним разъемом

2. Принцип конструкции кранов с корпусом в один разъем заключается в размещении основных элементов в самом корпусе, а поджатие уплотнений к крану осуществляется только крышкой, с одной стороны. Затворный элемент может иметь как плавающее положение, так и находится в опоре. В данной статье представлена конструкция крана с плавающей опорой. Этот вариант конструкции более экономичен, прост в изготовлении и компактен по сравнению с предыдущим краном. Корпус левой стороны имеет канавку под овальную или восьмигранную уплотнительную прокладку или возможно осуществить другой тип фланцевого присоединения. То есть корпус также выполняет функцию фланца. В корпусе предусмотрена канавка для уплотнения пробки, а также на конце в корпусе нарезана внутренняя резьба для соединения его с крышкой. В данном кране отсутствуют седла, что экономит место и затраты на материал. Конечно, такая конструкция соответствует кранам с небольшими проходными диаметрами отверстий при небольшом давлении. Крышка также имеет канавку под уплотнительное кольцо, наружную ответную резьбу и уплотнительную канавку соответствующая фланцем ГОСТ 33259-2015. Шток крана управляет положением шарового затвора. Он имеет сальниковый узел, выполненный в соответствии со стандартом. Втулка, поджимающая узел также является местом крепления ручки крана (рис. 5).

3. Кран с двумя разъемы, где корпусная часть представляет собой непосредственно корпус и две фланцевые крышки. Габариты корпуса спроектированы так, чтобы в нем смогли разместиться отвечающие требованиям и расчету отверстия под шток и опору (если речь идет о конструкции в опоре), а также канавки в корпусе для герметичного и плотного соединения с крышками. В данной конструкции в корпусе отсутствуют седла. Вместо этого одна канавка выполнена в крышке, вторая выполнена в прижиме, который поджимается гайкой. Тем самым решается проблема повреждения уплотнительного кольца шаровой



пробки и открывается возможность регулировки прижатия уплотнения по средству внутреннего отверстия гайки. Такая конструкция менее экономична в изготовлении, менее компактна и более трудоемка по сравнению со второй конструкцией, но удобна при сборке. На практике в большинстве случаев такие компоновки кранов используются для затвора в опоре, при больших номинальных диаметрах и при работе под большим давлением (рис. 6).

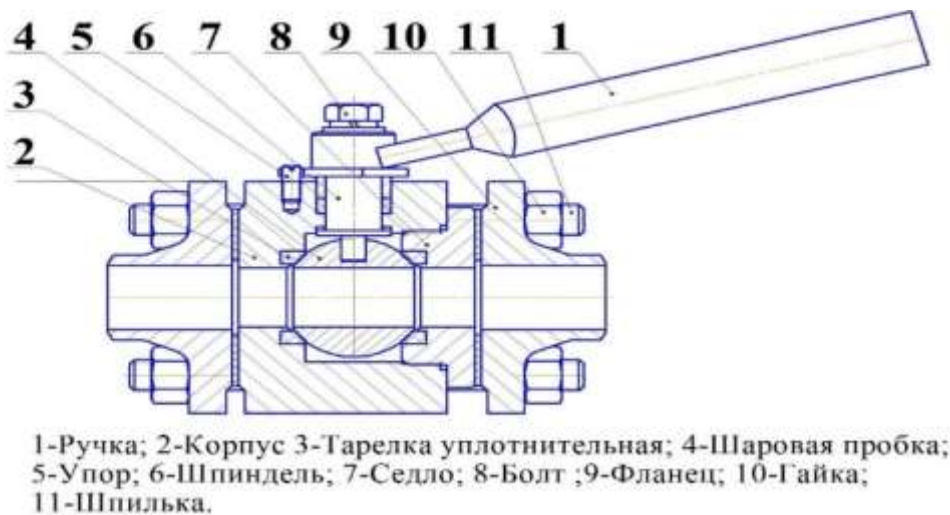


Рисунок 5 – Кран с корпусом в один разъем

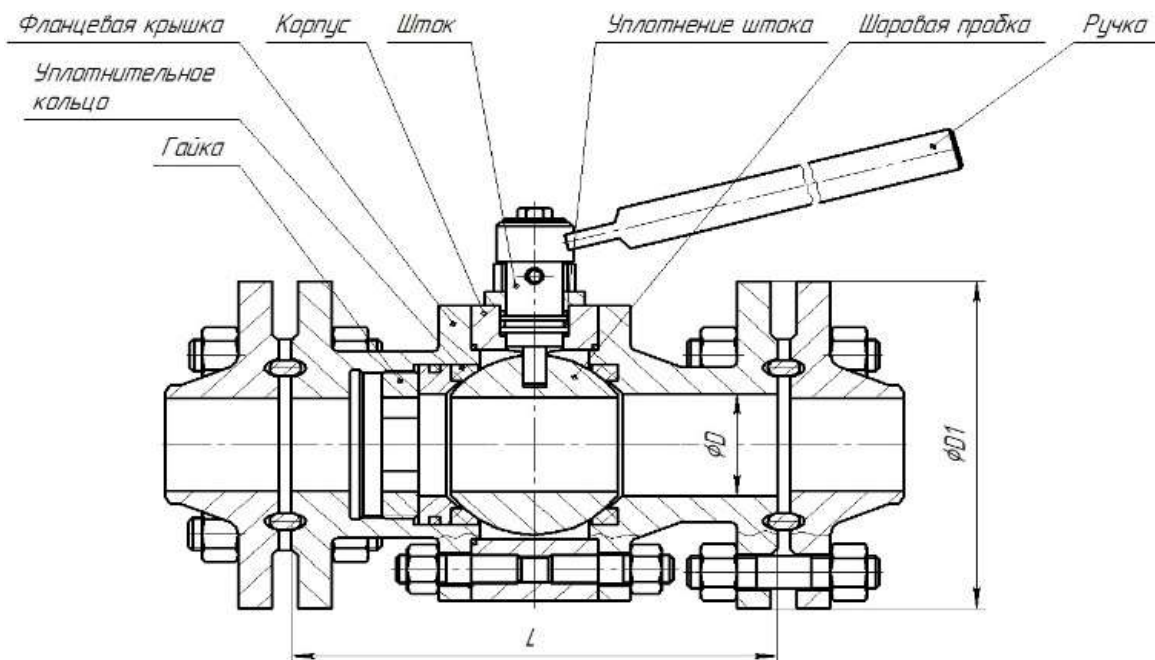


Рисунок 6 – Кран с двумя разъемами

## Список использованной литературы

1. Трубопроводная запорно-регулирующая арматура [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kit-ing.ru/node/38>;
2. Конструктивные особенности шаровых кранов для нефтяной промышленности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruktivnye-osobennosti-sharovyh-kranov-dlya-neftyanoj-promyshlennosti/viewer>.
3. Стандарт ЦКБА СТ ЦКБА 123-2019 Арматура трубопроводная. Термины и определения (с иллюстрациями). – Введ. 01.07.2007. – С-Петербург: НПФ «ЦКБА», 2009. – 74 с.
4. Рогачев А.Г., Рыбкин Д.Е. Применяемые технологии, материалы и оборудование - факторы влияния на снижение объемов потерь газа // Газовая промышленность. 2018. №S2 (770). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prime-nyaemye-tehnologii-materialy-i-oborudovanie-factory-vliyaniya-na-snizhenie-obemov-poter-gaza> (дата обращения: 14.06.2022).
5. Карпов А.Г., Шубенкина Н.Н. Запорная арматура: что выбрать? // Экспозиция Нефть Газ. 2013. №3 (28). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zapor-naja-armatura-cto-vybrat> (дата обращения: 14.06.2022).

## СРАВНЕНИЕ ЗАДВИЖКИ И ШАРОВОГО КРАНА

**Михайленко Екатерина Александровна**

Научный руководитель: Клещарева Галина Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин

*Оренбургский государственный университет*

## GATE VALVE AND BALL VALVE COMPARISON

**Mikhaylenko Ekaterina Aleksandrovna**

Supervisor: Kleschareva Galina Alexandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines

*Orenburg State University*

*Аннотация. Статья посвящена вопросу выбора между шаровым краном и задвижкой при установке изделий в трубопровод. В статье рассмотрены положительные и отрицательные стороны представленных разновидностей запорной арматуры. Произведен анализ вопроса с разных точек зрения и сделан выбор.*

*Ключевые слова: шаровый кран, запорная арматура, задвижка.*

*Annotation. The article is devoted to the issue of choosing between a ball valve and a gate valve when installing products in a pipeline. The article discusses the positive and negative aspects of the presented varieties of valves. An analysis of the issue from different points of view was made and a choice was made.*

*Keywords: ball valve, shut-off valves, gate valve.*

## **Введение**

Трубопроводная арматура – это изделие, предназначенное для контроля и управления потока рабочей среды в трубопроводной обвязке. По способу управления её делят на следующие виды [1]:

1. Запорная арматура – регулирует поток путем перекрытия затворным органом движение потока с заданной герметичностью (задвижка, краны);

2. Обратная арматура – своей конструкции обеспечивает защиту от обратного хода среды (дисковый затвор);

3. Предохранительная арматура – обеспечивает защиту трубопровода от избыточного давления с помощью осуществления сброса некоторого количества рабочей среды (сбросные пружинные предохранительного клапана СППК);

4. Распределительно-смесительная арматура – осуществляется регулировка и управление потоком в требуемые направления или перемешивает потоки сред;

5. Регулирующая арматура;

6. Разделительная (фазоразделительная) арматура – характеризуется тем, что разделяет рабочие среды если они находятся в разных фазовых состояниях или имеют разную плотность;

7. Отключающая арматура – действие арматуры заключается в перекрывании потока среды из-за повышенной скорости, с помощью перепада давления на регулирующем, запорном органе.

Конечно же, для увеличения технологической возможности производится комбинированная арматура и сочетает в себе несколько из выше приведенных функций.

Для выполнения вышеописанных функций существуют различные типы арматуры: задвижки, клапаны, краны, дисковые затворы. Задвижки отличаются тем, что запирающий элемент перемещается перпендикулярно относительно потока среды, а клапан, наоборот, параллельно. Кран характеризуется наличием запорного элемента в форме тела вращения, чаще всего на практике это сферическая форма, который поворачивается с помощью штока вокруг своей оси и тем самым меняет площадь проходного отверстия арматуры. Дисковый затвор имеет регулирующий элемент в форме диска, который также поворачивается вокруг своей оси, но становится либо перпендикулярно оси потока среды, либо под углом по отношению к нему [1, 2].

Часто на практике возникает проблема о выборе установки шарового крана или задвижки. Оба вида получили широкое распространение и имеют одинаковые функции, но имеют разные конструктивные особенности.

Для того, чтобы определиться с выбором арматуры требуется хорошо исследовать поставленную проблему [4]. Отсюда возникает цель исследования –

выявления наилучшего варианта выбора между задвижкой или шаровым краном при определенных условиях эксплуатации. Задачи исследования: рассмотреть основные особенности задвижек, изучить основные особенности шаровых кранов, провести сравнение по главным критериям и сделать вывод по исследованию.

### **Основные особенности задвижек**

Задвижка является довольно простым и надежным типом арматуры. Принцип работы заключается в перекрытии затвором проходного отверстия по средству штока. Шток в свою очередь совершает движение с помощью передачи винт-гайка, преобразуя вращательное движение в поступательное движение затвора.

Данный вид арматуры можно классифицировать по нескольким признакам. Они могут быть клиновыми, шиберными, параллельными и шланговыми.

Клиновые задвижки могут иметь различную форму клина, от которой зависит некоторые параметры. Если в конструкции применяется жесткий клин, который по своей форме является ответной частью седла, то он обеспечивает высокую жесткость и прочность, что хорошо с точки зрения износостойкости и надежности, но при изменении условий работы или среды может произойти заклинивание. Обычно оно происходит при изменении в трубопроводе температуры рабочей и внешней среды или перепад и изменение давления. Двухдисковый клин состоит из двух частей форма которых также соответствует седлам. Такая конструкция снижает заклинивания до возникновения износа рабочих поверхностей. Упругий клин также состоит из двух частей, которые соединены по средству пружин. Такая конструкция упрощает регулировку клина при сборке и работе арматуры, а также снижает вероятность заклинивания и даёт лучшую герметизацию устройства [2, 3].

Шиберная (ножевая) задвижка имеет затворный элемент в виде пластины – шибера, который перекрывает поток среды. Отличительной особенностью является способность работать с твердыми частицами и включениями в рабочей среде.

Шланговые и параллельные типы используются реже.

Также конструктивно может быть наличие как выдвигного штока, так и не выдвигного в зависимости работы передачи винт-гайка и её расположения. При выдвигном штоке положительным моментом является отсутствие его взаимодействия со средой, а отрицательным - наличие большой массы и увеличение габаритов, что особенно важно учитывать на стадии проектирования и разработки компоновки установок.

Задвижки могут иметь несколько возможных типов присоединении к трубопроводу – это способ крепления под приварку, фланцевый и муфтовый. Чаще всего на практике встречается первые два типа.

Положительной стороной задвижки является её универсальность в установке в горизонтальном направлении, также может выдерживать большую нагрузку давления и использовать при давлении до 25 МПа.

Из минусов можно выделить возникновение гидроудара при открытии.

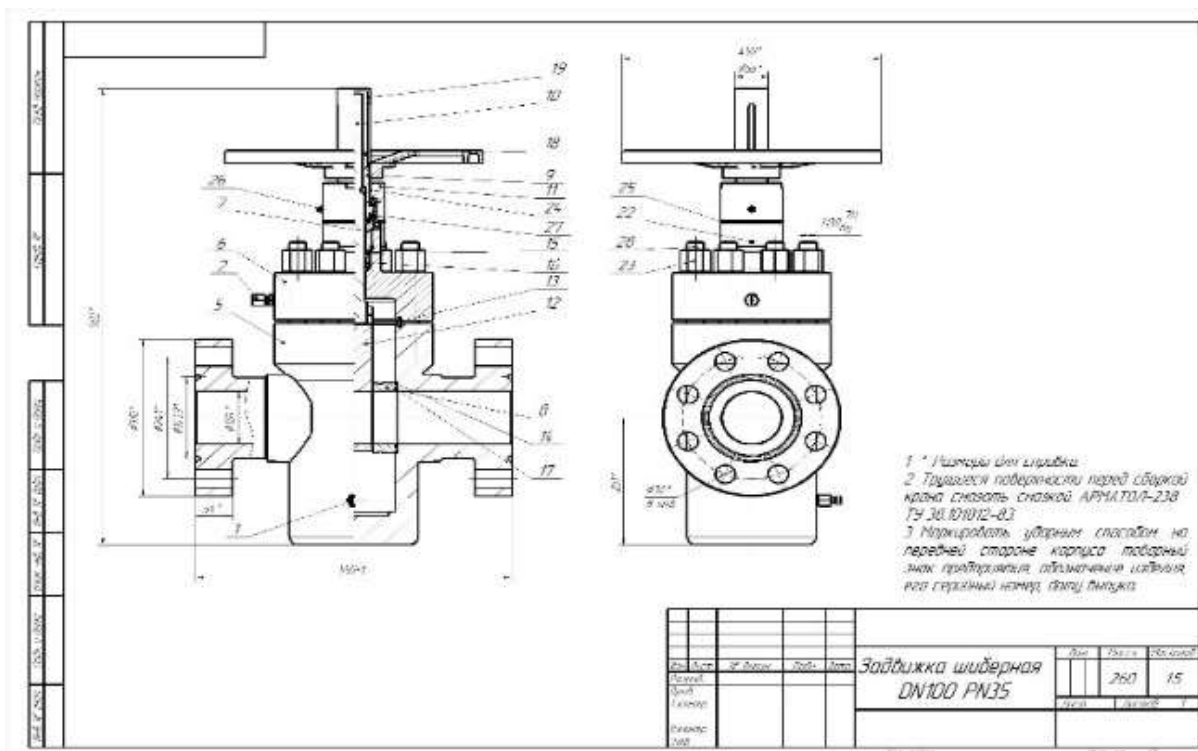


Рисунок 1 – Чертеж шаровой задвижки

С учетом всех конструктивных возможностей задвижка может использоваться только для запираания, т.е. иметь только два положения закрыто-открыто. Тем самым объединить в себе и две функции регулировки и запираания невозможно. Если установить запорный элемент в среднее положение, то это может привести к выходу его из строя, нарушению герметичности, к повреждению и износу рабочих уплотняемых поверхностей.

### Основные особенности шаровых кранов

Шаровой кран обладает высокой герметичностью, надежностью, простой конструкцией и отсутствием гидравлического удара при работе. Они компактны и имеют небольшую массу. Одним из плюсов арматуры является возможность совмещение двух функций как запорной, так и регулирующей поток. Но не смотря на то что краны состоят из малого количества элементов они достаточно сложны в изготовлении и для этого необходимы большие затраты, а, следовательно, он имеет большую стоимость. Еще одним недостатком является наличие длинной ручки.

В зависимости от конструкции шаровые краны могут выполнять с различными уплотнениями и получать взаимодействие металл-полимер или металл-металл. Последнее дает возможность работы с механическими твердыми включениями в протекающей рабочей среде. При использовании полимерных уплотнений и других современных материалов намного повышается герметичность устройства и упрощается обеспечение класса А.

Разнообразие конструкций дают возможность использовать арматуру с проходным диаметром от 10 мм до 1200 мм, при различных низких и высоких

температурах, для разной рабочей среды. Также преимуществом является универсальная установка в любых направлениях, в вертикальных и горизонтальных.

На рисунке 2 представлена одна из возможных конструкций кранов.

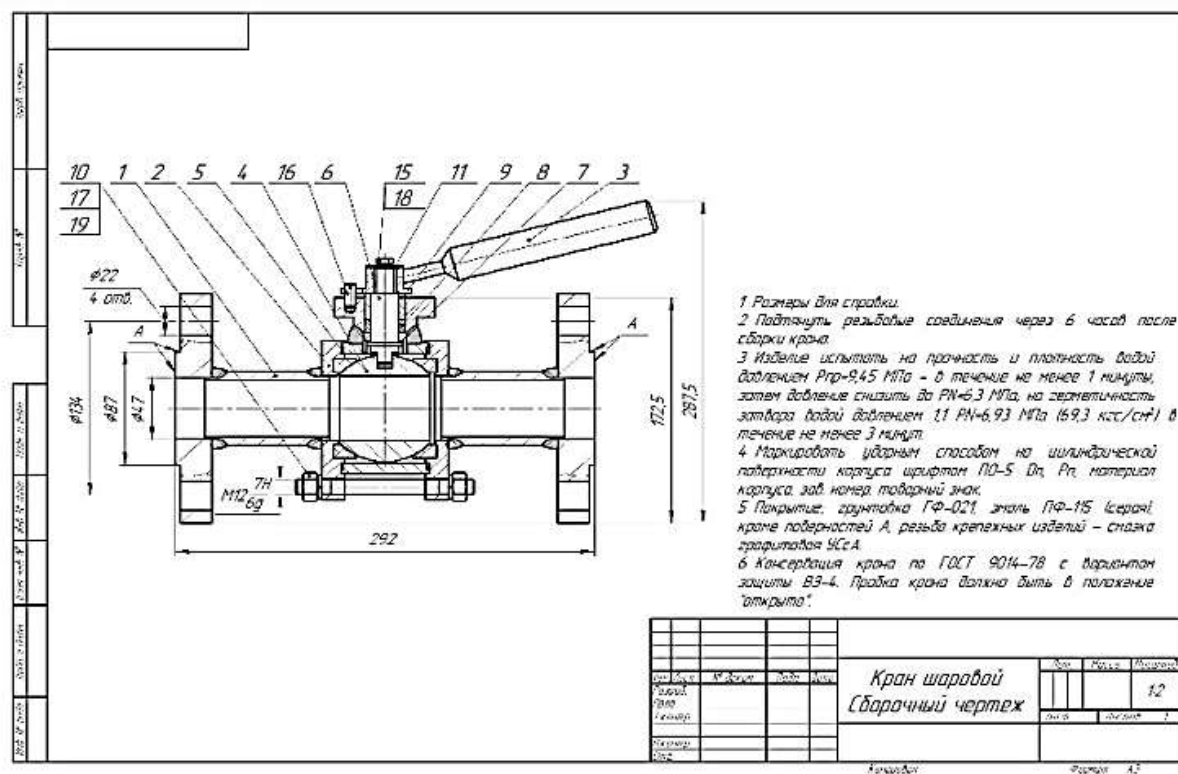


Рисунок 2 – Чертеж шарового крана

### Сравнение крана и задвижки

Выбор между вышеописанными видами арматуры достаточно непростой и требует помимо анализа положительных и отрицательных сторон изделий понимания области применения и условий эксплуатаций, требуемого срока службы и возможностью затрат по стоимости.

С точки сборки и ремонта более удобным и практичным является шаровой кран, у него более упрощена сборка и регулировка всех элементов. Также краны не требуют такого частого технического обслуживания и замены уплотнений как задвижки, здесь требуется постоянный контроль изделия, очень частая чистка уплотнительных колец и сальникового узла, постоянная смазка рабочих элементов.

Из-за конструкции задвижки проигрывают по времени открытия и закрытия, так как организовано с помощью винтовой пары, а кран требует только поворота рукоятки на 90 градусов, что осуществляется значительно быстрее. Также время на изменение положения затворного органа в аварийной ситуации может сильно повлиять на безопасность.

Очень значительное отличие между задвижкой и шаровым краном состоит в сроке службы. Задвижки при благоприятных условиях эксплуатации исправно

работают не более 10 лет, когда шаровые кран, в зависимости от цены, качества и среды, с которой они взаимодействуют могут служить от 15 до 25 лет.

Большое внимание в статье уделено заклиниванию задвижкам что является минусом при использовании. В шаровых кранах такого явления практически нет.

На основе описанного можно сделать вывод что предпочтение при выборе арматуры отдается шаровым кранам. Но, несомненно, при выборе стоит основываться на нуждах, необходимости в эксплуатации и тщательно взвешивать все преимущества и недостатки.

#### Список используемых источников

1 Стандарт ЦКБА СТ ЦКБА 123-2019 Арматура трубопроводная. Термины и определения (с иллюстрациями). – Введ. 01.07.2007. – С-Петербург: НПФ «ЦКБА», 2009. – 74 с.

2 Чем отличается задвижка от шарового крана. Сравнительные характеристики запорной арматуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://giropark.ru/wells/chem-otlichaetsya-zadvizhka-ot-sharovogo-krana-sravnitelnye-harakteristiki.html> (дата обращения: 15.06.2022).

3 Что лучше задвижки и шаровые краны? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teharmatura.ru/info/articles/truboprovodnaya-armatura/chto-luchshe-sharovuuy-kran-ili-zadvizhka/> (дата обращения: 15.06.2022).

4. Карпов А.Г., Шубенкина Н.Н. Запорная арматура: что выбрать? // Экспозиция Нефть Газ. 2013. №3 (28). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zapor-na-ya-armatura-chto-vybrat> (дата обращения: 14.06.2022).

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ ШПИДЕЛЬНЫХ ВАЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Фёдоров Максим Владимирович**

Научный руководитель: Решетов Николай Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»*

## **IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF METAL-CUTTING MACHINES SPINDLE SHAFTS BY MODERN COMPUTER SIMULATION TOOLS**

**Fedorov Maxim Vladimirovich**

Supervisor: Reshetov Sergey Yuryevich, Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of  
Materials, Structures and Machines.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg  
State University»*

*Аннотация. В исследовании проводилось моделирование конструкции шпиндельного узла металлорежущего станка путём разработки новых конструкторских решений, комбинации и усовершенствования имеющихся, с помощью использования современных САЕ-систем. Разработана принципиально новая конструкция, приспособленная под модернизацию существующего оборудования и разработку нового. Разработка производилась с применением современных средств компьютерного моделирования, которые применялись для расчёта и сравнения конструкций разработанных и существующих шпиндельных валов.*

*Abstract. In the study, the design of construction of the metal-cutting machine spindle assembly by developing new design solutions, combining and improving existing ones, using modern CAE systems. A fundamentally new design has been developed, adapted for the modernization of existing equipment and the development of new ones. The development was carried out using modern computer modeling tools, which were used to calculate and compare the designs of the developed and existing spindle shafts.*

Шпиндельный узел станка - это концевой элемент привода главного движения. Его основной функцией является установка и закрепление режущих инструментов или технологической оснастки, удерживающей заготовку. Качество шпиндельного узла оказывает самое существенное влияние на точность, надежность и производительность всего станка.

Шпиндельные узлы металлорежущих станков разделяются по следующим признакам:

а. Назначение (передавать вращательное движение инструменту или заготовке).

б. Достигаемая в результате обработки точность, зависящая от точности вращения.

в. Занимаемые в станке габариты.

г. Мощность, получаемая от двигателя.

д. Диапазон регулирования скоростей или быстроходность.

е. Способ доставки крутящего момента на шпиндель.

ж. Опоры, используемые на шпинделе.

Далее изложено краткое описание каждого признака и приведено несколько стандартных конструктивных сборок ШУ. Основное внимание будет уделено применяемым на них опорам.



Точность вращения шпинделя является важнейшей характеристикой у узла, в значительной мере, определяющей точность обработки изделий на станке.

Точность вращения, измеряемая биением на переднем конце шпинделя в радиальном или осевом направлениях; отклонения от идеального вращения являются одной из основных причин погрешностей обработки на многих станках. Допустимое биение шпинделя универсальных станков должно соответствовать государственным стандартам [1][2]. Биение шпинделя специальных станков не должно превосходить  $1/3$  допуска на лимитирующий размер обработанной на станке детали. В шпиндельных узлах на опорах качения она зависит от точности изготовления подшипников и сопряженных с подшипниками деталей шпиндельного узла, от качества монтажа, от регулировки подшипников (величины зазора-натяга) и от числа оборотов шпинделя, при котором производится обработка изделия.

Точность вращения шпиндельных валов устанавливаются в соответствующем государственном стандарте [1]. Она обуславливается такими характеристиками как: радиальное биение центрирующей шейки шпинделя (у торца шпинделя и на заданном расстоянии от торца шпинделя), осевое биение шпинделя, торцевое биение опорного бурта шпинделя.

«Мощность» шпиндельного узла – величина от которой зависит общая производительность, на которую оказывают влияние многие факторы. Материал заготовки, скорость вращения, передаваемые на вал, осуществляемые на станке операции и проч. При её рассмотрении следует учитывать и прочие фактические атрибуты станка. Данная величина имеет существенное значение для получения наибольшей возможной производительности станка.

По способам доставки крутящего момента, можно определить самые распространённые: зубчатую передачу, ремённую передачу и непосредственно с двигателя на муфту, закреплённую на хвостовом конце шпинделя. То, каким образом будет осуществляться эта передача выбирается, опираясь на крутящий момент, необходимую гладкость хода и диапазон частот вращения шпиндельного вала, и систему расположения узлов и направляющих станка, отличающихся структурой, пропорциями и свойствами.

Основные преимущества применения доставки главного движения на шпиндель, путем зубчатой передачи в том, что такой способ выгодно отличается конструктивной простотой, сравнительно большой компактностью и способностью передавать большой крутящий момент.

Существенными же недостатками данного метода является потенциальные растущие динамические нагрузки и уменьшение плавности главного движения, к которым могут привести погрешности передачи. Имеет смысл применять этот метод при интенсивности обращения шпиндельного вала в пределах 3000 оборотов в минуту при нормальной

точности изготовления и установки, и более 3000 оборотов в минуту при повышенной точности изготовления и установки.

Осуществление доставки главного движения на шпиндельный вал путём ременной передачи характеризуется меньшими нагрузками в динамике привода ШУ. В противовес этому достоинству выступает следующий недостаток: Большие габаритные размеры, обусловленные необходимостью таких шпинделей в «разгрузке», а именно уменьшении радиальной нагрузки, для чего шкивы, устанавливаемые на разгрузочных втулках, увеличивающих габариты ШУ. Несмотря на это, данный вид передачи активно используется на станках с высоким числом оборотов (более 6000 оборотов в минуту).

О мотор-шпинделях, их конструкциях, достоинствах и недостатках будет изложено ниже.

Наиболее распространенная (около 95%) конструкция опор, используемая в шпиндельных узлах металлорежущих станков – опоры качения. Эта распространённость объясняется тем, что они представляют собой стандартный узел т.е. конструкции подшипников качения стандартизованы [3]. Данные изделия изготавливаются специализированными предприятиями. Это повлияло на то, что данное конструктивное решение среди всех типов, используемых в шпиндельных узлах опор, является самым выгодным с точки зрения стоимости.

Основными критериями работоспособности подшипников качения, применяемых в ШУ станков, являются жесткость (радиальная и осевая), быстроходность, несущая способность, нечувствительность к перекосам, момент трения. Подшипники скольжения делятся на гидродинамические, гидростатические и аэростатические [4][5].

В отличие от подшипников качения подшипники скольжения не являются стандартными изделиями, они проектируются и изготавливаются на станкостроительных заводах.

Дальнейшее усовершенствование конструкций шлифовального оборудования, а именно станков шлифовальной обработки особой точности, возникла проблема неспособности опорами качения обеспечить необходимые показатели обработки. Это повлекло за собой необходимость в новом конструктивном решении, которым стали аэростатические опоры-опоры принцип действия, которых основан на применении воздуха.

ШУ на аэростатических опорах устанавливаются на оборудование, предназначенное для обработки с получением высокой точности поверхности. Шпиндели подобных станков работают на высоких частотах вращения. Главный вал такого станка вращается на больших частотах. Выбор данного типа опор в ШУ привело к снижению погрешности формы отверстий, получаемых в результате обработки, до 0,5 мкм на внутришлифовальных станках, уменьшению шероховатости обработанной поверхности на один-два разряда при использовании их в шпинделе шлифовального круга.

Точность вращения шпинделей, необходимая для сверхточной обработки, особенно с использованием алмазных инструментов, достигается на азростатических опорах уменьшением диапазона возможных допусков на изготовление деталей этих опор. На это влияет избранная схема компоновки шпиндельного узла и подбираемые наилучшие его характеристики.

Также для сохранения точности обработки в станках категории С используется инерционный метод – шпиндельный вал разгоняется двигателем до рабочей частоты вращения. Далее двигатель прекращает работу. Так как резание материала осуществляется при отключенном электродвигателе – возникающие в процессе его работы вибрации не оказывают влияние на процесс обработки, что дает возможность устранить вибрации, связанные с дисбалансом двигателя.

К плюсам применения таких конструкций относятся хорошее охлаждение ввиду постоянного тока воздуха, обеспечиваемого турбинами, что оберегает вал от температурных деформаций, сравнительное удобство монтажа и ремонтных работ, обусловленные компактными габаритами ШУ, а также безопасность эксплуатации. Воздушная плёнка, возникающая в опорах, способствует уменьшению трения и нивелированию достижению высоких частотных и точностных характеристик вращения главного вала.

Минусами же является необходимость в сложном обслуживании-фильтрующие и осушающие воздушный поток установки, чрезмерная шумность, в следствии работы нагнетающих турбин, невысокая мощность, низкий коэффициент полезного действия, вероятность вывода конструкции из строя по причине соприкосновения опорных участков тела шпинделя с телами самих опор, вызванные погрешностями применения ШУ[6].

Конструкция мотор-шпинделей (электрощпинделей) основана на том, что ротор электродвигателя связан с шпиндельным валом. В качестве опор в данных устройствах могут быть применены магнитные и гидростатические опоры. Учитывая большой выброс тепла, передающегося на шпиндель, такие системы оснащаются блоками фильтров и электрическими вентиляторами. Данные установки в совокупности с устройствами температурной защиты служат для очистки и охлаждения нагнетаемого к нагретым участкам вала воздуха. Кроме того, в состав устройства иногда входит энкодер - устройство (прибор, датчик) для преобразования угловых положений в аналоговый или цифровой сигнал. Если энкодер предусмотрен в конструкции, то её можно считать шпиндельным узлом.

Такие ШУ отличаются от стандартных приводов главных движений, большим энергосбережением и шумоподавлением, меньшей подверженностью вибрации и массой, что в совокупности способствует внедрению их в различные станочные системы, как не имеющие, так и использующие системы числового программного управления.

Электрошпиндели стандартизированы и их параметры описаны в соответствующем государственном стандарте - ГОСТ 14177—88 – «Шпиндели со встроенным приводом» [7]. Настоящий стандарт распространяется на шпиндели со встроенным электро- или пневмоприводом повышенной, высокой и особо высокой классов точности, предназначенные для комплектации шлифовальных станков, а также сверлильных, фрезерных и других станков. Целесообразность применения на станках особо высокой точности с целью достижения высокой частоты оборотов на конечных стадиях обработки обусловлена малой мощностью. Ниже представлены величины соотношения радиального биения электрошпинделя, смонтированного на опорах качения, при различных частотах вращения на станках различной точности.

Однако такие конструкции имеют некоторые недостатки. Применение электрошпинделей смонтированных на подшипниковые опоры качения затрудняется быстрым износом последних, обусловленным работой вала на высоких скоростях. С ростом частоты вращения шпиндельного вала, конструктивно снижают диаметры участков, на которые устанавливается подшипник. Данный процесс ведет за собой падение мощностных и жесткостных характеристик главного вала. Поэтому были разработаны другие типы шпиндельных опор, как например воздушные.

Биение по оси, таких электрошпинделей существенно отличается от вышеописанных показателей для опор на подшипниках качения.

Отрицательным фактором эксплуатации такого рода конструкций является необходимость в устройствах фильтрации, очистки и дегидратации (с целью максимального замедления коррозионных процессов) поступающих к опорам воздушных потоков. Непосредственно для их обеспечения необходимо компрессионное оборудование со способностью нагнетания воздуха под давлением 1,5 МПа. Учитывая это увеличиваются габариты конструкции, и растёт стоимость обеспечения её работы.

Кроме того, данная система, вследствие недостаточной мощности на сантиметр величины диаметра участков шпиндельного вала может не подходить для всех случаев металлообработки. Для получения больших значений данной характеристики следует использовать в конструкции электрошпинделя гидростатические опоры.

По сравнению с опорами качения и воздушными опорами электрошпиндели на гидростатических опорах имеют большую жёсткость и более точное главное движение. Получаемые поверхности до трёх раз более прямолинейны – меньше волнообразного биения, и в два раза большая величина вибрации поглощается опорами ШУ.

В процессе их эксплуатации следует учесть, что нужно предусмотреть системы циркуляционной смазки и тот факт, что данные опоры плохо поддаются ремонту.

Электрошпиндели на магнитных опорах имеют меньшую энергоёмкость, чем электрошпиндели на гидростатических опорах, при

более высокой точности обработки и лучшим качестве обработанной поверхности. Кроме того, через систему управления магнитными опорами можно производить балансировку оправки с режущим инструментом в процессе работы, что позволяет улучшить качество обработанной поверхности. Удельная несущая способность электрошпинделей на магнитных опорах составляет порядка 20 Н/см<sup>2</sup>. Высокая стоимость электрошпинделей ограничивает область их применения.

Следующим этапом конструкторской мысли в направлении проектирования шпиндельных узлов является с магнитными опорами. Они выделяются на фоне ранее описанных конструкций шпиндельных узлов с применением опор качения, опор аэро и гидростатических. Они отличны большим диапазоном частот вращения, долговечной работой в условиях серьёзного нагружения без необходимости технического обслуживания и с стремящимся к нулю трением. Принцип действия данного вида опор основывается на принципе магнитной «левитации».

Кроме того, были разработаны шпиндели, оснащённые системами урегулирования рабочей температуры, шпиндели, изготовленные из нестандартных материалов, керамические шпиндели, комбинированные шпиндели и множество других.

Рассмотрев различные конструкции шпиндельных узлов каждый вынесет для себя интересующие его характеристики и конструкции. Как пример, концепция, сочетающая в себе несколько конструктивных решений – комбинация скоростного и силового шпинделей, позволяющая при сравнительно меньших габаритах совершить существенно больший диапазон операций, который в обычных условиях потребовал бы большие затраты машинных, людских и, исходя из вышесказанного, финансовых ресурсов.

Резюмируя, делаем вывод, что инженерная мысль и производственные необходимости каждый день влекут рождение на свет всё новых и новых конструкций, отвечающих все более новым и новым задачам.

#### Список использованной литературы

1. ГОСТ 18097-93 (ИСО 1708-8-89) Межгосударственный стандарт. Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. нормы точности: – Издание официальное. - М.: Стандартиформ, 2005. – 20 с.
2. ГОСТ 18097–96. Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности. – Москва: Изд-во стандартов, 1996. – 23 с.
3. ГОСТ. Подшипники качения. Сборник гостов. Часть 2. - М.: Стандартов, 1989. - 432 с.

4. ГОСТ ИСО 4379 – 2006 Межгосударственный стандарт. Подшипники скольжения. Втулки из медных сплавов. - Издание официальное. - М.: Стандартиформ, 2009. – 8 с.
5. Автоматизированный справочник шпиндельных опор. М.: ЭНИМС, 1984.
6. Махов А. А., Позняк Г. Н. Динамическая модель шпинделя на аэроэластических опорах // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2004. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamicheskaya-model-shpindelya-na-aerostaticheskikh-oporah> (дата обращения: 9.05.2022).
7. ГОСТ 14177-88 Государственный стандарт союза ССР. Шпиндели со встроенным приводом. Общие технические условия. М.: Издательство стандартов, 1989. – 16 с.

# **Секция перспективы промышленной безопасности производственных объектов»**

## РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

**Рыжков Евгений Вячеславович, Азирбаев Рустам Темирланович**

Научный руководитель: Пояркова Екатерина Васильевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики материалов и конструкций машин

*Оренбургский государственный университет*

## LEAKAGE OF PRESSURE SYSTEMS AND ITS CONSEQUENCES

**Ryzhkov Evgeny Vyacheslavovich, Azirbaev Rustam Temirlanovich**

Scientific adviser: Poyarkova Ekaterina Vasilievna Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head. department mechanics of materials and machine structures

*Orenburg State University*

*Аннотация. Материал публикации посвящен описанию основных производственных рисков при эксплуатации систем избыточного давления.*

*Ключевые слова: производство, давление, вещества.*

*Abstract. The article is devoted to the description of the main production risks in the operation of overpressure systems*

*Keywords: production, pressure, substances.*

Ни одно производство не обходится без использования систем, которые работают под избыточным давлением (трубопроводов, баллонов и емкостей для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, газгольдеров). Любые системы повышенного давления представляют потенциальную опасность. Основной характеристикой этого оборудования является превышение давления газа или жидкости в нем атмосферного давления. Это оборудование называют сосудами, работающими под давлением. Так на некоторых опасных производственных объектах избыточное давление может достигать порядка 160 кгс/см<sup>2</sup>.

Одним из основных требований к сосудам, работающим под давлением является их герметичность в период всего их срока эксплуатации. Герметичность — это непроницаемость жидкостями и газами стенок и соединений, ограничивающих внутренние объемы сосудов, работающих под давлением. Кроме этих сосудов требования по герметичности обязательны и для вакуумных установок и оборудования. Потеря герметичности сосуда может привести к полной разгерметизации сосуда с последующим его воспламенением и выбросом вредных веществ в атмосферу. При эксплуатации сосуда, работающего под избыточным давлением, существует высокая опасность возникновения аварии, при возникновении которой может быть получен большой ущерб не только близлежащими зданиями и сооружениям,



но и обслуживающим персоналом. При разгерметизации сосудов, эксплуатируемых под избыточным давлением, зачастую можно выделить возникновение двух основных групп опасностей.

К первой группе можно отнести непосредственно взрыв сосуда или установки, на которой расположен трубопровод или сосуд, работающей под давлением. Взрывом называют быстро протекающий процесс физических и химических превращений веществ, сопровождающийся освобождением большого количества энергии в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна, способная создать угрозу жизни и здоровью людей. При взрыве может произойти разрушение здания, в котором расположены сосуды, работающие под давлением, или частей этого и соседних зданий, а также травмирование персонала разлетающимися осколками оборудования. Также при возникновении взрыва велика вероятность эскалации аварии. Это, так называемый, эффект домино, когда авария на одной из составных частей опасного производственного объекта происходит авария, которая в дальнейшем является инициатором другой аварии на соседнем объекте.

Вторая группа опасностей определена теми свойствами веществ, которые используются в технологическом процессе. При эксплуатации оборудования не только при повышенном давлении, но и при высоких или низких температурах велика вероятность получения обслуживающим персоналом термических ожогов. При переработке агрессивных веществ имеется вероятность получения химических ожогов либо отравления персонала. Радиационная опасность возникает при разгерметизации установок, содержащих различные радиоизотопы. Таким образом, необходимо обеспечить сохранение герметичности эксплуатируемого оборудования. Чаще всего при разгерметизации сосуда обслуживающих персонал получает несколько поражающих факторов. Связанно это с тем, что многие вещества используемых на опасных производственных объектах являются агрессивными средами, с технологическими температурами близкими к 100 °С. Помимо этого при высокой доли вероятности возникновения взрыва или пожара, добавляется угроза получения травм посредством ударной волны.

Одна из эксплуатационных причин разгерметизации трубопроводов, агрегатов и установок, эксплуатируемых под давлением, — это процессы, протекающие параллельно с технологическим процессом и приводящие со временем к постепенному изменению и разрушению конструкционных материалов, из которых эти установки изготовлены. Некоторыми из примеров таких процессов может быть коррозия стенок трубопроводов и аппаратов, образование накипи на стенках котлов, постепенное снижение прочностных свойств материалов установок, усталость металла, дефекты сварных швов при ремонте оборудования. Для исключения опасности аварии необходимо своевременно и качественно проводить профилактические и ремонтные работы сосудов, работающих под давлением, а также эксплуатировать их в

строгом соответствии с нормативными документами. Технологические причины разгерметизации — это различные дефекты (трещины, вмятины, дефекты сварки), возникшие при изготовлении, хранении и транспортировке сосудов, работающих под давлением. Помимо дефектов материалов, используемых при производстве и эксплуатации аппаратов, причинами разгерметизации могут служить нарушения норм технологического режима. Так при расчете технологических параметров устанавливается максимальное разрешенное давление, температура, при превышении которых велика вероятность возникновения аварии. Разрушение или разгерметизация систем повышенного давления в зависимости от физико-химических свойств рабочей среды может привести к появлению одного или комплекса поражающих факторов:

- ударная волна (последствия –травматизм, разрушение оборудования и несущих конструкций и т. д.);

- возгорание зданий, материалов (последствия – термические ожоги, потеря прочности конструкций и т. д.);

- взрыв трубопроводов и аппаратов (последствия – термических ожоги, эскалация, аварии);

- химическое загрязнение окружающей среды (последствия - удушье, отравление, химические ожоги).

Рассматривая возможные последствия двух групп опасностей необходимо проанализировать не только тип чрезвычайной ситуации: будь то взрыв, разгерметизация или разлив нефтепродуктов, но также и объемы веществ, которые участвуют в происшествии.

В качестве примера можно взять взрыв колонны очистки газа от кислых примесей. Объем сосуда составляет порядка  $200 \text{ м}^3$ , часть которого заполнено насыщенным амином, а часть аппарата заполнена газом, который постоянно подается в аппарат.

При расчете в первом приближении, при разгерметизации и последующем взрыве данной колонны, ударная волна, способная нанести существенный ущерб близлежащим постройкам и конструкциям будет распространяться в радиусе 118 м, а облако пламени будет иметь куполообразный вид с радиусом порядка 17 м. Помимо ударной волны и облака пламени произойдет выделение в атмосферу и на землю порядка  $10000 \text{ нм}^2$  сырого газа, содержащего в себе порядка 5% сероводорода, который является опасным для человека, а также около  $50 \text{ м}^2$  насыщенного амина, что в свою очередь создаст опасность загрязнения грунтовых вод. Делая вывод из вышеуказанных чисел, можно констатировать, что при разгерметизации и дальнейшем взрыве колонны, будут повреждены находящиеся рядом объекты, которые соответственно тоже работают с взрывоопасными веществами, что может привести к целому каскаду взрывов. При возникновении данной ситуации единственно возможным решением является экстренный сброс на факела высокого и низкого давления, с последующим выставлением паровой

завесы на территории всей установки, а также близлежащих объектах для недопущения распространения пожара.

Беря во внимание типы обрабатываемых в колонне веществ, делаем вывод, что в основном это газ  $C_1-C_4$ . Рассматривая тип воздействия этих веществ на человека, можно сказать, что в чистом виде эти вещества оказывают отравляющие, наркотические действия, а в больших концентрациях парализуют дыхательные пути. При разгерметизации колонны без возгорания и выбросе значительного объема газа равного  $600 \text{ м}^3$  возникнет критическая загазованность территории установки, а также при сильном ветре, направленном в сторону населенного пункта, облако достигнет черты города за полчаса. Данные факторы накладывают жесткие временные рамки на принятие решений по ликвидации последствий аварии, а также принятии мер по минимизации воздействия последствий на население. Так, одним из возможных решений может быть объявление о происшествии через громкоговорители.

#### Список использованной литературы

1. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова. 7-е изд. - М.: Высшая школа, 2007 г.
2. Белов С.В. Техносфера: аспекты безопасности и экологичности. - М.: Вестник МГТУ, 1998 г.
3. Атаманюк В.Г., Ширшев Л.Г., Акимов Н.И. Гражданская оборона. - М.: Высшая школа, 1986 г.
4. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов./ Под ред. Л.А. Муровья. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002.

## **АВАРИЙНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ НА НЕФТЕГАЗОВОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

**Руденко Регина Владимировна**

*Оренбургский государственный университет, Оренбург*

## **ACCIDENT RATE OF EQUIPMENT AT AN OIL AND GAS ENTERPRISE**

**Rudenko Regina Vladimirovna**

*Orenburg State University, Orenburg*

*Аннотация. Трубопроводы являются самым безопасным способом транспортировки топлива, они связаны с рисками из-за сбоев, приводящих к значительным негативным последствиям. В этой статье анализируются данные об авариях на трубопроводах, а также результаты отказа*

оборудования, которые оказали существенное влияние на количество и тяжесть аварий, учтенных в базе данных: 272 из 773 несчастных случаев были связаны с отказом оборудования, причем 13 из них имели прямые человеческие последствия. Анализируются сбоя, которые прямо или косвенно способствовали этим событиям.

*Ключевые слова:* несчастный случай, авария, трубопровод, отказ оборудования, анализ, случайные события.

*Abstract.* Pipelines are the safest way to transport fuel, they are associated with risks due to failures that lead to significant negative consequences. This article analyzes data on pipeline accidents, as well as the results of equipment failure, which had a significant impact on the number and severity of accidents recorded in the database: 272 of 773 accidents were related to equipment failure, and 13 of them had direct human consequences. The failures that directly or indirectly contributed to these events are analyzed.

*Keywords:* accident, accident, pipeline, equipment failure, analysis, random events.

Несчастные случаи, как правило, носят сложный характер. Несчастный случай может иметь 10 или более событий, которые могут быть причинами. Детальный анализ аварии обычно выявляет три уровня причин: основную, косвенную и прямую. На самом низком уровне авария происходит только тогда, когда человек или объект получает такое количество энергии или опасного материала, которое не может быть безопасно поглощено. Эта энергия или опасный материал являются непосредственной причиной аварии. Непосредственная причина обычно является результатом одного или нескольких небезопасных действий или небезопасных условий, или и того, и другого. Небезопасные действия и условия являются косвенные причины или симптомы. В свою очередь, косвенные причины обычно связаны с плохой политикой и решениями руководства или с личными факторами или факторами окружающей среды.

Несмотря на их сложность, большинство несчастных случаев можно предотвратить, устранив одну или несколько причин. Расследования несчастных случаев определяют не только то, что произошло, но и то, как и почему. Тип несчастного случая также важен для следователя. Повторение аварий определенного типа или аварий с общими причинами указывает на области, требующие особого внимания к предотвращению несчастных случаев.

Чтобы определить важность сбоя в цепочке причинно-следственных связей случайных событий, следующим шагом было установление связи между случайным событием и сбоем. Чтобы событие было напрямую связано с отказом оборудования, рассматриваемый отказ должен был быть фактором причинности случайного события, что означает, что при устранении сбоя в цепочке причинно-следственных связей случайное событие не произошло бы

или его последствия были бы значительно уменьшены. Эти причинные факторы являются ключевыми событиями или условиями, которые могли бы предотвратить возникновение инцидента или могли бы значительно уменьшить его последствия, если бы они были подавлены.[1]

Случайные события, связанные с отказами оборудования, и важность этих отказов в цепочке причинно-следственных связей из 773 случайных событий, содержащихся в базе данных, 272 (35,2%) были результатом отказа оборудования, в то время как остальные произошли по другим причинам, таким как человеческие или эксплуатационные ошибки. Из 272 несчастных случаев, произошедших в результате отказа оборудования, 187 (68,8%) были прямыми последствиями отказа оборудования, по сравнению с 85 (31,2%), которые были косвенным результатом отказа. На рисунке 1 показаны эти результаты.

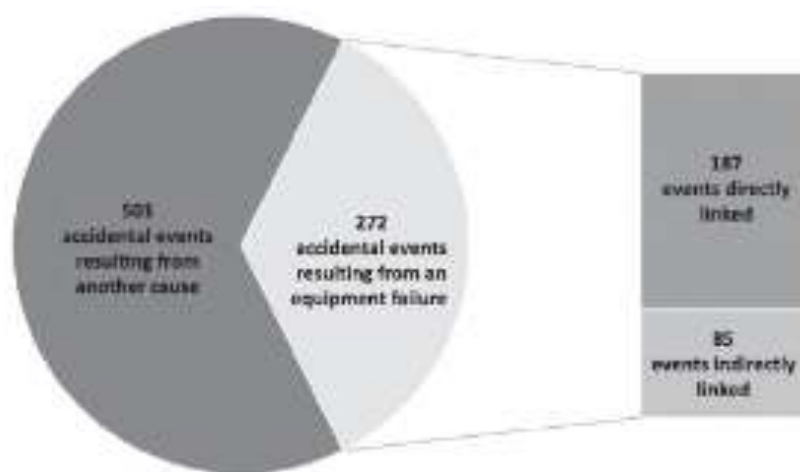


Рисунок 1 –Распределение аварийных событий на основе их корреляции с отказами оборудования

Интересно отметить, что эти результаты сопоставимы с концепцией пирамиды Берда (рис. 2).

Действительно, согласно этой концепции, доля несчастных случаев с повреждениями установлена на уровне 6,2% (40 из 641) от общего числа несчастных случаев. Кроме того, отдельно рассматривая 187 несчастных случаев, которые напрямую связаны, и 85 несчастных случаев, которые косвенно связаны с отказом оборудования, можно увидеть, что 2,7% непосредственно связанных событий имели человеческие последствия, по сравнению с 9,4% косвенно связанных. Детальный анализ человеческих последствий между прямо и косвенно связанными событиями также показывает важные различия между пропорциями типов человеческих последствий [2].

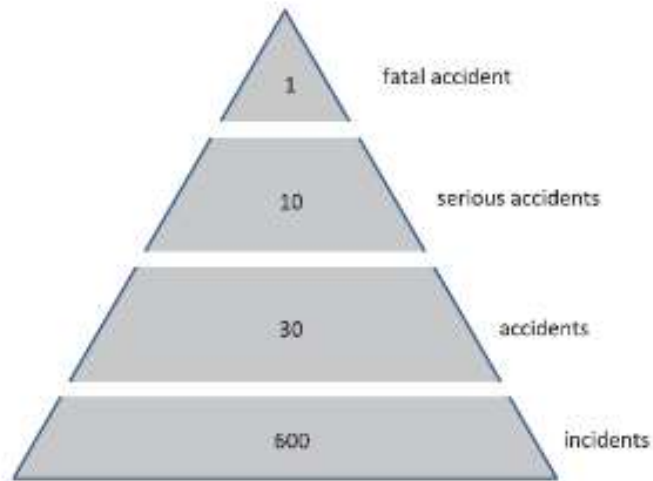


Рисунок 2 – Пирамида Берда [2]

Чтобы попытаться определить, существует ли типичная схема отказов, приводящая к случайным событиям с человеческими последствиями, был проведен комбинированный анализ с использованием некоторых критериев классификации отказов, продемонстрированных ранее. Таблица 1 показывает, что 13 несчастных случаев, имевших человеческие последствия, не представлены как типичные случаи. Действительно можем отметить, что большое разнообразие типов отказов может прямо или косвенно привести к случайным событиям, связанным с человеческими последствиями. Единственным существенным элементом является то, что все сбои, непосредственно связанные с этими авариями, повлияли на основную функцию неисправного блока. [2]

Таблица 1 – Классификация отказов оборудования, связанных со случайными событиями с человеческими последствиями [2]

Speed of occurrence of the failure	Scale of the failure	Speed of occurrence and scale of the failure	Causes of the failures	Defective function	Number of accidental events involving human consequences
<b>Failure classification</b>					
Sudden	Complete	Catalectic	Primary	Primary	2
Sudden	Complete	Catalectic	Secondary	Primary	1
Sudden	Partial	n/a	Primary	Primary	1
Progressive	Complete	n/a	Primary	Primary	1
<b>Accidental events directly linked to the failures: total 5</b>					
Sudden	Complete	Catalectic	Primary	Secondary	2
Sudden	Complete	Catalectic	Secondary	Primary	2
Unclassifiable	Complete	Unclassifiable	Primary	Unclassifiable	1
Sudden	Complete	Catalectic	Unclassifiable	Primary	1
Sudden	Partial	n/a	Primary	Secondary	1
Progressive	Partial	By deterioration	Primary	Primary	1
<b>Accidental events indirectly linked to the failures: total</b>					8
<b>Accidental events involving human consequences: total</b>					13

Основываясь на принципе пирамиды Берда, результаты этого исследования предполагают, что повышение надежности оборудования было

бы уместной и полезной превентивной мерой для обрабатывающей промышленности.

Классификация неудач позволила выделить несколько интересных фактов. Неудивительно, что механические поломки являются наиболее распространенными с долей 65%, за которыми следуют поломки, связанные со строительством, с долей 15%. 13 несчастных случаев с человеческими последствиями были вызваны отказами механических и строительных компонентов. Отсюда ясно, что этим компонентам следует уделять первоочередное внимание из-за количества связанных с ними событий и серьезности их последствий для человека. Анализ данных также показывает, что каталектические сбои, которые являются внезапными и полными, чаще встречаются как для прямых, так и для косвенных событий и, возможно, более доминируют для прямых случаев. Следовательно, сбои в работе катализатора представляют высокий уровень риска, поскольку они связаны с большим количеством несчастных случаев, из которых 8 из 13 имели человеческие последствия. Каталектические сбои, как правило, являются случайным явлением. Следовательно, предотвращение этих отказов возможно с помощью системы профилактического обслуживания, улучшения в отношении выявления скрытых отказов, использования отказоустойчивых систем и анализа первопричин повторяющихся отказов.

Оценка риска аварии на нефтепроводе предполагает изучение различных типов сценариев, которые вызваны природными и техногенными причинами. Однако некоторые факторы могут способствовать возникновению аварии, а именно потеря целостности трубопровода или увеличение ущерба. Этими факторами являются среднегодовые перепады температуры воздуха, высокий уровень снежного покрова зимой, прохождение трубопровода через водные объекты. Считается, что иницирующим событием является потеря целостности трубопровода из-за разрыва или прокола участка трубопровода. Выходное событие формирует такие неблагоприятные факторы, как тепловое излучение (при пожаре, вызванном разливом нефти) или избыточное давление взрыва (при взрыве паров нефти). Результаты этого исследования включают следующее:

- основной причиной аварии нефтепровода является износ и коррозия металла, которые вызваны, а также местными климатическими условиями;
- наиболее опасными являются участки трубопровода, которые имеют пересечения с водными объектами. Экологический ущерб является основным неблагоприятным последствием таких аварий;
- смертельная травма для обслуживающего персонала трубопровода возможна во время осмотра трубопровода или строительно-монтажных работ, если время их присутствия и возникновения аварии совпадут;
- полученные индивидуальные, социальные, общественные и потенциальные риски можно сравнить с приемлемыми значениями.

Среди проанализированных крупных аварий наиболее распространенными событиями являются пожары (наиболее частым типом

пожаров являются реактивные пожары), за которыми следуют взрывы. Это связано с тем, что большинство транспортируемых жидкостей являются легковоспламеняющимися; наибольший вклад вносят бензин, природный газ и нефть, которые были вовлечены в 83% всех аварий.

Последствия аварии зависят от размера аварийного порта. Для оценки рисков

Существует два типа сценариев, связанных с разливами нефти из-за потери целостности трубопровода. Для анализируемых участков объекта исследования были определены следующие сценарии:

– тип 1. Разлив нефти из-за разрыва трубопровода - гильотинный разрыв (типичный размер отверстия (отношение длины отверстия к номинальному диаметру (D) трубопровода) составляет 1,5D).

– тип 2. Разлив нефти из-за прокола трубопровода - газовый карман (типичный размер отверстия составляет 0,3 D).

Последствия разлива нефти будут иными. Это зависит от способа разрушения (разрыв, прокол), времени года (лето, зима), местных условий (суша, болото, водоемы). Чтобы оценить максимальный риск, есть веская причина рассмотреть возможность несчастного случая летом, поскольку в это время температура воздуха самая высокая и возникновение неблагоприятных факторов более вероятно. Анализ несчастных случаев зимой не обсуждается в этой работе из-за менее значительных последствий.

Однако техническое обслуживание трубопровода в зимний период является существенным фактором, повышающим вероятность аварий.

#### Список использованной литературы

1. Accident Investigation Department of Labor, Mine Safety and Health Administration Safety Manual / N. 10. - P. 1 – 10.

2. Bourassa Dominic, Gauthier François, Abdul-Nour Georges Equipment failures and their contribution to industrial incidents and accidents in the manufacturing industry / Dominic Bourassa, François Gauthier & Georges Abdul-Nour // - 2016. - V. 22. - N. 1. - P. 131–141.

3. Statistical analysis of environmental consequences of hazardous liquid pipeline accidents Chiara Belvederesi, Megan S. Thompson, Petr E. Komers MSES / 2018.

4. Johnny ZAMBRANO, Sergei V. KOVSHOV, Evgenii A. LYUBIN Risk Assessment of Oil Pipeline Accidents in Special Climatic Conditions / ZAMBRANO Johnny, KOVSHOV Sergei V., LYUBIN Evgenii A. // - Saint-Petersburg. - P. 190-196.

5. J. Giovanni Ramírez-Camachoa, Federica Carboneb, Elsa Pastora, Roberto Bubbicob, Joaquim Casa Assessing the consequences of pipeline accidents to support land-use planning / Ramírez-Camachoa J. Giovanni, Carboneb Federica, Pastora Elsa, Bubbicob Roberto, Casa Joaquim // - Italy.



6. Любчик А.Н., Крапивский Е.И., Большунова О.М. Прогнозирование технического состояния магистральных трубопроводов на основе анализа аварийных ситуаций // Записки Горного института. 2011. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-tehnicheskogo-sostoyaniya-magistralnyh-truboprovodov-na-osnove-analiza-avariynyh-situatsiy> (дата обращения: 14.06.2022).

**АНАЛИЗ РИСКОВ И ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СМЯГЧЕНИЮ  
ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАСЕЛЕНИЕ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ АВАРИЯХ НА ОПАСНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

**Рыжков Евгений Вячеславович**

Научный руководитель: Пояркова Екатерина Васильевна доктор техн. наук,  
доцент, зав. кафедрой механики материалов и конструкций машин  
*Оренбургский государственный университет*

**RISK ANALYSIS AND SELECTION OF MEASURES TO MITIGATE  
THE CONSEQUENCES OF IMPACT ON THE POPULATION OF AN  
EMERGENCY IN ACCIDENTS AT HAZARDOUS INDUSTRIAL  
FACILITIES**

**Ryzhkov Evgeny Vyacheslavovich**

Supervisor: Poyarkova Ekaterina Vasilievna, Doctor of Engineering Sciences,  
Associate Professor, Head. department mechanics of materials and machine  
structures

*Orenburg State University*

*Аннотация: В данной работе рассматривается анализ рисков при эксплуатации оборудования на опасных производственных объектах.*

*Ключевые слова: анализ, опасный производственный объект, оборудование.*

*Annotation: This paper considers the analysis of risks in the operation of equipment at hazardous production facilities.*

*Key words: Analysis, hazardous production facility, equipment.*

Анализ риска аварий на опасных производственных объектах (далее по тексту – анализ риска, ОПО) является одним из аспектов промышленной безопасности.

Главной задачей анализа риска является постоянное и систематическое использование и дополнение всей информации, используемой для дальнейшей

идентификации возможных опасностей и оценки риска аварий и инцидентов, на опасных производственных объектах. При декларировании безопасности ОПО, при обосновании решений, связанных с безопасностью при изменении технологических процессов, а также страховании и анализе экономической безопасности, используется заключение, в котором представлены результаты анализа рисков.

Определенные требования, предъявляемые к анализу риска, уточняются технологическими регламентами и нормативными актами, которые отражают непосредственно специфику рассматриваемого предприятия.

Одними из основных задач выполняемым анализом риска на предприятиях, отнесенных к ОПО, является предоставление руководителям объекта:

- достоверной и объективной информации, о текущем состоянии промышленной безопасности эксплуатируемого объекта;
- сведений, показывающих наиболее слабые места в области промышленной безопасности;
- рекомендаций, имеющих обоснованное решение, по уменьшению риска.

При проведении анализа риска данный процесс включает в себя несколько основных этапов:

- организация и планирование работы;
  - проведение идентификации опасностей объекта;
  - оценка риска;
  - расчет и разработка рекомендаций для сокращения риска;
- На стадии планирования работ необходимо:
- выбрать опасный производственный объект, предоставляемый для анализа, дать общее описание данного объекта;
  - выделить и описать основные проблемы и причины, вследствие которых возникла необходимость проведения анализа риска;
  - создать группу специалистов, которые будут проводить анализ риска;
  - найти и раскрыть источники информации об обследуемом объекте;
  - определить ограничения для исходных данных, финансовых затрат и других аспектов, которые будут определять насколько полно, глубоко и детально будет проведен анализ риска;
  - наиболее точно определить задачи и цели при проведении анализа риска;
  - разработать обоснование для используемых методов для проводимого анализа риска;
  - определить критерии приемлемого риска.

С целью выполнения анализа риска с высокими показателями качества, необходимо использовать знания о закономерностях приводящих к возникновению и дальнейшему развитию аварий на ОПО.

При наличии подобных ОПО, для которых имеются готовые результаты анализа рисков, можно использовать эти данные в качестве исходных данных.

Тем не менее, при использовании таких данных необходимо показать, что объекты исследования и технологические процессы идентичны, а те отличия, которые имеются, не вносят серьезных поправок в результаты анализа риска.

Главной задачей на этапе идентификации опасностей – обнаружение и конкретное определение всевозможных источников аварий и инцидентов и сценариев их развития. Данный этап является наиболее ответственным, потому что при упущении возможной опасности возникновения аварии приведет к исчезновению сценариев ее развития.

При проведении идентификации рисков необходимо обнаружить технологические процессы, составляющие, элементы, блоки, или устройства нуждаются в наиболее точном анализе, а какие из них являются менее опасными с точки зрения промышленной безопасности.

Результатом работы по анализу опасности аварий является:

- список возможных нежелательных происшествий;
- перечень факторов риска, возможных источников опасностей, а также условий, при которых могут возникнуть нежелательные события;
- предварительное заключение о возможных опасностях и рисках, а также характеристика опасных веществ, используемых на предприятии для расчет отдельных сценариев.

На этапе оценки риска аварии можно выделить основные этапы:

- частота возникновения опасных событий и аварий;
- оценка при осуществлении одного из нежелательных событий;
- обобщение всех рисков.

Во время определения частоты возникновения нежелательных событий необходимо пользоваться:

- статистикой по авариям и опасным событиям на смежных производственных объектах;
- готовыми методами для анализа (дерево отказов, событий);
- заключениями экспертов в области промышленной безопасности.

Обобщенная оценка риска (или степень риска) аварий должна отражать состояние промышленной безопасности с учетом показателей риска от всех нежелательных событий, которые могут произойти на опасном производственном объекте, и основываться на результатах:

- интегрирования показателей рисков всех нежелательных событий (сценариев аварий) с учетом их взаимного влияния;
- анализа неопределенности и точности полученных результатов;
- анализа соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности и критериям приемлемого риска.

Заключительным этапом оценки и уменьшению риска, является разработка рекомендаций для снижения рисков.

Как правило, досконально изучаются меры по предупреждению возникновения опасных событий, основанные на расчетах при оценке рисков. Такие меры могут иметь как технологический, технический, так и организационный характер.

При определении достаточности мер по предупреждению аварий и инцидентов главное значение играет общая оценка достаточности и надежности мер, которые оказывают влияние на риск, а также на финансовые затраты на их реализацию.

При эксплуатации опасного производственного объекта высокое качество организационных мер может частично компенсировать недостаточность мер по исправлению технических рисков оборудования.

При разработке мер по снижению рисков аварий при ограниченных финансовых затратах в первую очередь необходимо разработка наиболее простых и малозатратных рекомендаций по снижению рисков, а также меры, которые в дальнейшем могут быть использованы для модернизации действующих мер.

Чаще всего одними из первых мер для повышения безопасности и снижению рисков являются меры по предупреждению аварии. Главными приоритетами таких мер являются:

- уменьшение вероятности возникновения аварии или инцидента;
- уменьшение вероятности ухудшения ситуации;
- уменьшение тяжести последствий при возникновении аварии или инцидента.

#### Список использованных источников

1. Постановление Госгортехнадзора РФ № 30 от 10.07.2001 "Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. РД 03-418-01"
2. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г. № 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021);
3. Галеев А.Д. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах / С.И. Поникаров, А.Д.Галеев// Издательство КНИТУ 2017.

# **Секция**

## **«Роль механики в решении проблем современного общества»**

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

**Белякова Дарья Евгеньевна, Фазлиева Рузия Аликовна**

Научный руководитель: Дырдина Елена Васильевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин  
*Оренбургский государственный университет*

## ADDITIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

**Belyakova Daria Evgenievna, Fazlieva Ruziya Alikovna**

Scientific supervisor: Dyrдина Elena Vasilyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines  
*Orenburg State University*

*Аннотация. Архитектурная наука не стоит на месте. Она постоянно меняется, появляются новые способы возведения зданий и новых строительных сооружений. Хорошей перспективой для развития в индустрии строительства являются аддитивные технологии. Аддитивные технологии – процесс соединения материалов для изготовления деталей по цифровой модели, как правило, послойно или без изменения его геометрии. В настоящий момент тема аддитивных технологий считается малоизученной, так как перспективные разработки и эксперименты в данной области только начинают развиваться.*

*Ключевые слова: аддитивные технологии, строительство, архитектура, материалы, наука*

*Abstract. Architectural science does not stand still. It is constantly changing, there are new ways of erecting buildings and new construction structures. Additive technologies are a good prospect for development in the construction industry. Additive technologies are the process of joining materials for the manufacture of parts according to a digital model, usually in layers or without changing its geometry. At the moment, the topic of additive technologies is considered little studied, since promising developments and experiments in this area are just beginning to develop.*

*Keywords: additive technologies, construction, architecture, materials, science*

3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. Изначально термина «3D-печать» не существовало, и инновационные технологии назывались «быстрое прототипирование». Новый термин появился в 1995 году благодаря двум студентам Массачусетского

технологического института – Джиму Бредту и Тиму Андерсону. Они перестроили струйный принтер так, чтобы он делал объемное изображение в специальной ёмкости, после чего запатентовали идею.

Аддитивные технологии широко применяются в разных сферах деятельности человека. Их используют в автомобильной промышленности, энергетике, пищевой промышленности, архитектуре/дизайне, машиностроении, процессе создания сувениров, игрушек, потребительских товаров и так далее. Рассмотрим подробнее сферу строительства. За последние годы в этой сфере произошел настоящий прорыв, люди научились печатать на 3D-принтерах сначала отдельные стены, потом гаражи и малоэтажные здания, а затем и более масштабные проекты.

В эпоху инновационной экономики время, затраченное на производство товара, является важнейшим фактором успеха или неуспеха бизнеса. Даже качественно произведенный товар может оказаться невостребованным, если рынок к моменту выхода новой продукции уже насыщен подобными товарами компаний-конкурентов. Поэтому все больше направлений промышленности активно осваивают АМ-технологии. Все чаще их используют научно-исследовательские организации, архитектурные и конструкторские бюро, дизайн-студии и просто частные лица для творчества или в качестве хобби. Во многих колледжах и университетах аддитивные машины, или, как их часто называют, 3D-принтеры являются неотъемлемой частью учебного процесса для профессионального обучения инженерным специальностям.

Сущность 3D-печати строительных конструкций заключается в послойном отверждении строительной смеси по 3D-модели, подготовленной методом компьютерного 3D-моделирования. Модель в формате STL или SLC разбивается на слои программой подготовки рабочего файла, который затем отправляется на 3D-принтер для печати. Печатающая головка принтера, двигаясь вдоль направлений X и Y, печатает рисунок сечения модели строительной смесью, например, бетоном, гипсом или каолиновыми смесями. При завершении слоя головка поднимается вдоль направления Z на толщину нового слоя, печатает новый слой, и так до завершения построения изделия. Печатающая головка конструктивно состоит из бункера (накопителя) с мешалкой, шнекового экструдера (не исключено применение других видов, в том числе и роторного), который формирует необходимый слой бетона. Во время печати можно оперативно корректировать геометрию выдавливаемого слоя, изменять скорость печати, добиваясь максимального качества.

Преимущества применения АМ технологий в строительной индустрии:

1. Дом, спроектированный под индивидуального заказчика с учетом его требований, строится за 1 день (без отделки). При этом изготовление сборных модулей, строительных элементов происходит за пределами стройплощадки.
2. Достойное и приемлемое жилье для людей с низкими доходами.
3. Комфортабельные жилые убежища для длительного пользования пострадавшими от стихии; строятся очень быстро.

4. Строительство без отходов, шума, пыли и загрязнений воздуха.
5. Нет инцидентов и травм на строительных площадках, нет соответствующих судебных разбирательств.
6. Любое отклонение от стандартного проекта (например, использование криволинейной поверхности вместо прямой стены) не повлияет на стоимость построенного объекта по сравнению с аналогичной ситуацией в традиционном строительстве.

Результаты обзора аддитивных технологий для строительной индустрии и опыта их применения показывают хорошие перспективы для развития этого направления. Материалы практически те же, что и при монолитном строительстве. Экономия возникает только за счет автоматизации производства, возможности быстро и без особых трудозатрат сделать сложные формы фасадов, конструктив стен. Кроме того, 3D-печать – это некий дополнительный инструмент, с помощью которого удобно решать ряд строительных задач. Ее удел – не только единичные авторские постройки, но и массовое применение, например, очень сложные многокамерные стены с большим количеством полостей под коммуникации.

Недостатками принтера при масштабном внедрении в постройку домов являются: высокая стоимость, чувствительность к окружающей среде, отсутствие единых стандартов.

Используемые в строительстве принтеры представлены следующими видами:

1. Портальные принтеры (XYZ). Представлены рамой с подвижной головкой экструдера. Устройство подачи смеси перемещается по осям XYZ. Высокая точность экструзии обеспечивается шаговыми двигателями. Основное применение оборудование находит при печати отдельных частей зданий и возведении стен, при условии расположения портального принтера внутри строящегося здания. Если площадь объекта соответствует арке экструдера, он сразу печатается целиком.

2. Дельтовидные принтеры. В отличие от портальных установок, головка дельта-принтера может совершать более сложные перемещения, что выражается в создании сложных геометрических фигур. Для фиксации и движения головки используются гибкие рычаги.

3. Роботизированные принтеры. Представлены роботами в виде промышленных манипуляторов, которые снабжены экструдерами. Управляются с помощью компьютера. Располагаются в центре площадки, откуда рука-манипулятор доставляет смесь на требуемый участок.

4. D-Shape. Относятся к отдельному классу строительного 3D-оборудования. Вместо раствора здесь используется специальный порошок, который после укладки и уплотнения подвергается пропитке связывающим веществом, подаваемым тем же экструдером.

Большая часть строительных 3D-принтеров не предназначена для работы под открытым небом. Такое оборудование используется в цехах для печати отдельных элементов, которые впоследствии отправляются на участок



возведения здания. Исключение представляют мобильные системы, способные к работе в условиях стройки.

Примерами успешного использования АМ-технологий в строительстве являются офисный комплекс в Дубае, павильон Вулкан в Пекине, жилой дом, Окриджская национальная лаборатория. Технологии 3D-печати также применяются и в России. Примерами этому могут служить жилые дома, напечатанные в Ярославле и Иркутске.

Офисный комплекс в Дубае (рис.1). Компания Winsun (Китай) занимается оказанием услуг по строительству, используя порталные 3D-принтеры собственной разработки. Данный комплекс в Дубае был построен всего за 17 дней и использовался для временного размещения Фонда будущего Дубая. Интерьер был изготовлен также с помощью аддитивных технологий. В настоящее время «Офис будущего» эксплуатируется фондом Future Foundation и используется для проведения выставок, конференций и других мероприятий.



Рисунок 1 – Офисный комплекс в Дубае

Павильон Вулкан в Пекине (рис.2). Павильон Вулкан напоминает облака при извержении вулкана. За 30 дней на 20 принтерах (FDM) были изготовлены более 1000 деталей павильона и затем собраны вместе.

Жилой дом, Окриджская национальная лаборатория (ORNL) (рис.3): проект AMIE (интеграция аддитивных технологий и энергии). Проект состоит из напечатанного здания и автомобиля, изготовленного с применением АМ-технологий. Компания SOM (Skidmore, Owings & Merrill LLP) разработала структуру здания, которая состоит из объемных полимерных панелей, напечатанных на 3D-принтере. Панели выполняют несколько функций, присущих традиционной стеновой панели: несущая нагрузка опора, тепло-, гидро- и звукоизоляция, внешняя облицовка.

Технологии 3D-печати также применяются и в России. Примерами этому могут служить жилые дома, напечатанные в Ярославле и Иркутске.



Рисунок 2 – Павильон Вулкан в Пекине



Рисунок 3 – Жилой дом, Окриджская национальная лаборатория

Программы для работы с 3D-моделями. Лидирующими программами в области 3D-моделирования являются коммерческие продукты: SketchUp, Autodesk 3ds Max, Autodesk Maya, Autodesk Softimage, Blender и многие

другие. В качестве отечественного аналога можно использовать программу компас-3D. Среди открытых продуктов, распространяемых свободно, числится пакет Blender, K-3D и Wings3D.

Первым этапом работы по созданию печатной модели моста Золотые ворота было создание цифровой модели в программе SketchUp. Затем файл был переведен в STL-формат, который широко используется для хранения трёхмерных моделей объектов для использования в аддитивных технологиях. И уже в программе Cura модель подверглась слайсингу. Среди наиболее популярных слайсинговых программ можно отметить Kisslacer, Skineforge, Slic3r, Cura.

Программы-слайсеры разрезают модель на тонкие горизонтальные пластины и преобразуют в цифровой G-код, понятный трёхмерному принтеру. Программа-слайсер как бы задаёт траекторию движения печатающей головки 3D-принтера при нанесении расходного материала.

На этапе подготовки 3D-принтера к работе следует наклеить на рабочую платформу специальную самоклеющуюся плёнку и загрузить в специальный отсек бобину с полимерными нитями. Самыми популярными видами пластика для 3D-печати являются ABS и PLA. Пластик ABS формирует непрозрачные ударопрочные термопластичные объекты, Бобина устанавливается на подставку, подрезается конец нити, чтобы он был ровным. Для печати нельзя использовать грязные, повреждённые или изломанные нити, которые могут повредить принтер, вывести его из строя. Конец нити заправляется в отверстие для подачи и продвигается вперёд до тех пор, пока он не упрётся в экструдер. Через несколько секунд из экструдера появится мягкая нить расплавленного пластика. Теперь можно приступить к печати. Следующим этапом была непосредственно печать 3D-объекта и его финишная обработка. Печать производилась на кафедре механики материалов, конструкций и машин.

Если объект имеет нависающие элементы, выступы, консоли, то 3D-принтер во время печати использует поддерживающие конструкции (они же – конструкции поддержки, структуры поддержки). За счёт добавленных конструкций детали не висят в воздухе, а опираются на рабочую платформу, что позволяет принтеру их напечатать. После окончания печати, поддерживающие конструкции удаляются. Если поддержки напечатаны из того же материала, что и основная модель, то удалить их довольно сложно. Отрезание или отламывание таких конструкций портит и без того не идеальную поверхность объекта. Поэтому в большинстве современных принтеров используются дополнительные восковые материалы, которые легко удаляются при финишной обработке и не оставляют следов на поверхности объекта.

*Вывод.* Благодаря применению аддитивных технологий можно создавать архитектуру будущего, которая будет реагировать на потребности человека и при этом будет частью природной среды. Данные технологии могут гарантировать улучшение экологической среды и

гармонизацию техногенной урбанизированной среды. Аддитивные технологии позволяют создавать формы, которые раньше не позволяли конструктивные нагрузки. Поэтому, можно сказать, что данные технологии несут огромный вклад в развитие строительства и архитектуры.

#### Список использованной литературы

1. Антонова В.С., Осовская И.И. Аддитивные технологии: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2017. – 30 с.
2. Всё о 3D-печати. Аддитивное производство. Основные понятия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology](https://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology)
3. Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы. – Журнал «Аддитивные технологии» 1-2022 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-oborudovanie-i-materialy.html>
4. Аддитивные технологии в строительстве: примеры и перспективы применения (часть 2) – Журнал «Аддитивные технологии» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.3dpulse.ru/news/zhurnal-additivnye-tehnologii/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-primery-i-perspektivy-primeneniya-chast-2/>

### **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Сагдеев Николай Русланович**

Научный руководитель: Решетов Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин  
*Оренбургский Государственный Университет*

### **THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF THE AUTOMOBILE ENGINE**

**Sagdeev Nikolay Ruslanovich**

Scientific supervisor: Reshetov Sergey Yurievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines  
*Orenburg State University*

*Аннотация. В докладе приводится ретроспектива развития конструкции автомобильного двигателя начиная с XVIII века и до наших дней. Приводятся интересные исторические факты о первых прототипах автомобильных двигателей, разработанных задолго до создания первого*

самодвижущегося экипажа. Рассмотрены вопросы конструкции современных карбюраторных и инжекторных двигателей. Приведены прогнозы по развитию современного автомобильного двигателестроения.

Ключевые слова: двигатель, карбюратор, инжектор, коробка передач, автомобиль.

*Abstract. The report provides a retrospective of the development of the automotive engine design from the XVIII century to the present day. Interesting historical facts about the first prototypes of automobile engines developed long before the creation of the first self-propelled crew are given. The design issues of modern carburetor and injection engines are considered. Forecasts for the development of modern automotive engine building are given.*

*Keywords: engine, carburetor, injector, gearbox, car.*

Создания первого автомобильного двигателя было ещё в 1768 году когда стали создавать паросиловые машины, впервые появившихся в Англии и способных перевозить человека. В 1806 году появились первые машины, приводимые в движение двигателями внутреннего сгорания на английском горючем газе. Это поспособствовало к выпуску в 1885 году повсеместно использованию газолинового или бензинового двигателя внутреннего сгорания по сей день.

Началом истории автомобильного двигателя стала пушка, где порох взрывается и силой энергии взрывной волны выталкивал поршень (принцип работы пушки показан на рисунке 1). По такому же принципу работает двигатель внутреннего сгорания, где отличие состоит в том, что благодаря расширению газов поршень толкает коленчатый вал и возвращается обратно, входит в постоянный цикл (принцип работы двигателя показан на рисунке 2). Принцип работы двигателя схож с принципом работы пушки, но в роли ядра в двигателе выступает поршень [1].

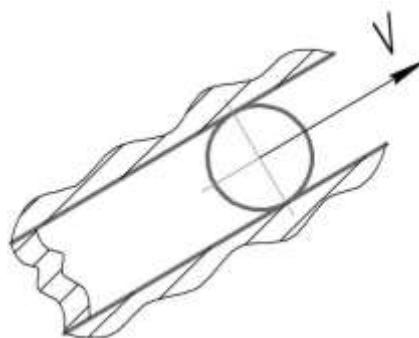


Рисунок 1 – Принцип работы пушки

Франсуа Исааком де Риваз в 1806 году дал толчок к развитию автомобильного двигателя, благодаря своим экспериментам с использованием расширительных газов. Сэмюэл Браун, английский инженер, продолжил идею

Франсуа Исааком де Риваза, создав первый двигатель в 1825 году работающий на водороде. Сам автомобиль построил Этьен Ленор, бельгийский учёный, с одноцилиндровым двигателем. Этот автомобиль был назван «Гиппомобиль» (рисунок 3). В 1860 году тестовый пробег из Парижа в Жуанвиль-ле-Пон обвенчался успехом, когда Этьен Ленор, проехал примерно девять километров двигаясь, двигаясь со скоростью скоростью три километра в час.

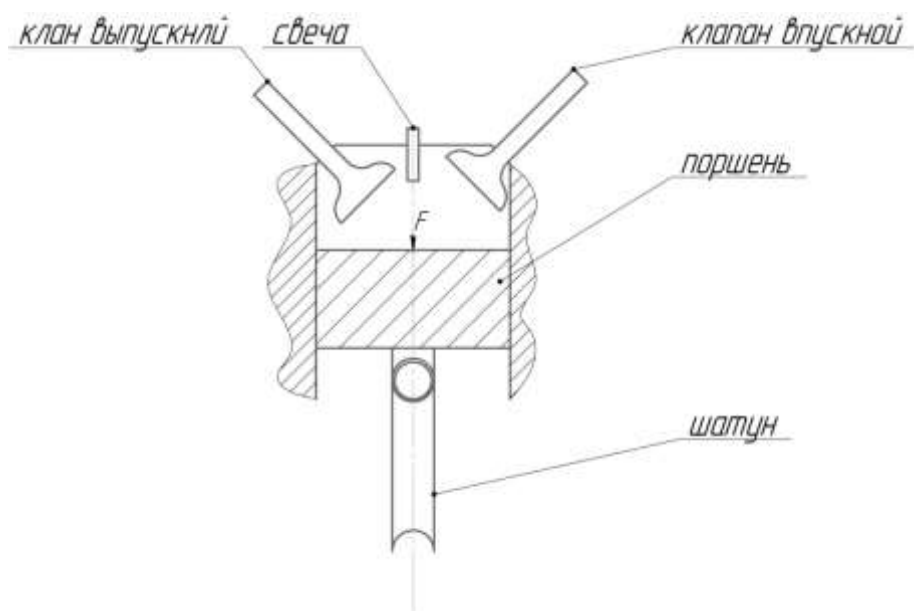


Рисунок 2 – Принцип работы двигателя

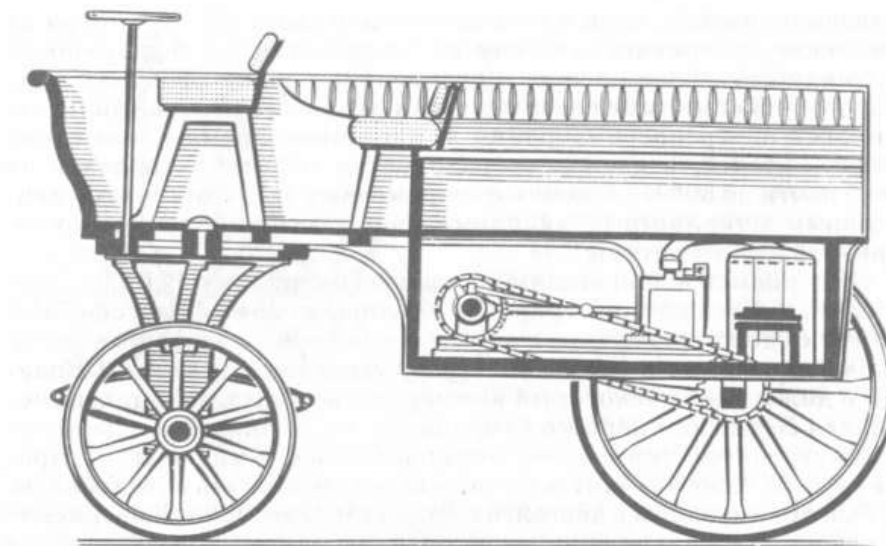


Рисунок 3 – Гиппомобиль Бельгийца Этьена Ленора

В 70-х годах XIX века изобретатель [Зигфрид Маркус](#) в [Вене](#) поместил уже бензиновый двигатель внутреннего сгорания на простую тележку, что сделало его первым человеком, создавшим самоходную тележку работающую на бензиновом топливе. А также был основоположником в создании

карбюратора, предложив свою идею по первой конструкции автомобильного карбюратора. Сегодня этот автомобиль мы можем увидеть под названием «первая машина Маркуса» (рисунок 4). Ещё Маркус получил немецкий патент на низковольтную систему зажигания типа магнето в 1883 году. Такая технология была использована во всех следующих двигателях. Так же существует ещё одна машина Зигфрида Маркуса «второй машине Маркуса», которую он создал в 1888/89. Особенность в этой машине было присутствие первого автомобильного генератора.

Известно, что первый автомобиль с бензиновым двигателем был сконструирован одновременно несколькими немецкими инженерами: Карл Бенц, который построил свой первый автомобиль «Benz Patent-Motorwagen» в 1885 году в Мангейме. Чуть позже в 1889 году Готлиб Даймлер и Вильгельм Майбах сконструировали свой первый автомобиль Daimler Stahlradwagen (нем. автомобиль Даймлера со стальными колёсами).



Рисунок 4 – Первая машина Маркуса

Также 29 января 1886 года К.Бенц свой получил патент на автомобиль (рисунок 5) и начал первый выпуск автомобиля. В 1888 году стартовали официальные продажи после того как Берта Бенц со своими сыновьями в 1888 году отправилась к своей матери от Мангейма до Пфорсгейма и вернулась обратно в августе. Интересно, что в связи с тем, что автомобиль немо взбираться в гору, он постоянно глох, из-за чего в основном сыновья толкали автомобиль почти всю поездку.



Рисунок 5 – Первый автомобиль «Benz Patent-Motorwagen»

Известно, что в 1887 году Бёрта Бенц подвигла Карла Бенца на создание первой коробки переада. Диапазон вращения двигателя был от 1000 до 6000 оборотов в минуту (об/мин). Понятно, что на 6000 об/мин все механические органы двигателя быстро изнашивались, особенно когда практически везде стояли ремённые переадачи, ремни в свою очередь тогда были слеланы из натуральной кожи. После этой поездки К. Бенц усовершенствовал свой автомобиль установив вспомогательную переадачу.

Первая коробка переадач была весьма примитивным устройством. Она представляла собой два шкива различного диаметра, установленные на ведущей оси. С валом соединял кожаный ремень. Рычаги помогали переставлять ремень. Со временем кожаные ремни по причине их низкой выносливости были заменены на цепь, а шкивы – на звездочки. Подобный механизм до сих пор успешно используется в скоростных велосипедах. Впоследствии появились синхронизаторы, позволившие частично автоматизировать процесс ручного переключения переадач.

Также Бенц взял патент на акселератор, систему зажигания, работающую от батареи и свечу зажигания, карбюратор, сцепление, коробку переадач и водяной радиатор охлаждения.

Настоящая битва умов по созданию автомобильных двигателей пришла на вторую половину XIX века: большая часть инженеров, учёных хотели создать свой двигатель и войти в историю: Инженеры Банзатий и Мачиучи, Бадруша, Минуар и Лиоте. Но некоторые пытались сделать на этом бизнес, как например Бенц, который прославился своим автомобилем с 0,8 лошадиной силой.

Удивительно, но факт, карбюраторные двигатели выпускались вплоть до 2015/2016 года, изменялся только внешний вид автомобиля и модернизировался двигатель, но принцип работы двигателя оставался прежним. В 1980 году начался плавный переход на инжекторные двигатели.

Инжекторные двигатели появились еще в 30-х годах XX века, но из-за сложной конструкции некоторых особо ответственных узлов, не нашли своего



применения и отсрочилось на целых 50 лет. Первые инжекторные двигатели промышленного стали производства появились в начале 80-х годов XX века и пользуются большим спросом до сих пор. Нет ничего удивительного в том, что инжекторные двигатели сначала создавались для самолётов. Это обусловлено тем, что инжектор в отличие от карбюратора имеет электронный впрыск топлива и способен корректно работать на высоте, и в вертикальном положении.

Самые распространённые недостатки инжекторных двигателей это:

- при обслуживании двигателя, обязательно нужен специалист;
- практически полностью зависит от электричества (обусловлено наличием многих необходимых датчиков);
- дефицит многих деталей;
- сложное строение.

Как раз эти недостатки инжекторного двигателя не смогли войти в массовый обиход в 1930-х годах.

Само появление инжектора, как электронный впрыск топлива вовсе не было следствием недавнего развития высоких технологий. Впервые инжектор увидел свет на дизельных двигателях американской компании Adams-Farwell в 1910 году. Но сам дизельный двигатель (рисунок 6) был изобретён в 1897 году, который был пригоден для серийного производства. Автором изобретения стал немецкий инженер Рудольф Дизель. Ему понадобилась семнадцать лет упорного труда для того, чтобы достигнуть успеха.



Рисунок 6 – Первый дизельный двигатель

Из положительных черт, двигатель имеет:

- высокий крутящий момент;
- устойчивой тягой с самых низких оборотов;
- упрощенная конструкция;
- высокий КПД;
- длительный эксплуатационный ресурс.

Также дизельный двигатель имеет свои недостатки:

- ценообразование (дороговизна деталей);
- требовательность к обслуживанию (по сравнению с бензиновыми).

Длительность прогрева в сочетании с высоким КПД силового агрегата приводит к тому, что в процессе его работы на тепло расходуется меньшее количество энергии. Таким образом, при значительной производительности, позволяющей осуществлять короткие поездки по городу, мотор одновременно остается «холодным» практически на всем их протяжении, в результате чего снижается его эксплуатационный ресурс.

Электромобиль появился раньше, чем двигатель внутреннего сгорания. На настоящее время выпускаются электроавтомобили (электромобили), где наибольшую долю рынка имеют электроавтомобили от компании «Tesla», которой руководит небезызвестный предприниматель Илон Маск. Говорить то, что Илон Маск изобрёл электроавтомобили – это заблуждение, он со своей командой лишь усовершенствовал приводной электродвигатель транспортной трансмиссии. А сам прообраз электродвигателя, применяемого в современных электромобилях, был создан ещё в далеком 1828 году. Венгерский изобретатель Аньош Йедлик смастерил передвигающуюся на электрической энергии тележку, больше напоминающую скейтборд, нежели автомобиль. Впрочем, изобретение А. Йедлика послужило мощным толчком в развитии данного направления автомобильной инженерии. [3]

В настоящее время, принцип работы двигателя по сравнению со своими предшественниками не изменился, двигатели только модернизируются. Например, у инжекторных двигателей внутреннего сгорания появились подвиды:

- рядный двигатель (рисунок 7);
- V-образный (рисунок 8);
- оппозитный (рисунок 9).

Рядный двигатель более простой, но выдаёт меньше значение КПД (формула (1)) по сравнению с V-образным двигателем и оппозитным. В формулах 1– 4 показано как сила тяжести влияет на КПД.

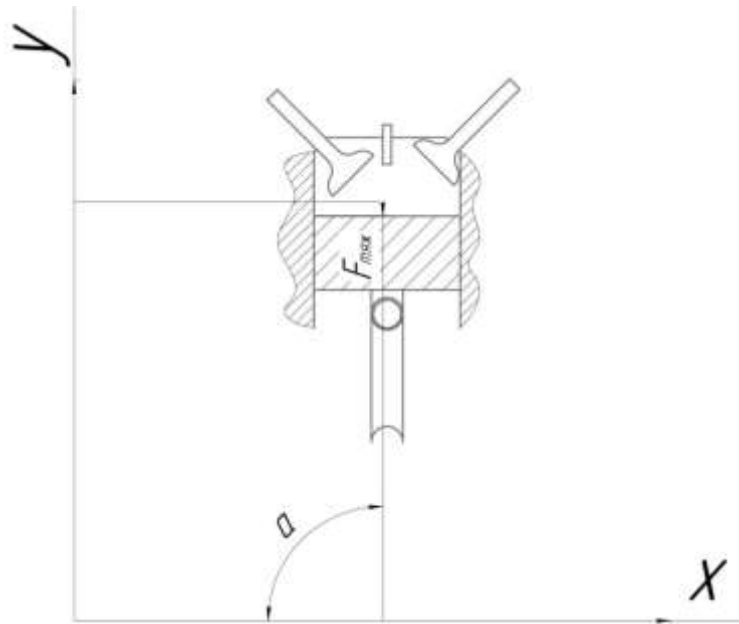


Рисунок 7 – Поршень в блоке рядного двигателя

В общем случае коэффициент  $\eta$  полезного действия (КПД) двигателя равен:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}}, \quad (1)$$

где:  $A_{\text{полезн}}$  – полезная работа;  
 $A_{\text{полн}}$  – полная работа.

Работа силы тяжести, действующая на поршень определяется по формуле:

$$A_{\text{тяж}} = F_{\text{тяж}} \cdot \sin 90 = F_{\text{тяж}}, \quad (2)$$

где  $A_{\text{тяж}}$  – работа силы тяжести действующая на поршень.

V-образный двигатель имеет лучше тягу и больший процент КПД, по сравнению с рядным двигателем. На практике снижая не значительно коэффициент силы тяжести, тяга и плавность разгона значительно увеличиваются.

$$A_{\text{тяж}} = F_{\text{тяж}} \cdot \sin 45 = 0,85 F_{\text{тяж}}. \quad (3)$$

Оппозиционный двигатель выдаёт самый высокий КПД, по сравнению со своими подвидами, так же обладает большей тягой, плавность разгона, большому крутящему моменту, способствует устойчивости машине при

поворотах (т.к. имеет симметричный вид и занимает равномерно всё подкапотное пространство), но сложность в обслуживании.

$$A_{\text{тяж}} = F_{\text{тяж}} \cdot \sin 0 = 0 F_{\text{тяж}} = 0 \quad (4)$$

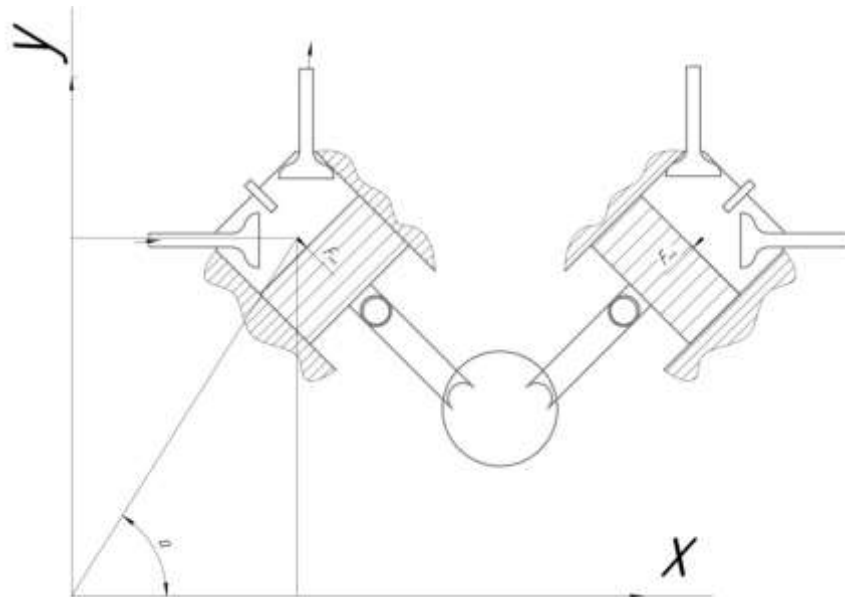


Рисунок 8 – Поршень в блоке V-образного двигателя

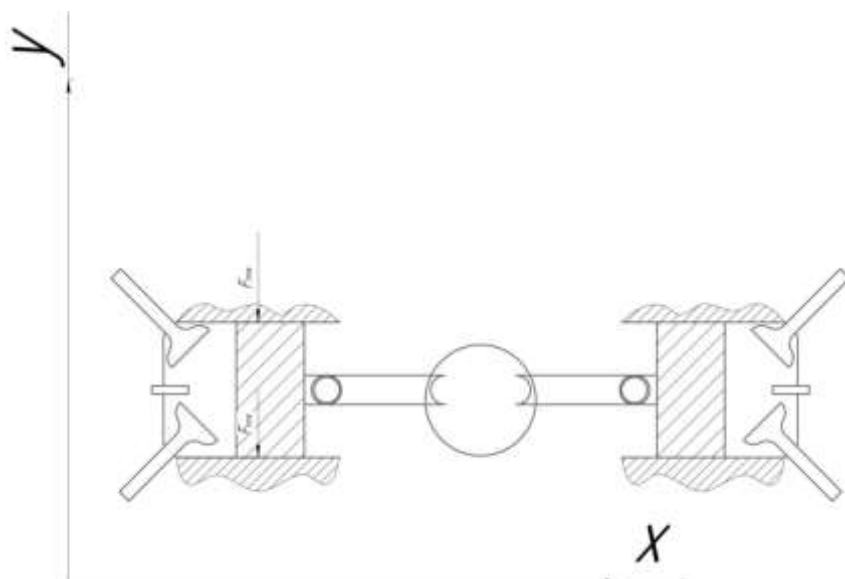


Рисунок 9 – Поршни в блоке оппозитионного двигателя

Мои предположения на счёт будущего автомобильного двигателя в России: мы перейдём либо на карбюраторные двигатели, в связи с тем, что из-за не стабильной политической обстановки и санкций на импорт мы не сможем ремонтировать инжекторные двигатели, либо в рамках импортозамещения мы освоим технологии изготовления, сборки, эксплуатации и ремонта инжектор-

ных двигателей, причем в самое ближайшее время. И третий путь – это переход на электромобили, экологически чистый вид транспорта, если в ближайшее время мы освоим новые технологии в рамках импортозамещения [4].

Рассматривая историю создания автомобильных двигателей, можно сделать вывод: история циклически повторяется: электродвигатель 1828 год, карбюраторный двигатель 1885 год и инжекторный двигатель 1930 год. Двигатели вплоть до наших дней остались прежними, но только с видимым прогрессом модернизации. Карбюраторный двигатель выпускались до 2015/16 года, инжекторные двигатели вошли в обиход в 1980 году и до сих пор выпускаются до наших дней, электродвигатели начали выпускать в 2019 году.

#### Список использованной литературы

1. Морозов, В.А. История развития автотранспортных средств (Ч. 1. Легковые автомобили): монография / В.А. Морозов, Н.А. Поляков, О.Н. Морозова. – Южный федеральный университет: Ростов-на-Дону: Издательство южного федерального университета, 2015. – 80 с. – ISBN: 978-5-9275-1733-0.

2. Бескаравайный, М.И. Устройство автомобиля просто и понятно для всех/ М.И Бескаравайный. – М.: Эксмо, 2008. – 64 с.: ил. – ISBN: 978-5-699-21416-1.

3. Рубец, А.Д. История автомобильного транспорта России / А.Д. Рубец. – М.: Эксмо, 2010. – 304 с. – ISBN: 978-5-699-37842-5.

4. Фридман Джордж: [пер. с англ. А. Калинина]. Следующие 100 лет. — М.: Эксмо, 2015. – 320 с. – ISBN: 978-5-699-41208-2.

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. КОНЦЕПЦИЯ МЕХАНИКИ ПРОЦЕССА**

**Панасенко Михаил Иванович**

*Оренбургский государственный университет, Оренбург*

## **ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT IN THE OIL INDUSTRY**

**Panasenko Mikhail Ivanovich**

*Orenburg State University, Orenburg*

*Аннотация. Очень часто на предприятиях техническая документация хранится в бумажном виде. Со временем она устаревает, утрачивает достоверность да и вовсе теряется. Это могут быть технологические схемы, схемы трубопроводов и КИПиА, документация по техническому обслуживанию, паспорта и прочие документы. Помимо этого, из-за*

отсутствия должного контроля конфиденциальная информация оказывается в открытых источниках. Преобразование документов из бумажного формата в цифровой может решить эту проблему, но это достаточно сложно, и обычно достигается вручную. Так же предприятия не располагают необходимым количеством специалистов для своевременной отрисовки документов, а передать эту работу многопрофильным специалистам и сложно и долго. Все эти препятствия усложняют модернизацию и интеграцию цифровой документации.

В этой статье описано потенциальное решение того, как обеспечить переход предприятия нефтедобывающего комплекса на электронный документооборот. В перспективе возможно создание централизованного центра обработки данных, в котором реализовано обеспечение глобального сотрудничества всех участников проекта и команды. Кроме того, возможен доступ к актуальной информации с помощью мобильных устройств сотрудникам в любое время и любом месте.

В статье приводится описание необходимых этапов, начиная со сбора данных и заканчивая объединением всех имеющихся документов завода в одном защищенном источнике данных.

Ключевые слова: документы, сборник, повышение эффективности, трубопровод, цифровые системы, цифровизация промышленной безопасности, анализ, случайные события.

*Abstract. Very often at the enterprise, technical documentation is found in paper form. Over time, it becomes obsolete, the loss is lost and disappears. These can be flow diagrams, piping and instrumentation diagrams, maintenance documentation, passports and other documents. In addition, due to the need for proper control, confidential information is in open sources. Converting paper documents to digital format can solve this problem, but it is quite difficult and is usually done regularly. Also, the enterprise does not depend on the speeds of specialists to ensure the readiness of rendering documents, transfers this work to multidisciplinary specialists and is difficult and time consuming. All these obstacles complicate the modernization and integration of digital documentation. In this article, I describe the solution to the problem associated with the transition of an oil-producing complex enterprise to electronic document management. In the future, it is possible to create a centralized data processing system, including ensuring global cooperation of all project participants and the team. In addition, it is possible to access up-to-date information using mobile devices, accessible anytime and anywhere.*

*Key words: documents, collection, enhancement, pipeline, digital system efficiency, digitalization of industrial security, analysis, random events.*

Любой работник, имеющий дело со сложными техническими устройствами хотел бы получать всю информацию о них одним щелчком мыши. Так называемые «сборники» информации по объекту, представляют

собой цифровое представление физического объекта, которое содержит все данные об устройстве и связанных с ним документах. В них могут быть включены различные типы документов: модели, технические отчеты и деловая информация. Система, основанная на цифровых сборниках является необходимым условием для перехода предприятия на электронный документооборот, равно как и необходимость объединения в единую сеть разрозненных архивов с документами, которые все еще существуют в большинстве организаций. Основой для создания цифрового сборника является переход от ориентации на бумажные документы, к созданию среды, ориентированной на данные, которые способны прочитать любые из устройств или наборов устройств предприятия. Ориентированная на данные среда позволяет пользователям находить то, что им нужно, начиная с того, что они уже знают, поскольку данные основаны на одном экземпляре объектов, связанных в соответствии с логическими структурами. Например, инженеры на месте могут легко переходить от любого оборудования, такого как насос, ко всем важным и сопутствующим документам для поддержки своих повседневных рабочих процессов, не беспокоясь о дублировании или несоответствии документации. Этот технический документ проливает свет на цифровой сборник с точки зрения документации и причин, по которым растет информационное озеро, а также предлагает различные решения для создания согласованной и интегрированной документации для трубопровода/завода на старых месторождениях.

Преобразование и модернизация трубопровода или участков трубопровода на существующих производственных площадках является особенно сложной задачей для заводских инженеров. Как правило, проектов такого типа намного больше, чем только строящихся проектов, а управление данными и документацией чрезвычайно сложно. Данные и документы не консолидируются и не хранятся на различных этапах от рабочего проектирования до эксплуатации и обслуживания нескольких систем. На этапах проектирования каждый отдел сосредотачивается на поиске собственных решений и предоставлении различных типов документов, которые нельзя использовать после передачи в эксплуатацию и техническое обслуживание. Изменения, внесенные по эксплуатации и техническому обслуживанию за прошедшие годы, часто не переносятся в заводскую документацию или лишь частично; все эти факторы приводят к большому разрыву между изначально запланированным и фактическим состоянием завода.

Операторы трубопроводов всегда сталкиваются с проблемой, когда им необходимо принести данные из разных источников данных и получить правильную информацию и последнюю актуальную версию документа. Эти проблемы можно сгруппировать по следующим четырем основным типам.

1. Данные и документы хранятся в разных системах и в разных форматах: Excel, Word, PDF.

2. Отсутствующие теги у документов -> неструктурированная информация.

3. Недостоверные заводские данные -> не окончательная версия документа.

4. Хранение данных об одном устройстве в разных системах.

Важным шагом для перехода к электронному документообороту является централизация всей документации в одном источнике данных на основе контекстного разделения, что сделает удобным доступ работников к нужной информации.

Как только эти документы будут собраны и объединены, оператор трубопровода сможет получить эти документы одним щелчком мыши. В результате задачи по эксплуатации и техническому обслуживанию могут быть эффективно выполнены цифровым способом, через интернет с помощью компьютера или смартфона.

Интегрированное программное решение является обязательным для комплексного управления предприятием.

Данными из различных источников можно централизованно управлять, что позволит улучшить качество технического обслуживания и ускорить повторный ввод в эксплуатацию.

Использование центральной платформы данных обеспечивает согласованность информации и беспрепятственный поток всех данных, связанных с проектом в течение всего его жизненного цикла

Система, основанная на цифровых сборниках документов, станет продвинутой заменой бумажным аналогам, таким как бумажные справочники и документация по оборудованию, гарантируя сохранение всех инженерных данных в едином центре с возможностью поиска, на основе облачной архитектуры, способной обрабатывать данные в реальном времени и обеспечивать информацию актуальной.

Надежный цифровой сборник информации должен:

- Иметь несколько наборов данных и типов данных,
- Различные способы обмена данными,
- Систему восстановления утраченных данных,
- Открытость и доступность данных.

Эти требования продиктованы непосредственно потребностями пользователей в технологиях, которые упрощают навигацию в системе, хранение и использование информации в ней.

Цифровой сборник информации без облачного хранилища сегодня немислим.

Масштабируемая облачная архитектура, веб-доступ, безопасность информации — ключевые слова для цифрового решения, приносящие пользу за счет увеличения эффективности работы предприятия. Эти решения позволяют использовать современные цифровые сборники, которые синхронизируют данные на чертежах с устройством в реальности, образуя



целостный цифровой контекст для последовательного понимания состояния конструкций для любого действующего завода.

С помощью облачных сервисов цифровых сборников информации операционные и связанные с проектом инженерные данные легко согласовываются. Все заинтересованные стороны имеют немедленный доступ к последовательно изложенным документам. Это особенно актуально для установок на старых месторождениях на которых время, затраченное на актуализацию информации будет значительно снижено, а заводская документация будет поддерживается на должном уровне.

Доступность также важна для информационных систем с высоким потенциалом, для которых следует использовать открытые API (интерфейс прикладного программирования) Кроме того, документы все больше нужны людям в движении. Работы должны выполняться на ходу или данные требуются локально на предприятиях. Электронный документооборот на основе цифровых сборников без мобильного решения сегодня невообразим.

Только комплексный подход к вопросу документации, включая управление версиями и изменениями, обеспечит все преимущества, доступные при цифровом ведении документации.

#### Список использованной литературы

1. Режим доступа: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/plant-engineering-software-comos/empower-with-comos/smart-data-for-brownfield.html> (дата обращения 15.06.2022).
2. Bentley's and Siemens' Vision for Cloud based Distributed Engineering and Operations. Режим доступа: [https://prodbentleycdn.azureedge.net/media/files/documents/whitepapers/extwp\\_arc\\_cloud\\_based\\_engineering\\_ltr\\_en\\_lr.pdf?la=de-de&modified=20180607111946](https://prodbentleycdn.azureedge.net/media/files/documents/whitepapers/extwp_arc_cloud_based_engineering_ltr_en_lr.pdf?la=de-de&modified=20180607111946) (дата обращения 15.06.2022).
3. Режим доступа: <https://www.pipelineoilandgasnews.com/interviews-features/interviews/2020/july/digitalisation-brings-greater-reliability-to-the-oil-and-gas-sector/> (дата обращения 15.06.2022).
4. Operational Digital Twin: How Data Contextualization Provides A Complete, Actionable Understanding of Industrial Operations. Режим доступа: <https://www.cognite.com/en/operational-digital-twin> (дата обращения 15.06.2022).
5. Режим доступа: <https://www.aveva.com/en/solutions/digital-transformation/digital-twin/> (дата обращения 15.06.2022).

## **АКУСТИЧЕСКИЙ ДИФFUЗОР ТИПА SKYLINE: ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

**Бердников Павел Сергеевич**

Научный руководитель: Морозов Николай Анатольевич., к.т.н., доцент  
Оренбургский государственный университет

## **ACOUSTIC DIFFUSER TYPE SKYLINE: FEATURES OF APPLICATION AND ASSEMBLING**

**Berdnikov Pavel Sergeevich**

Scientific supervisor: Nikolay Anatolyevich Morozov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Orenburg State University

*Аннотация. Акустические диффузоры нужны для «ослабления интенсивности первичных отражений звука от поверхностей помещения» и предотвращения звуковой вибрации. Акустика помещений становится всё более востребованной. В связи с этим тема данного исследования является весьма актуальной.*

*Ключевые слова. Акустический диффузор, реверберация, звуковые отражения, акустическое рассеяние.*

*Abstract. Acoustic diffusers are needed to reduce the intensity of primary sound reflections from the surfaces of the room and prevent sound vibration. Room acoustics are becoming more popular. In this regard, the topic of this study is very relevant.*

*Key words. Acoustic diffuser, reverb, standing waves, sound reflections, defect, acoustic scattering.*

С появлением первых акустических систем человек стремится не только качественно передавать звук, но и максимально точно принимать его, с минимальными потерями. По мере развития аудиотехники стали создаваться и все более сложные системы звучания. Накоплению и обработке звука уделяется все больше времени и технологических усилий. Но, к сожалению, само помещение для прослушивания имеет акустические аномалии.

Как следствие, все более высокие требования предъявляются к помещениям, где записывается и прослушивается звук самых разных диапазонов. Ведь, независимо от того, где происходит звучание (то ли это звукозаписывающая студия концертный зал или камерное помещение,

домашний кинотеатр или особая музыкальная комната) везде звук должен быть максимально качественным.

Однако разработчики дизайна помещения, а также акустические специалисты могут звуковую волну только поглотить, отразит и рассеять (диффузия). Довольно устойчивое распространение получили панели или поверхности со звукопоглощающими или звукоотражающими свойствами. Различают конструкции с плоской или криволинейной поверхностью.

Отразить звуковую волну – это всего лишь перенаправить распространение сигнала, а поглотить – снизить интенсивность отражения.

Но возможность рассеивания, то есть диффузии, никуда не делась, так что и на это свойство звуковой волны было обращено внимание специалистов по созданию специальных рассеивающих звук поверхностей в различных концертных помещениях.

Акустические диффузоры — это специальные конструкции, которые используют для рассеивания звуковых волн средних и высоких частот, предотвращая амплитудное искажение. Акустические рассеиватели поддерживают звуковые вибрации внутри комнаты и убирают порхающее эхо. Диффузор способен рассеять звук на массу звуковых волн, создавая своеобразное диффузное поле. Помещение заполняется однородной звуковой энергией, позволяя раскрыть в полной мере возможности аудиосистемы.

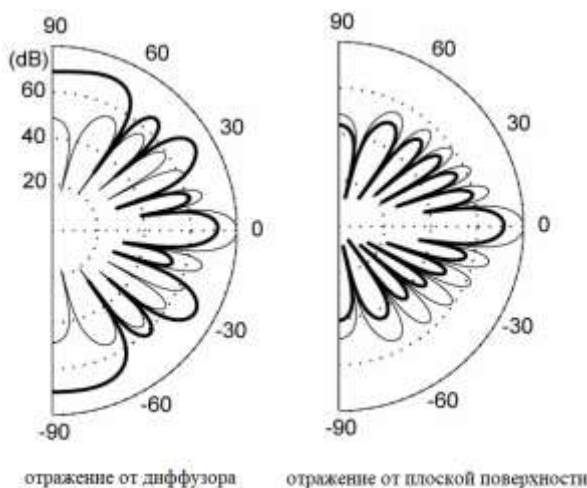


Рисунок 1 – Интенсивность звукового поля

В диффузоре Шредера акустическая поверхность выполнена в форме решетки дифракций, рассеивающих энергию звука в широком диапазоне. Вся поверхность покрыта ячейками одинаковой ширины и разной глубины.

Устройство диффузора основано на математической последовательности квадратичных вычетов из теории чисел с определенным соотношением.

Нижняя граница рабочего диапазона диффузора  $F_{low}$  зависит от размера самой глубокой ячейки и имеет значение приблизительно на половину октавы ниже проектной частоты диффузора  $F_0$ . Перегородки, разделяющие соседние ячейки, должны быть выполнены из тонкого и жесткого материала.



Рисунок 2 – Диффузор Шрёдера

Диффузор Skyline функциям похож на диффузор Шрёдера, но технически отличается возможностью создания более мелких ячеек по размеру при достаточно большой глубине. Конструкция отличается сложностью из-за высоких требований к параметрам.



### Рисунок 3 – Диффузор Skyline

Если в помещении акустических поверхностей достаточно, они создают эффект пространства.

Был создан акустический диффузор типа Skyline размером 300x250 мм в домашних условиях из бруса 50x50 мм и фанеры. Расчет диффузора проводился с применением соответствующего калькулятора.



Рисунок 4 – Экспериментальный образец

Speed of sound:  m/s or Celsius temperature:  °C or Fahrenheit temperature:  °F

Lowest frequency:  Hz or Maximum height of timber:  -  cm

Highest frequency:  Hz or Width and length of timber:  -  cm

# columns:  -    **Размеры диффузора: 30 см × 25 см (соотношение сторон: 1.2/1)**

# rows:  -    Число  $31=6 \times 5 + 1$  простое. Первообразный корень числа 31:

The quantization step height of a column:  -  cm

Show intermediate results

Высоты брусьев диффузора (см, квантование с шагом 1 см):  
 Разукрасить строки таблицы   
 Отображать номер бруска

1	4	3	6	3	3
3	2	5	3	4	2
5	4	5	1	2	1
2	2	6	4	4	0
1	1	6	5	5	0

Количество брусьев каждой высоты:

№	Высота	Кол-во	Подсветить
1.	1 см	5 шт.	<input type="checkbox"/>
2.	2 см	5 шт.	<input type="checkbox"/>
3.	3 см	5 шт.	<input type="checkbox"/>
4.	4 см	5 шт.	<input type="checkbox"/>
5.	5 см	5 шт.	<input type="checkbox"/>
6.	6 см	3 шт.	<input type="checkbox"/>

Количество пустых мест: 2

Рисунок 5 – Калькулятор диффузора Skyline

### Список использованной литературы

1. Шрёдер М.Р. // Диффузное отражение последовательностями максимальной длины, 1957. – С. 149 – 150.
2. Шрёдер М.Р. // Бинауральное несходство и оптимальные потолки для концертных залов: большее распространение звука вбок. // Журнал Американского акустического общества 65.4, 1979. – С. 958-963.
3. Тул Ф.Э. // Воспроизведение звука: Акустика и психоакустика громкоговорителей и комнат. // Ред. «Focal Press. Taylor & Francis Ltd.», 2008. С. 570

## УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ОТ ОПРОКИДЫВАНИЯ ПРИ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКЕ

Думинова Анастасия Сергеевна, Зиновьев Александр Васильевич

Научный руководитель: Дырдина Елена Васильевна, кандидат технических наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

## STABILITY OF RAILWAY CONTAINERS FROM OVERTURNING UNDER WIND LOAD

**Dumnova Anastasia Sergeevna, Zinoviev Alexander Vasilyevich**

Scientific supervisor: Dyrдина Elena Vasilyevna, Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Orenburg  
State University"*

*Аннотация. В статье раскрыты проблемы нарушения безопасности движения, возникающие в результате опрокидывания пустых контейнеров на ветрозависимых участках железных путей. В данной работе в качестве примера приведен ряд транспортных происшествий в различных регионах мира, вызванных разрывом контейнеров различных типов из специализированных вагонов-платформ под воздействием шквалистых ветров различной силы.*

*Ключевые слова: контейнер, ветровые нагрузки, железная дорога, транспортные происшествия.*

*Введение.* На железных дорогах России происходит множество случаев падения порожних контейнеров со специализированных железнодорожных платформ, эти происшествия вызваны высокими динамическими и ветровыми нагрузками. Так как пустой контейнер в пути следования не закреплен на раме и испытывает воздействие динамической вертикальной силы от колебаний тележки, наиболее опасным режимом является опрокидывание порожнего контейнера со станции на втором пути железной дороги с попаданием его вбок проходящему.

Что бы избежать транспортных происшествий, вызванных опрокидыванием контейнеров, руководство ОАО «РЖД» прибегло к разработке порядка организации работы по перевозке порожних контейнеров на 5 железнодорожных платформах в условиях прогнозирования по маршруту их следования сильного ветра, шквала или урагана.

*Случаи падения контейнеров.* Рост контейнерных перевозок по сети железных ОАО «РЖД» ежегодно повышается. Так, например, в 2016 году перевозилось 1134,1 тыс. пустых контейнеров, а к 2019 их количество увеличилось до 1622. В период с 2011 по 2019 гг имело место 6 случаев падения порожних контейнеров при их перевозке на специализированных вагонах-платформах [2]:

1. В Саратовской области 05.07.2011 на приволжской железной дороге (участок Красавка – Кологривовка) упало 6 контейнеров при скорости ветра 21-23 м/с.
2. В Ямало-Ненецком автономном округе 21.04.2014 на северной железной дороге (участок Обская - Харп) упало 11 контейнеров при скорости ветра 32-34 м/с.

3. В Приморском крае 17.12.2014 на дальневосточной железной дороге (участок ХмыловскийНаходка-В) упало 3 контейнера при скорости ветра 32 м/с.

4. В Амурской области 13.08.2016 на Забайкальской железной дороге (участок Обская - Харп) упало 16 контейнеров при скорости ветра 33 м/с.

5. В Забайкальском крае 23.06.2019 на забайкальской железной дороге (участок Урульга - Тарская) упал 1 контейнер при скорости ветра 31 м/с.

6. В Оренбургской области 23.09.2019 на Южно-Уральской железной дороге (участок Сара - Халилово) упал 1 контейнер при скорости ветра 22 м/с.

Такие проблемы возникают при использовании некоторых типов грузовых вагонов, имеющие большую площадь наветренной поверхности и эксплуатируются при низких значениях нагрузки.

*Исследования в области обеспечения устойчивости подвижного состава.* Статистическая теория безопасности движения поездов впервые была сформулирована профессором В.М. Лисенковым как самостоятельная научная дисциплина. Для обеспечения безопасности в процессе перевозки, проводятся исследования ученых кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТа. В.Н. Филипповым, Г.И. Петровым, С.В. Беспалько, Ю.Н. Шебеко, произведен анализ статистических данных об аварийных ситуациях при транспортировке опасных грузов на железных дорогах, разработаны расчетные аварийные режимы механических воздействий. Проблема обеспечения устойчивости от опрокидывания успешно решалась при перевозке негабаритных грузов специализированными транспортными средствами. В ходе проектирования транспортного средства для перевозки длинномерных и крупногабаритных грузов в наклонном положении, описанного в патенте предусматривалось устройство подвижных противовесов, что позволило увеличить поперечную устойчивость транспортного средства и повысить безопасность его эксплуатации.

Природно-климатические факторы, которые влияют на ж/д транспорт с точки зрения затрат на содержание и ремонт, рассматривались в исследовании А.М. Сумреновой на примере Дальневосточной железной дороги [1]. Передоложен интегральный показатель оценки уровня природно-климатического риска. Суммирование коэффициентов сложности технических условий и климатической опасности дает качественный показатель, характеризующий уровень природно-климатического риска. Этот показатель приводится ко всем дистанциям пути Дальневосточной железной дороги. Уровень риска определен автором при помощи имитационного моделирования методом Монте-Карло.

*Виды контейнеров.* Контейнер – стандартизированная многооборотная тара, предназначенная для перевозки грузов автомобильным, железнодорожным, морским и воздушным транспортом и приспособленная для механизированной перегрузки с одного транспортного средства на другое.



Деление моделей по массе и величине описано и в действовавшем ранее ГОСТ 18477, где универсальные грузовые единицы объединены в три группы:

- Крупнотоннажные (с весом 10 и более тонн);
- Среднетоннажные (от 2.5 до 10 т.);
- Малотоннажные (до 2.5 тонн).

*Анализ безопасности железнодорожных контейнеров при перевозке.*

Сейчас в области перевозок существуют единые требования к перевозимым контейнерам, их габаритам, массе и устройствам креплений. Эти требования регламентированы стандартами. На железнодорожных платформах контейнеры крепятся в основном фитинговыми упорами без непосредственной фиксации. Опираясь на результаты отчета ВНИИЖТ, по поручению ОАО «РЖД» при участии всех членов Ассоциация испытательных центров железнодорожной техники, АО «ИЦ ТСЖТ» разработало Типовую методику испытаний фитинговых упоров конструкция которых обеспечивает ограничение перемещение контейнеров не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскости.

*Путь к борьбе с опрокидыванием.* На данный момент выполнено следующие этапы для борьбы с опрокидыванием контейнеров на железнодорожных путях:

1. Проведены исследования по определению причин опрокидывания контейнеров, определены условия и ветровые нагрузки, действующие на порожний контейнер.
2. Разработана и утверждена Типовая методика.
3. Проведена апробация методики определения устойчивости контейнера от опрокидывания.

Для обеспечения большей безопасности требуется провести еще ряд этапов [1]:

1. Для минимизации рисков, связанными с последствиями опрокидывания контейнеров необходимо включить в ГОСТ 26686-96 «Вагоны-платформы магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия» обязательное требование о применении фитинговых упоров с конструкцией, обеспечивающей устойчивость контейнера от опрокидывания при действии ветровых нагрузок.
2. Внести изменения в ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» в части добавления требований к конструкции фитинговых упоров (включая расчетные нагрузки).
3. Внести изменения в ГОСТ 33788-2016 «ГОСТ 33788-2016 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества» в части включения положений Типовой методики по определению устойчивости контейнера от опрокидывания от действия ветровых нагрузок.
4. Разработка стандарта содержащего технические требования к конструкции фитингового упора с учетом европейского опыта.

*Вывод.* Проблема устойчивости железнодорожных контейнеров от опрокидывания при ветровой нагрузке актуальна на сегодняшний день. Эта проблема успешно решалась для вагонов с повышенным центром тяжести и вагонов специального назначения для перевозки крупногабаритных грузов. Результаты проведенных работ по расчетам ветровых нагрузок, апробации Типовой методики позволяют сделать вывод, что фитинговые упоры, прошедшие процедуру испытания по Типовой методике обеспечивают устойчивость порожних контейнеров от опрокидывания без дополнительных креплений при скорости ветра 41 м/с.

#### Список использованной литературы

1. Боландова, Ю.А.. Методы оценки устойчивости от опрокидывания контейнеров при перевозке на специализированных железнодорожных платформах / Ю.А. Боландова. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва: МИИТ. – 2021. – 24 с.
2. Устойчивость контейнеров от опрокидывания при действии ветровых нагрузок – 13-14 января 2020. [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://мояколея1520.рф/files/uploads/files/Vopros-13\\_2-Dzichkovskij-E\\_M\\_-Ustojchivost-kontejnerov-ot-oprokiidyvaniya-pri-dejstvii-ventrovyyh-nagruzok.pdf](http://мояколея1520.рф/files/uploads/files/Vopros-13_2-Dzichkovskij-E_M_-Ustojchivost-kontejnerov-ot-oprokiidyvaniya-pri-dejstvii-ventrovyyh-nagruzok.pdf) . (дата обращения 15.05.2022).
3. Попов, В.Г Условия опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок / В.Г. Попов, А.В. Матешева, Ф.И. Сухов, Ю.К. Боландова // Мир транспорта. 2019. –Т. 17. –№ 6 (85). –С. 50-61.
4. Попов, В.Г Оценка аварийного риска воздействия природных чрезвычайных ситуаций при перевозке нефтепродуктов / В.Г. Попов, Ю.К. Боландова, В.С. Зубакова //Железнодорожный транспорт. 2021. – № 9. – С. 34-35.

### **БИОМЕХАНИКА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА. ЗАМКНУТАЯ КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ**

**Трайтельман Олег Александрович, Попова Елизавета Егоровна**

Научный руководитель: Клещарева Галина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин

Оренбургский государственный университет

### **BIOMECHANICS OF THE HUMAN BODY. CLOSED KINEMATIC CIRCUIT**

**Traitelman Oleg Alexandrovich, Popova Elizaveta Egorovna.**

Scientific supervisor: Kleshareva Galina Aleksandrovna , Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines  
Orenburg State University

*Аннотация. В данной работе рассматривается опорно-двигательная способность человеческого туловища как механизма в технике. Описана история и объяснение принципа его работы. Описаны биомеханическая система и соединение звеньев, которые используются в технике и быту. Рассмотрено туловище человека как опорно-двигательный механизм.*

*Ключевые слова: биомеханическая система, упругость, нагрузки, соединение звеньев, степени свободы движения, биокинематическая пара, кинематическая цепь.*

*Abstract; In this paper, the musculoskeletal capacity of the human torso as a mechanism in technology is considered. The report describes the history and explanation of the principle of its operation. The biomechanical system and the connection of links that are used in technology and everyday life are painted. The author considered the human torso as a musculoskeletal mechanism, described what kinematic chains it consists of and how many degrees of mobility these chains have.*

*Keywords: biomechanical system, elasticity, loads, connection of links, degrees of freedom of movement, biokinematic pair, kinematic chain.*

*Биомеханические особенности костной системы. Движение человека требует согласованной работы организма в целом, но главное место в этом процессе занимает двигательный аппарат. С технической точки зрения, двигательный аппарат человека представляет собой сложный механизм, состоящий из сложной системы рычагов, приводящих в движение мышцы. Однако в исследовании движения человека и причин, его вызывающих, было бы неправильно ограничиться. Непосредственно же представлениями механики.*

*Устройства и принципы работы двигательного аппарата. Для того чтобы понять устройство двигательного аппарата и принципы его работы, нужно иметь в виду биологическую природу «механизмов» человеческого тела. Исследование работы двигательного аппарата с биологической точки зрения помогает вскрыть особенности устройства и принципа действия «живых механизмов». Так что изучение движений человека должно быть максимально приближено к пониманию строения опорно-двигательного аппарата с точки зрения биомеханики. А это значит, что необходимо четко понимать принципы строения его пассивной (кости соединительные) и активной (мышечная ткань) частей. Как оказалось, это не так.*

*Моделирование тела. В отличие от анатомии, которая занимается изучением всех деталей строения тела, для биомеханики важно выявить именно те особенности строения, которые влияют на свойства органов опоры и движения, а также их участие в выполнении двигательной функции. В*

данном случае, в биомеханическом исследовании невозможно учитывать все особенности строения и функций тела. Как оказалось, это не так. При изучении движения моделируют тело – это биомеханическую систему. Она имеет основные свойства, существенные для выполнения двигательной функции, и также не включает в себя множество частных деталей.

*Биомеханическая система* – это упрощенная копия, модель тела человеческого, на которой можно изучать закономерности движения.

*Биомеханическая система в теле человека.* В двигательной части человека находятся костная и мышечная системы. Основное свойство костной системы – это упругость.

*Упругость* – способность сопротивляться нагрузкам. Силой, которая прилагается к телу, является нагрузка, а также совокупность сил, которые вызывают деформацию.

Различные нагрузки - это нагрузки, вызывающие растяжение, сжатие, изгиб и кручение. Обуславливающие растяжение нагрузки, возникают, например, при висах или во время удерживания груза в опущенных руках. Чаще всего нагрузки, создающие сжатие костей, возникают при вертикальном положении тела на опорах. Здесь на скелет действует, с одной стороны, сила тяжести тела и вес внешних отягощающих сил, а с другой — давление опоры. Нагрузки, вызывающие изгиб, обычно встречаются, когда кости выполняют роль рычагов. В этих случаях приложенные к ним силы мышц и силы сопротивления направлены поперек костей и вызывают изгиб. Нагрузки, обуславливающие кручение, чаще всего встречаются при вращательных движениях звена вокруг продольной оси.

*Биомеханическая система в быту.* В быту биохимия встречается в приготовление пищи — когда тепло, с водой или без нее, используется для денатурации и расщепления биологических материалов с целью дезоксидации или облегчения доступа питательных веществ.

*Соединение звеньев.* Соединения костных звеньев обуславливают многообразие возможностей движений. От способа соединения и участия мышц в движениях зависит их направление и размах (пространственная форма движений).

*Степени свободы движения.* Суставы, связывая в единое целое части тела, сохраняют возможности для их движений. Если часть тела может двигаться только по одной траектории, причем возможности движений по всем остальным траекториям ограничиваются связями, в механике говорят об одной степени свободы, или о степени подвижности.

*Биокинематическая пара* — это подвижное (кинематическое) соединение двух костных звеньев, в котором возможности движений определяются строением соединения и управляющим воздействием мышц.

*Кинематическая цепь* — это последовательное или разветвленное соединение ряда кинематических пар. Кинематическую цепь, в которой конечное звено свободно, называют незамкнутой, а цепь, в которой нет свободного конечного звена, - замкнутой.

*Вывод.* Организм человека – очень сложный «механизм». С механической точки зрения двигательный аппарат человека представляет собой механизм, состоящий из сложной системы шарниров и рычагов, приводимых в действие мышцами. Оказалось, что все суставы в теле человека – рычаги. Именно они помогают нам быть подвижными, выполнять большое количество движений.

#### Список использованной литературы

1. Чхаидзе Л.В. Об управлении движениями человека. [Электронный ресурс] // Интернет – сайт «Studopedia» Режим доступа: [https://studopedia.ru/2\\_95031\\_biokinematicheskie-pari-i-tsepi.html](https://studopedia.ru/2_95031_biokinematicheskie-pari-i-tsepi.html) (дата обращения 26.04.2022).
2. Дубровский В.И., Федорова В.Н., 2003. [Электронный ресурс] // Интернет – сайт «Studfile». Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2376984/page:21/> (дата обращения 15.05.2022).
3. Бернштейн, Н.А. Физиология движений и активность. [Электронный ресурс] // Интернет – сайт «Fkis» Режим доступа: <https://fkis.ru/page/1/111.html> (дата обращения 27.05.2022).

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**  
**ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ**  
**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
**«СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКА В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ:**  
**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ»**

16-17 июня 2022 г.

Дата принятия к использованию 27.12.2022  
Размер 3,85 Мб  
**Оренбургский государственный университет**  
**460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13**