



На правах рукописи

**БОГАТОВ Максим Валерьевич**

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВНУТРЕННИХ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НАСОСНО-  
КОМПРЕССОРНЫХ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБ НА  
ОБРАЗОВАНИЕ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Специальность 2.6.17. Материаловедение

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Самара 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет»

Научный руководитель:

**Амосов Александр Петрович**, доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты:

**Левашов Евгений Александрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Порошковая металлургия и функциональные покрытия» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва.

**Илюшин Павел Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Нефтегазовые технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермский край, г. Пермь.

Ведущая организация: **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа.**

Защита состоится «22» декабря 2023, в 13 час. 00 мин. на заседании объединённого диссертационного совета 99.2.039.02 на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» и ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по адресу: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус, аудитория 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Отзывы на автореферат просим высылать в двух экземплярах, заверенных печатью, по адресу: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», главный корпус, ученому секретарю диссертационного совета 99.2.039.02.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.т.н., доцент



А. Р. Луц

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время добывающие компании повсеместно сталкиваются с различными видами осложняющих факторов при добыче нефти. В первую очередь, внутрискважинное оборудование, в том числе насосно-компрессорные трубы (НКТ), по которым добываемый продукт доставляется на поверхность, подвергаются значительному коррозионному воздействию в различных агрессивных средах. Защите трубопроводов от коррозии посвящено множество работ и предложено большое количество решений: ингибиторы коррозии, стали повышенной коррозионной стойкости, антикоррозионные покрытия и другие. Самым оптимальным способом защиты от коррозии НКТ признано применение труб с внутренними антикоррозионными покрытиями, и в настоящее время в больших объемах выпускаются НКТ с эпоксидными, силикатно-эмалевыми и цинковыми покрытиями.

Другим наиболее распространённым видом осложнения является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в колоннах НКТ и на другом внутрискважинном оборудовании. Образование и скопление АСПО на внутренней поверхности стенок НКТ приводит к сужению внутреннего сечения труб вплоть до полного зарастания и остановки дебита. Для восстановления эксплуатационных характеристик скважины требуются большие энергозатраты, включающие в себя проведение очистных работ скважины, спускоподъемные операции, а также существуют большие экономические потери вследствие простоя оборудования. Существующие методы борьбы с АСПО подразделяют на методы по удалению и предотвращению образования нежелательных отложений. Наиболее распространенными мероприятиями по удалению являются: промывка НКТ горячей нефтью, либо обработка паром и скребкование, как один из наиболее простых методов очистки внутренней поверхности труб. К методам предотвращения относятся нагрев электрическими кабелями в скважине, обработку нефтяной среды химическими реагентами-ингибиторами, а также нанесение внутренних защитных покрытий на НКТ. И здесь так же, как и в случае защиты от коррозии, среди различных методов предотвращения АСПО, применение соответствующих защитных покрытий имеет наибольший потенциал и является ценным методом из-за его простоты, эффективности и долговечности. При этом особенно привлекательно для защиты от АСПО применение выпускаемых антикоррозионных покрытий, то есть, по существу, уже многофункциональных защитных покрытий. Правильно подобранные материалы и высокий уровень физико-механических свойств внутреннего многофункционального покрытия позволяют выполнять одновременно функции защиты трубной стали от следующих факторов: электрохимической коррозии и коррозионного растрескивания в агрессивных средах, сульфидного растрескивания в водной сероводородсодержащей среде, образования на внутренней поверхности колон НКТ твердых АСПО и минеральных солей. Покрытия также снижают гидравлическое сопротивление проточных каналов за счет низкой шероховатости, защищают трубную сталь от коррозионного-сорбционного-механического износа, сокращают частоту ремонтов, обеспечивают теплоизоляцию НКТ, исключают использование дорогостоящих легированных сталей и ингибиторов коррозии. Добывающие компании уже применяют на своих

месторождениях НКТ с внутренними многофункциональными покрытиями для защиты от АСПО, эффект от применения которых проявляется в сокращении скребкований в разы, вплоть до полного отказа от очистки. Таким образом, качественно нанесенное многофункциональное покрытие на внутреннюю часть трубной продукции может быть ключом к решению в совокупности нескольких проблем, которые встречаются при добыче нефти, поэтому будущее в применении защитных покрытий в нефтяной отрасли – за многофункциональными покрытиями.

Однако существующие методы исследований защитных внутренних покрытий, применяемых в нефтяной отрасли, практически ограничиваются антикоррозионными покрытиями и не позволяет прогнозировать способность покрытий предотвращать выпадение АСПО. Принятие решения об эффективности конкретного вида покрытия в защите от АСПО осуществляется на основе опытно-промысловых испытаний (ОПИ), которые являются длительными (как правило, год) и дорогостоящими, поскольку необходимо предоставить на безвозмездной основе трубы с внутренним покрытием. Наиболее распространенное лабораторное оборудование для проведения исследований в нефтяной отрасли: установка Cold Finger - метод «холодного стержня» для определения общего количества парафина в нефти, а также установка под названием Wax Flow Loop - автоматизированный стенд для циклических испытаний с замкнутым потоком, в основном направлены на подбор марок и оценки сравнительной эффективности ингибиторов парафиноотложений. Другие существующие лабораторные стенды имеют ряд недостатков, а именно: не полноразмерные образцы НКТ для испытаний, горизонтальное расположение образцов, не используются образцы труб с внутренним защитным покрытием, ограниченный диапазон скорости потока нефти и т. п.

В связи с этим, разработка методик и лабораторного оборудования для оценки эффективности применения внутренних многофункциональных покрытий для защиты НКТ от образования АСПО является актуальной задачей.

**Основная цель работы:** исследовать взаимосвязь состава, структуры и свойств внутренних многофункциональных покрытий на НКТ с образованием АСПО, разработать методики и лабораторный циркуляционный стенд для оценки способности этих покрытий предотвращать образование АСПО в динамических условиях движущейся нефтяной среды.

Для достижения данной цели в диссертационной работе решались следующие **основные задачи:**

- 1) Проанализировать существующие методы и лабораторные стенды для прогнозирования выпадения АСПО на внутренней поверхности НКТ.
- 2) Разработать лабораторный циркуляционный стенд, позволяющий проводить исследования на сегментах серийных НКТ в динамических условиях движущейся нефтяной среды, наиболее близких к скважинным.
- 3) Изучить влияние свойств покрытия, определенных в статических условиях отсутствия или неподвижной нефтяной среды, на способность противостоять образованию отложений в динамических условиях движущейся нефтяной среды.
- 4) На основании исследования смачиваемости покрытия водой и нефтью в водной среде разработать методику качественной экспресс-оценки в статических условиях эффективности покрытия в защите от образования АСПО.

5) Провести исследования на разработанном лабораторном стенде в динамических условиях зависимости выпадения АСПО от таких параметров как градиент температуры между нефтяной средой и НКТ, время воздействия и скорость потока нефтяной среды и предложить методику оценки в динамических условиях эффективности покрытия в защите от образования АСПО.

**Научная новизна:**

1) Впервые для наиболее распространенных внутренних многофункциональных покрытий разных классов на НКТ проведены сравнительные исследования связи их состава, структуры и свойств, определенных в статических условиях отсутствия или неподвижной нефтяной среды, с эффективностью защиты от образования АСПО на полноразмерных сегментах НКТ в динамических условиях движущейся нефтяной среды.

2) Показано, что такие, определенные в статических условиях, свойства поверхностей покрытий как шероховатость, адгезия парафина к сухой поверхности, угол смачивания сухой поверхности дистиллированной водой в отдельности не отражают в полной мере способность поверхностей сопротивляться образованию АСПО в динамических условиях движущейся нефтяной среды.

3) Предложен оригинальный метод определения краевого угла смачивания поверхностей покрытия нефтью в воде, результаты которого позволяют судить об олеофобности этих поверхностей. Для исследованных внутренних многофункциональных покрытий разных классов подтверждено, что для противодействия образованию АСПО поверхность должна быть одновременно гидрофильной и олеофобной для нефти в воде.

4) Проведены испытания сегментов серийных НКТ с исследуемыми внутренними многофункциональными покрытиями на разработанных и изготовленных лабораторных циркуляционных стендах в динамических условиях движущейся нефтяной среды. Получены и объяснены зависимости количества АСПО на сегментах НКТ от таких параметров потока нефтяной среды как градиент температуры, скорость потока и время воздействия. Полученные результаты испытаний на лабораторных стендах соответствуют результатам опытно-промысловых испытаний.

**Практическая значимость:**

1) Разработаны и изготовлены два оригинальных лабораторных циркуляционных стенда (патент РФ на полезную модель 202556 и положительное решение Роспатента от 12.07.2023 о выдаче патента на изобретение по заявке 2022134462/28(074924), позволяющие моделировать образование слоя АСПО на внутренней поверхности серийных НКТ в динамических условиях движущейся нефтяной среды с параметрами, максимально приближенными к эксплуатационным параметрам как в малодебитных, так и в высокодебитных скважинах.

2) Предложен оригинальный метод определения истинной шероховатости поверхности покрытий.

3) Рекомендована методика предварительной, качественной экспресс-оценки способности различных внутренних поверхностей НКТ противостоять образованию АСПО по совокупным результатам определения краевых углов смачивания этих поверхностей водой на воздухе и нефтью в воде, то есть по гидрофильности и олеофобности поверхностей.

4) Показано, что проведение испытаний на разработанных лабораторных циркуляционных стендах в динамических условиях движущихся нефтяных сред позволяет наиболее достоверно оценить способность внутренних многофункциональных покрытий защитить НКТ от образования АСПО и быть научной основой методики лабораторных испытаний, позволяющих заменить опытно-промышленные испытания.

5) Разработанные лабораторные экспериментальные стенды и методики использованы в ООО «Научно-производственный центр «Самара» для оценки способности внутренних функциональных покрытий предотвращать образование АСПО на внутренней поверхности НКТ или увеличивать межочистной период.

6) На протяжении 2021-2022 годов ООО «РН-БашНИПИнефть» выполнялись работы по формированию «Схемы испытаний НКТ с покрытием для применения на кластерах месторождений Компании» целью которых была замена опытно-промышленных испытаний на лабораторные (стендовые) испытания для сокращения времени принятия решений об эффективности предлагаемых покрытий. Решение о переходе на лабораторные испытания в Компании было принято в январе 2023 года, которому предшествовал НИОКР, в ходе которого проводились испытания различных типов покрытий (MPLAG 17, ГИОТЭК 110М, ТС3000F, МК-5). Методологически все проведённые стендовые испытания базировались на выводах, сделанных в диссертации Богатова М. В., а испытания непосредственно проводились на лабораторном циркуляционном стенде (Патент РФ на полезную модель №202556). (Справка ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, от 14.08.2023.)

**Объект исследования:** внутренняя поверхность насосно-компрессорных труб, стальная поверхность, полимерная и силикатно-эмалевые покрытия, состав, структура и свойства покрытий, асфальтосмолопарафиновые отложения.

**Предмет исследования:** способность внутренней поверхности насосно-компрессорных труб противостоять образованию асфальтосмолопарафиновых отложений.

**Положения, выносимые на защиту:**

1) Конструкция, параметры и методика работы двух оригинальных лабораторных циркуляционных стендов, позволяющие моделировать образование слоя АСПО на внутренней поверхности серийных НКТ в динамических условиях движущейся нефтяной среды.

2) Неполное соответствие определенных в статических условиях свойств поверхностей покрытий способности поверхностей сопротивляться образованию АСПО в динамических условиях движущейся нефтяной среды.

3) Методы и результаты определения краевых углов смачивания поверхностей покрытий водой на воздухе и нефтью в воде, то есть гидрофильности и олеофобности поверхностей покрытий, и использование этих результатов для экспресс-оценки способности различных внутренних поверхностей НКТ противостоять образованию АСПО.

4) Результаты проведения лабораторных испытаний серийных сегментов насосно-компрессорных труб с различными видами внутренних многофункциональных покрытий на разработанных циркуляционных стендах для предотвращения формирования асфальтосмолопарафиновых отложений и соответствие этих результатов результатам опытно-промышленных испытаний.

**Степень достоверности и апробация полученных результатов.** Достоверность полученных результатов диссертационной работы подтверждается использованием современного оборудования и аттестованных методик исследований, значительным количеством экспериментальных данных и применением статических методов обработки результатов, сопоставлением полученных результатов с результатами других авторов. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях: 5-ая Международная научная конференция студентов и молодых ученых: МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: ШАГ К УСПЕХУ: сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых (19-20 марта 2020 года) г. Курск; ПЕРСПЕКТИВНОЕ РАЗВИТИЕ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ: сборник научных статей 10-й Международной научно-практической конференции (30 октября 2020 года) г. Курск; Высокие технологии в машиностроении: Материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (24 - 25 ноября 2021 года) г. Самара; Самарская областная студенческая конференция «ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ: МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА» (20 апреля 2022 г.) г. Самара; «Защитные покрытия 2022» Эффективные защитные покрытия для эксплуатации внутрискважинного, наземного оборудования и сооружений НГК (1-3 марта 2022 года) г. Самара; «Добыча и транспорт нефти и газа. Новые технологии и решения» (19-20 октября 2022 года) г. Уфа.

**Личный вклад автора в диссертационную работу.** Автор участвовал в разработке конструкции и отработке методики работы на лабораторных циркуляционных стендах. Экспериментальные результаты, которые приведены в диссертационной работе, получены лично автором или при его непосредственном участии. Автор участвовал в постановке цели и задач, разработке методологии исследования, интерпретации результатов и формулировке всех основных положений, определяющих научную новизну и практическую значимость работы, подготовке публикаций. Часть экспериментов автор выполнил в творческих коллективах, что отражено в составе авторов опубликованных работ и патентов.

**Публикации.** Результаты диссертации опубликованы в 9 работах, в том числе 4 статьях в рецензируемом журнале «Нефтегазовое дело», входящем в базу данных RSCI и в 1-ю категорию K1 Перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ для защиты диссертаций по специальности 2.6.17. Материаловедение, а также в 1 патенте РФ на полезную модель и 1 патенте РФ на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованных источников из 118 наименований и четырех приложений. Материалы изложены на 162 страницах машинописного текста, содержат 31 иллюстраций 10 таблиц и 10 формул.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** содержится обоснование актуальности диссертационной работы, цель и задачи исследований, обоснование новизны и практической значимости работы.

**В первой главе** приведен аналитический обзор научно-технической литературы, связанный с информацией о составе, природе возникновения, физических, а также химических

свойствах асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО). Обсуждаются метод борьбы с ним, которые подразделяются на мероприятия по удалению и предотвращению образования АСПО. Более подробно рассмотрен метод предотвращения образования нежелательных отложений за счет нанесения на внутреннюю поверхность функциональных покрытий, как один из наиболее перспективных. Приведены общие сведения о наиболее распространенных внутренних функциональных покрытиях, их составе и структуре, методах определения их свойств. Рассмотрены лабораторные установки, позволяющие моделировать процесс формирования АСПО. Раздел заканчивается формулировкой цели и задач для проведения настоящего диссертационного исследования.

**Вторая глава** посвящена выбору и описанию покрытий, методик, приборов и оборудования, применяемых в данном исследовании. Описаны внутренние функциональные покрытия, которые применяются в нефтяной отрасли для защиты от АСПО и выбраны для проведения диссертационных исследований: силикатно-эмалевое покрытие марки МК-5; жидкое наполненное полимерное покрытие марки MPLAG 17 на основе эпоксидно-фенольного полимера; порошковое наполненное полимерное покрытие марки ГИОТЭК 110 М на основе эпоксидно-фенольного покрытия. В качестве экспериментальных образцов взяты отрезки (сегменты) серийных НКТ (габариты сегментов: наружный диаметр 73 мм, толщина стенки 5,5 мм, длина 150 мм) с перечисленными внутренними покрытиями, а также образец НКТ из стали 35ХМ без внутреннего покрытия - для сравнения полученных результатов. Представлены методы измерения как статических характеристик покрытия (толщина покрытия, диэлектрическая сплошность, стойкость к прямому удару, адгезионная прочность методом нормального отрыва, шероховатость поверхности, адгезия парафина к сухому покрытию, краевые углы смачивания неподвижными водой и нефтью), так и динамических характеристик (зависимости количества АСПО от параметров движущейся нефтяной среды) по результатам испытаний на разработанных лабораторных циркуляционных стендах.

**Третья глава** посвящена разработке лабораторных циркуляционных стендов для моделирования образования АСПО на внутренних покрытиях НКТ в скважине при подъеме нефти из пласта. Представлены результаты анализа различных известных устройств для оценки образования АСПО, которые с учетом выявленных недостатков использованы при разработке оригинальных стендов.

Разработанный лабораторный исследовательский циркуляционный стенд схематично представлен на рисунке 1 и включает в себя бак 1 для нефтяной среды, миканитовые полукольцевые электронагреватели 2 для нагрева среды в баке, испытательные сегменты НКТ 3 с охлаждающими рубашками, фланцы 4 для крепления, нижний коллектор 5, верхний коллектор 6, термопреобразователь сопротивления 7 на входе в испытательную секцию, термопреобразователь сопротивления 8 на выходе из испытательной секции, входной и выходной расходомеры 9, датчик давления потока 10 в составе выходного коллектора, агрегат насосный винтовой 11, актюатор с системой подъема верхнего коллектора 12, шасси 13 для бака с циркулирующей средой, шасси 14 для испытательной секции, трубы из нержавеющей стали 16 с фитингами, составляющие замкнутый циркуляционный контур, гибкий рукав 15, ведущий из верхнего коллектора в бак со средой, технические характеристики стенда представлены в таблице 1.



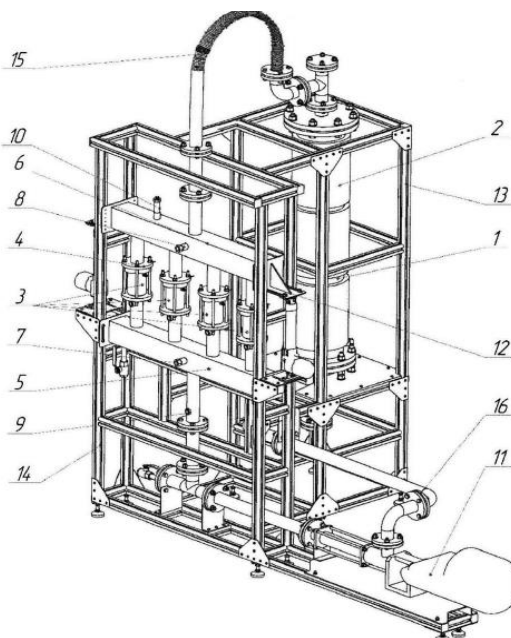


Рисунок 1 - Схематичное представление лабораторного циркуляционного стенда

Таблица 1. Основные характеристики лабораторного циркуляционного стенда

Характеристики	Единица измерения	Значения
Габаритные размеры (ДхШхВ)	м	2,2x0,86x1,86
Объем перекачиваемой нефтяной среды	л	70±10
Температура нефтяной среды	град. С	+50 - +80
Давление в замкнутом контуре	атм	5
Скорость движения нефтяной среды	м/с	от 0,05 до 0,75
Температура охлаждающей жидкости	град. С	- 30...+ 20
Высота сегментов НКТ	мм	от 100 до 300
Диаметр используемых сегментов	мм	от 73 до 114 мм

Этот первый вариант стенда защищен патентом РФ на полезную модель № 202556.

В дальнейшем при проведении большого количества экспериментов были установлены следующие ограничения в работе этого варианта лабораторного стенда: скорость потока недостаточна для срыва образовавшихся отложений на внутренней поверхности испытательных сегментов; конструкционная особенность в создании потока с застойными зонами (сечение запорной арматуры установки меньше, чем сегменты серийных НКТ, тем самым создаются застойные зоны, не позволяющие в полной мере воспроизводить условия на реальных месторождениях); отсутствует байпасная линия, позволяющая точно производить отсчет начала испытания.

В связи с этим была разработана и реализована модернизированный второй вариант лабораторного циркуляционного стенда, представленный на рисунке 2, технические характеристики модернизированного стенда представлены в таблице 2.

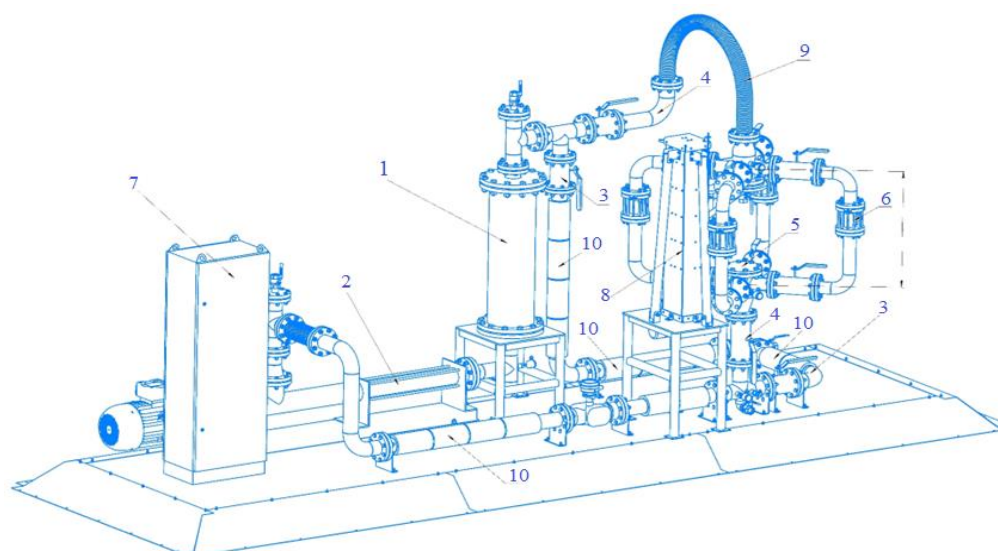


Рисунок 2 – Схема модернизированного лабораторного циркуляционного стенда

Таблица 2. Основные характеристики модернизированного лабораторного циркуляционного стенда

Характеристики	Единица измерения	Значения
Габаритные размеры (ДхШхВ)	м	6,3x1,7x2,93
Объем перекачиваемой нефтяной среды	л	250±10
Температура среды	град. С	+40 - +90
Давление в замкнутом контуре	атм	6
Скорость движения среды	м/с	от 0,5 до 4
Температура охлаждающей среды	град. С	-40...+60
Высота образцов НКТ	мм	от 100 до 300
Диаметр используемых сегментов	мм	от 73 до 114 мм

На модернизированный второй вариант стенда получено положительное решение Роспатента от 12.07.2023 о выдаче патента на изобретение по заявке №2022134462/28(074924) зарегистрированный 26.12.2022.

Таким образом, были разработаны и изготовлены лабораторные циркуляционные стенды, позволяющие производить испытания по определению стойкости внутренних функциональных покрытий к процессам образования АСПО на серийных сегментах НКТ в динамических условиях движущейся нефтяной среды, моделирующих как малодебитные, так и высокодебитные скважины.

**В четвертой главе** рассматриваются свойства покрытий, определенные в статических условиях неподвижной нефтяной среды или в ее отсутствии, представлены результаты исследования структуры, качественного фазового состава, физико-механических свойств исследуемых функциональных покрытий. Результаты исследований представлены в таблицах 3 и 4 и на рисунке 3.

Таблица 3. Результаты определения компонентов, входящих в состав полимерных покрытий, с помощью метода ИК-Фурье спектроскопии

Марка покрытия	Наполнители полимерной композиции	Характеристические частоты, см <sup>-1</sup>
Жидкое покрытие марки MPLAG 17	Эпоксидная полимерная основа	1607, 1585, 1508, 1452, 1244, 806
	Тальк (Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> )	3687, 1015
	Карбонат бария (BaCO <sub>3</sub> )	1078, 823, 668, 635
	Сульфат бария (BaSO <sub>4</sub> )	1178, 983, 814, 609
	Каолинит (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·nSiO <sub>2</sub> )	3712, 3642, 915, 752
Порошковое покрытие марки ГИОТЭК 110 М	Эпоксидная полимерная основа	607, 1581, 1509, 1182, 828
	Сульфат бария (BaSO <sub>4</sub> )	1182, 1119, 1082, 984, 639, 610
	Кварц (SiO <sub>2</sub> )	3420, 1885, 1607, 1182, 1082, 1040, 1012, 805, 675
	Диоксид титана (TiO <sub>2</sub> )	720, 558

Функциональные покрытия MPLAG17 и ГИОТЭК 110 М состоят из эпоксидно-фенольной полимерной основы (таблица 3), а также следующих неорганических порошковых наполнителей: тальк (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>), сульфат бария (BaSO<sub>4</sub>), каолинит (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nSiO<sub>2</sub>), диоксид кремния (SiO<sub>2</sub>) и др. Данные химические соединения способствуют улучшению сопротивляемости функциональных покрытий к внешним воздействиям. Основными компонентами функционального силикатно-эмалевого покрытия МК-5 являются различные оксиды, в первую очередь, кремния и алюминия, а также силикаты, то есть соли кремниевых кислот.

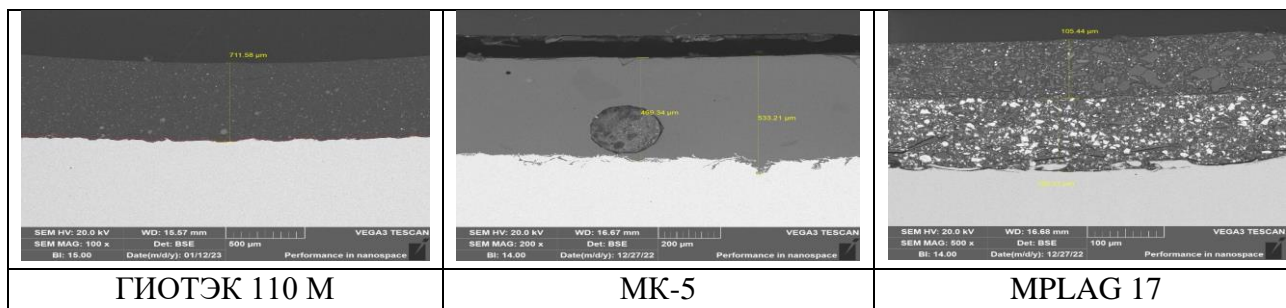


Рисунок 3 - Микроструктуры исследуемых образцов функциональных покрытий

Из микроструктуры покрытий (рисунок 3) видно, что существует заметная разница в структурных составляющих приведенных функциональных покрытий. Толщина покрытия марки МК-5 находится в диапазоне от 460 до 540 мкм, в объеме покрытия присутствуют поры, образующиеся за счет нагрева до температур около 900 °С, сопровождаемым последующим выделением газов СО и СО<sub>2</sub>. Полимерное покрытие MPLAG 17 обладает толщиной от 200 до 260 мкм и состоит из двух слоев многокомпонентных полимерных композитов разного состава примерно равной толщины. У другого полимерного покрытия ГИОТЭК 110 М диапазон толщины составляет от 600 до 790 мкм. Данное покрытие является двухслойным и состоит из тонкого слоя праймера (грунтовочного слоя) и основного слоя покрытия.

Таблица 4. Физико-механические свойства исследованных внутренних покрытий НКТ

Наименование показателя	Покрытие MPLAG 17	Покрытие ГИОТЭК 110М	Покрытие МК-5	Труба стальная 35ХМ без покрытия	Метод испытания
Толщина покрытия, мкм	200-260	600-790	460-540	-	ГОСТ 31993-2013
Диэлектрическая сплошность	Нет пробоя при напряжении $U_{и}=5$ кВ/мм	Нет пробоя при напряжении $U_{и}=5$ кВ/мм	Нет пробоя при $U_{и}=1$ кВ/мм	-	ASTM G62-14, метод В
Прочность при прямом ударе, Дж	15	15	2	-	ГОСТ Р 53007-2008
Адгезионная прочность методом нормального отрыва, МПа	20	18	6	-	ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2016)
Адгезия парафина к сухому покрытию, МПа	0,34	0,22	0,08	0,05	Внутренняя методика ООО «НПЦ Самара»
Шероховатость $R_a$ , мкм	0,20	0,26	0,05	2,26	ГОСТ 2789-73
Краевой угол смачивания дистиллированной водой сухой поверхности, °	73,8±1,8	73,5±2,0	23,7±2,4	65,3±3,1	Внутренняя методика ООО «НПЦ Самара»
Краевой угол смачивания дистиллированной водой в среде гексана, °	104,3±2,3	113,2±1,1	34,9±1,2	111,5±5,1	Внутренняя методика ООО «НПЦ Самара»
Краевой угол смачивания нефтью сухой поверхности, °	1,9±1,2	24,3±1,3	14,4±1,3	10,1±1,5	Внутренняя методика ООО «НПЦ Самара»
Краевой угол смачивания нефтью в водной среде, °	85,6±0,8	73,0±2,0	121,5±1,6	91,4±1,9	Внутренняя методика ООО «НПЦ Самара»

Значение усилия отрыва для силикатно-эмалевого покрытия марки МК-5 (таблица 4) составляет 6 МПа, значение стойкости покрытия к прямому удару составляет 2 Дж. Такие низкие значения энергии удара свидетельствуют о низкой стойкости этого покрытия к ударным воздействиям. Наполненные полимерные покрытия MPLAG 17 и ГИОТЭК 110 М, принадлежащие к другому классу, обладают более высокими показателями как адгезионной прочности 20 МПа и 18 МПа соответственно, так и ударной прочности 15 Дж для обоих покрытий.

Результаты определения шероховатости внутренней поверхности сегментов НКТ с помощью профилометра TR200 в результате автоматического сканирования прибором профиля поверхности вызвали сомнение, так как включали не только шероховатость, но и волнистость поверхности. Поэтому было проведено измерение шероховатости не в автоматическом, а в ручном режиме, и обработка полученных профилограмм с помощью программы DataView TR200 V1.5. Исходя из представленных в таблице 4 результатов, наименьшей шероховатостью  $R_a=0,05$  мкм обладает гладкое стекловидное покрытие марки МК-5 силикатно-эмалевого класса. Полимерные покрытия MPLAG 17 и ГИОТЭК 110 М обладают шероховатостью  $R_a=0,20$  и  $0,26$  мкм соответственно, что является тоже достаточно низким показателем по сравнению с  $2,26$  мкм сегмента стальной трубы без покрытия. Шероховатость поверхности, определенная на профилограммах вручную, обладает наибольшей корреляцией с результатами опытно-промышленных испытаний и представленными в таблице 5 данными, полученными на лабораторном циркуляционном стенде в режиме: температура нефтяной среды  $30^{\circ}\text{C}$ , температура охлажденных стенок сегмента  $20^{\circ}\text{C}$ , продолжительность 24 часа, скорость нефтяного потока  $0,5$  м/с. У стального образца без покрытия с наибольшей шероховатостью количество отложений было наибольшим, а у силикатно-эмалевого покрытия с наименьшей шероховатостью – наименьшим, хотя для покрытий MPLAG 17 и ГИОТЭК 110М такого соответствия не было.

Таблица 5. Количество отложений на сегментах с внутренними функциональными покрытиями и без них в лабораторном циркуляционном стенде

	MPLAG 17	ГИОТЭК 110М	МК-5	Сталь 35ХМ
Количество отложений, г	$81,2 \pm 1,8$	$77,0 \pm 1,0$	$37,0 \pm 3,4$	$104,0 \pm 5,0$

Другой параметр - адгезия парафина к сухой поверхности (таблица 4) показал еще большее несоответствие с образованием АСПО на лабораторном стенде. Так, самая низкая адгезия наблюдается для стальной поверхности без покрытия, которая наиболее подвержена образованию отложений. Хотя для сегментов с покрытиями есть такая корреляция: чем больше адгезия парафина к сухому покрытию, тем больше количество отложения на нем.

Согласно результатам исследования большинства авторов, поверхность должна обладать низкой поверхностной энергией для минимизации процессов нежелательных отложений. В связи с этим полимерные покрытия получили наибольшее распространение в нефтяной отрасли для защиты от АСПО, однако не всегда низкая поверхностная энергия покрытия гарантирует такую защиту. В последние годы больше внимания стало уделяться

смачиваемости поверхности раздела между покрытиями и сырой нефтью. Исследователи применили идеи бионики и создали новые функциональные покрытия, гидрофильные на воздухе и олеофобные в водной среде. Благодаря смачиваемости поверхности покрытия водой, на ней образуется устойчивая водяная пленка с хорошей адгезией к покрытию, а благодаря олеофобности покрытия, в воде капли нефти не смачиваются, имеют низкую адгезию, что затрудняет образование АСПО и приводит к их легкому вымыванию потоком нефтяной среды.

В связи с изложенным в диссертационной работе исследовалась смачиваемость покрытий водой и нефтью, определялись соответствующие краевые углы смачивания. По результатам эксперимента с каплей дистиллированной воды на сухой поверхности на воздухе, установлено, что наименьшим краевым углом смачивания  $23,7^\circ$  (таблица 4), то есть лучшими гидрофильными свойствами, обладает силикатно-эмалевое покрытие МК-5. Худшие гидрофильные свойства ( $73,8^\circ$  и  $73,5^\circ$ ) показывают полимерные покрытия MPLAG 17 и ГИОТЭК 110 М, причем эти свойства хуже, чем у стальной поверхности ( $65,3^\circ$ ). Такие результаты тоже не дают однозначного соответствия между краевым углом смачивания сухого покрытия дистиллированной водой и количеством отложений на покрытии в лабораторном стенде (таблица 5).

При эксперименте с каплей нефти в воздушной среде на поверхности покрытия происходило полное растекание нефти по всем поверхностям с очень малыми краевыми углами от  $1,9^\circ$  до  $24,3^\circ$ , что свидетельствует об сильной олеофильности сухих поверхностей всех покрытий и стальной поверхности. Эксперимент с каплей дистиллированной воды на поверхности в среде гексана выбран для моделирования поведения капли воды в среде нефти. Нефть непрозрачна, поэтому капля воды в ней не видна, что затрудняет измерение краевого угла. Капля воды образует в гексане сферическую частицу эмульсии, которая видна в прозрачном гексане и позволяет измерить краевой угол смачивания водой поверхности в среде гексана. Результаты измерений показывают, что все поверхности, за исключением покрытия МК-5, если они смочены гексаном, становятся гидрофобными, так как краевой угол у них становится больше  $90^\circ$ , и только покрытие МК-5 сохраняет свою гидрофильность ( $34,9^\circ$ ) в среде гексана, в чем заключается уникальность этого покрытия. Можно ожидать, что только на этом покрытии может образоваться пленка воды в смеси жидкостей нефть-вода даже при большом содержании нефти.

Принципиально важным отличием эксперимента с каплей нефти в водной среде является приближение условий к реальным в скважине с нефтью в водной среде. Так как плотность нефти меньше плотности воды и капля нефти всплывает в воде, не касаясь поверхности под водой, то для определения краевого угла смачивания поверхности нефтью в водной среде использовался оригинальный метод, который показал наименьший разброс измерений (не превышает 2 %). Плоский образец с покрытием погружался в кювету с водой «поверхностью вниз». Далее в области между образцом с покрытием и дном кюветы с использованием шприца вводилась капля нефти, которая всплывала снизу к исследуемой поверхности, и после этого производили определение краевого угла смачивания. Результаты проведения данных испытаний приведены в таблице 4 и на рисунке 4.

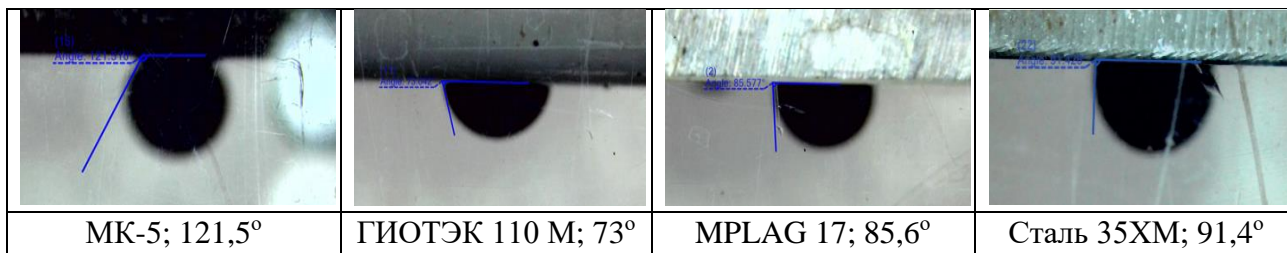


Рисунок 4. Краевые углы смачивания различных поверхностей нефтью в водной среде

Из них видно, что наибольшим краевым углом нефти в водной среде  $121,5^\circ$  обладает силикатно-эмалевое покрытие марки МК-5. Заметное превышение  $90^\circ$  на  $31,5^\circ$  свидетельствует о несмачивании, то есть о заметной олеофобности этого покрытия в водной среде. Значение краевого угла для стального образца (без покрытия) составляет  $91,4^\circ$ , что практически совпадает с  $90^\circ$  и не позволяет отнести стальную поверхность в воде к олеофильной или олеофобной. У полимерных покрытий MPLAG 17 и ГИОТЭК 110 М краевой угол составляет  $85,6^\circ$  и  $73,0^\circ$  соответственно, что несколько меньше  $90^\circ$  и свидетельствует о слабой олеофильности этих покрытий. Такая последовательность расположения полимерных покрытий и стальных поверхностей без покрытий по уменьшающейся величине краевого угла не соответствует последовательности расположения покрытий по увеличивающемуся количеству отложений на покрытии в лабораторном стенде (таблица 6), особенно для стальной поверхности без покрытия.

Таким образом, полученные совокупные результаты определения краевых углов смачивания исследованных многофункциональных покрытий дистиллированной водой и нефтью в различных средах (воздух, гексан и вода) позволяют отнести однозначно только силикатно-эмалевое покрытие МК-5 к покрытиям, гидрофильным и олеофобным в водной среде, что определяет уникальность этого покрытия и его наибольшую эффективность в защите от АСПО. Полимерные покрытия MPLAG 17 и ГИОТЭК 110 М гидрофильны на воздухе и слабо олеофильны, то есть близки к олеофобным, в водной среде, что определяет их меньшую эффективность в защите от образования АСПО. При этом результаты определения краевых углов полимерных покрытий и стальной поверхности без покрытия не дают одинаковой последовательности расположения по величинам углов в различных средах и не полностью соответствуют последовательности расположения покрытий по количеству отложений в лабораторном стенде (таблица 6). Тем не менее, совокупные результаты определения краевых углов смачивания покрытий водой и нефтью в воде могут быть рекомендованы для первичной, качественной оценки способности покрытия предотвращать выпадение АСПО.

**Пятая глава** посвящена испытаниям сегментов серийных НКТ с внутренними функциональными покрытиями и без покрытия на разработанных и изготовленных лабораторных циркуляционных стендах в динамических условиях движущихся нефтяных сред.

В качестве критерия оценки брался показатель выпадения массы АСПО. Были построены следующие виды зависимостей массы выпадения АСПО: от градиента температуры на первом варианте стенда, от скорости потока и длительности нахождения покрытия в нефтяной среде на модернизированном втором варианте стенда.

На первом варианте стенда были проведены испытания с двумя сегментами НКТ, один из которых был с внутренним функциональным покрытием (ГИОТЭК 110 М), а другой сегмент - из марки стали 35ХМ без покрытия. В ходе эксперимента оценивалось количество выпавших АСПО при различных температурах охлаждения сегментов от 0 °С до 25 °С с шагом в 5 °С, параметры скорости, температуры нефтяной среды и времени были постоянными и составляли 0,09 м/с, 25 °С, 15 ч. Данные результатов испытаний представлены на рисунке 5.

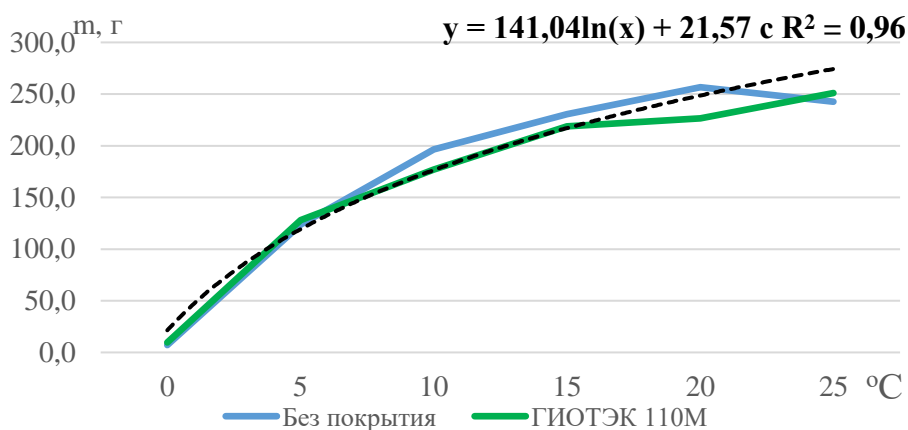


Рисунок 5 - Зависимость количества выпадения АСПО на сегментах с покрытием ГИОТЭК 110М и без покрытия от разницы температур между нефтяной средой и поверхностью стенки НКТ

Такая зависимость, практически одинаковая зависимость для покрытия и поверхности без покрытия, показывает, что она обусловлена только разницей температур нефтяной среды и более холодной поверхности НКТ и не зависит от состояния поверхности (шероховатости и поверхностной энергии), что противоречит результатам опытно-промышленных испытаний и обусловлена очень малыми значениями скорости нефтяной среды (0,09 м/с) и касательного напряжения воздействия сдвигом на слой АСПО от напора нефтяного потока, что подтверждается результатами дальнейших испытаний.

Далее представлены результаты эксперимента по определению количества выпавшего АСПО от времени выдержки образцов на модернизированном стенде. Режимы, при которых проводили эксперимент, были следующие: температура нефти 40 °С, температура рубашки охлаждения 15 °С, скорость потока была постоянной и составляла 0,5 м/с, время выдержки для каждого эксперимента было разное: 4, 6, 8, 10, 24, 48, 52 часа, результаты представлены на рисунке 6.



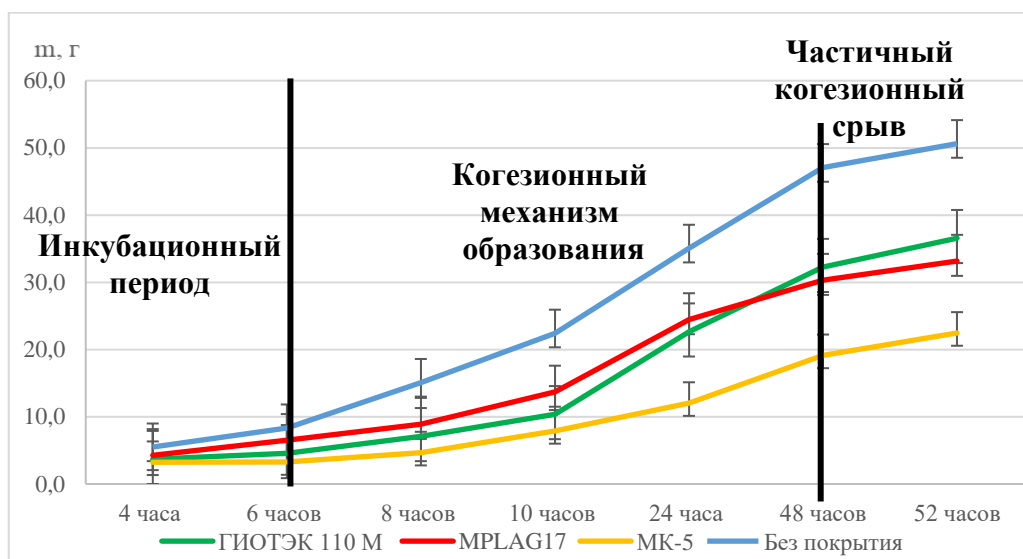


Рисунок 6 - Зависимость массы выпадения АСПО от времени проведения эксперимента на различных поверхностях

Из графика этой зависимости видно, что при времени выдержки образцов от начала проведения испытания до 6 часов существует малая разница во влиянии внутренней поверхности функциональных покрытий на выпадение АСПО (инкубационный период). Затем при увеличении времени выдержки от 6 до 48 часов происходит рост массы АСПО за счет нарастания слоя вследствие когезионного механизма. После 48 часов и далее формируется толстый слой, который из-за низкой теплопроводности АСПО является тепловым барьером с повышенной температурой, близкой к температуре нефтяной среды, у части слоя у поверхности, контактирующей с нефтяной средой. Это приводит к уменьшению когезионной прочности части слоя у этой поверхности и к когезионному отрыву этой части слоя отложений касательным напряжением воздействия сдвигом на слой АСПО движущейся нефтяной среды, в связи с чем увеличение толщины слоя во времени значительно замедляется и может прекратиться совсем.

При проведении эксперимента по определению зависимости массы АСПО от скорости потока нефти режимы были следующими: скорость потока принимала значения 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 4 м/с, температура нефти 40 °С, температура рубашки охлаждения 15 °С, время выдержки образцов составляло 48 часов. Результаты испытаний представлены на рисунке 7.

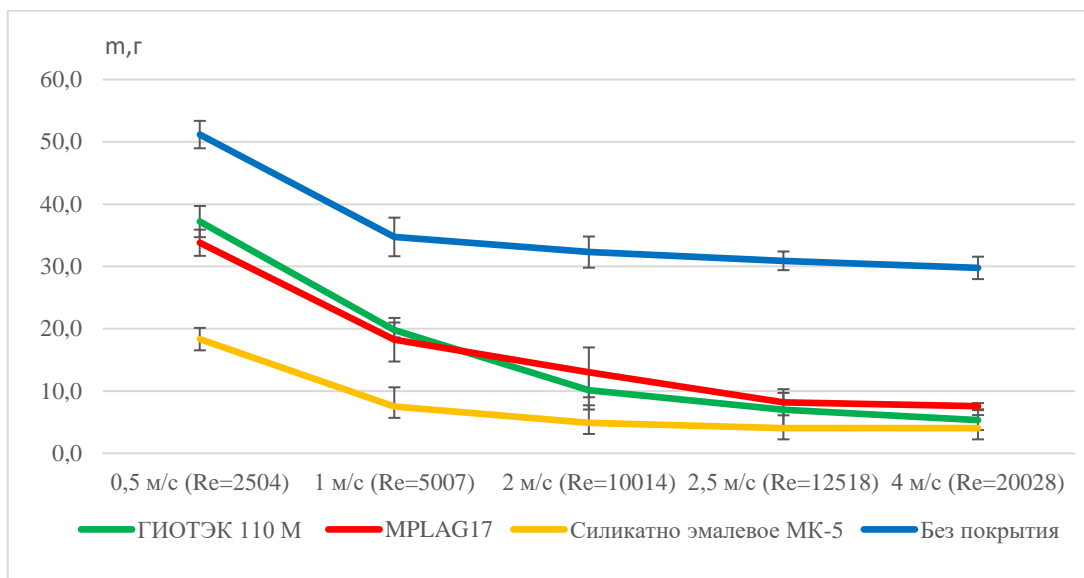


Рисунок 7 - Зависимость массы выпадения АСПО от скорости потока нефтяной среды на различных поверхностях

Из рисунка 7 видно, что при увеличении скорости потока наблюдается заметное снижение количества нежелательных отложений на полимерных и силикатно-эмалевых функциональных покрытиях, но в случае сегмента трубы без покрытия не наблюдается такой заметной разницы в уменьшении количества АСПО. Чем выше скорость потока и напряжение сдвига, тем при меньшей толщине слоя это напряжение сдвига превышает когезионную прочность нагретой части слоя и приводит к отрыву этой части слоя и сохранению у холодной поверхности покрытия другой части слоя АСПО все меньшей толщины. Толщина сохраняющейся части слоя АСПО зависит также и от величин адгезии и смачиваемости поверхности покрытия слоем АСПО и возрастает с увеличением этих величин. Для силикатно-эмалевого и полимерных функциональных покрытий скорость 2,5-4,0 м/с достаточна для того, чтобы срывать образовавшиеся отложения и уносить их потоком нефти в циркуляционном стенде с сохранением слоя АСПО незначительной толщины. (Отметим, что при данных скоростях проведения испытания в стенде создается турбулентный поток.) На образце без функционального покрытия при увеличении скорости потока масса отложений незначительно уменьшается и скорость недостаточна для того, чтобы срывать и уносить отложения с потоком нефти. Исходя из приведенных экспериментальных данных, можно заключить, что существует следующая градация поверхностей различного состава по способности противостоять АСПО (по мере ее уменьшения): силикатно-эмалевое покрытие → полимерные покрытия → стальной образец без покрытия. На основе полученной градации можно констатировать соответствие результатов исследований на лабораторной установке и данных опытно-промышленных испытаний.

На основе полученных с использованием лабораторных циркуляционных стендов результатов предложен подход для определения эффективности применения внутренних многофункциональных покрытий НКТ для предотвращения образования АСПО. Эффективность покрытия определяется тем, насколько его применение уменьшает массу

АСПО по сравнению с массой АСПО на внутренней стенке НКТ без покрытия. Тогда для вычисления эффективности покрытия можно использовать следующую простую формулу:  $E = ((M - m) / M) * 100\%$ , где  $M$  - масса отложения на поверхности НКТ без покрытия,  $m$  - масса отложения на поверхности покрытия. В частности, эффективность внутренних функциональных покрытий в предотвращении образования АСПО будет расти с увеличением скорости движения среды в колонне НКТ (при увеличении дебита скважины) и может не наблюдаться вовсе на скважинах, эксплуатирующихся в смешанном цикле (при разных скоростях, в том числе небольших, работы скважинного насоса).

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1) Разработаны и изготовлены два оригинальных лабораторных циркуляционных стенда (патент РФ на полезную модель №202556 и положительное решение Роспатента от 12.07.2023 о выдаче патента на изобретение по заявке № 2022134462/28(074924)), позволяющие создавать поток нефтяной среды с различной скоростью и температурой и образовывать слой АСПО на внутренней поверхности сегментов серийных НКТ с различными видами внутренних поверхностей при различных температурах охлаждения. Данные лабораторные стенды позволяют моделировать образование слоя АСПО на внутренней поверхности серийных НКТ в динамических условиях движущейся нефтяной среды с параметрами, максимально приближенными к эксплуатационным параметрам как в малодебитных, так и в высокодебитных скважинах

2) Исследованы структурные составляющие, качественный фазовый состав, а также свойства наиболее распространенных внутренних антикоррозионных покрытий (силикатно-эмалевое МК-5 и наполненные полимерные MPLAG 17 и ГИОТЭК 110 М на эпоксидно-фенольной основе) как в статических условиях отсутствия или неподвижной нефтяной среды, так и в динамических условиях движущейся нефтяной среды, а также связь их свойств с эффективностью защиты от образования АСПО. Согласно полученным результатам, эти антикоррозионные покрытия могут рассматриваться в качестве multifunctional покрытий НКТ и для предотвращения образования АСПО.

3) Показано, что такие, определенные в статических условиях отсутствия или неподвижной нефтяной среды, свойства поверхностей покрытий как шероховатость, адгезия парафина к сухой поверхности, угол смачивания сухой поверхности дистиллированной водой в отдельности не отражают в полной мере способность поверхностей сопротивляться образованию АСПО в динамических условиях движущейся нефтяной среды.

4) В результате исследования краевого угла смачивания покрытий дистиллированной водой и нефтью в различных средах (воздух, гексан и вода) подтверждено, что для противодействия образованию АСПО поверхность покрытия должна быть одновременно гидрофильной и олеофобной для нефти в воде. Совокупные результаты определения краевых углов смачивания покрытий водой и нефтью в воде в статических условиях неподвижной нефтяной среды могут быть рекомендованы для первичной, качественной оценки способности покрытия предотвращать выпадение АСПО.

5) Проведены испытания сегментов серийных НКТ с исследуемыми внутренними покрытиями на разработанных и изготовленных лабораторных циркуляционных стендах в

динамических условиях движущейся нефтяной среды. Получены и объяснены зависимости количества АСПО на сегментах НКТ от таких параметров потока нефтяной среды как градиент температуры, скорость потока и время воздействия. На основе полученных результатов предложена формула для вычисления эффективности применения внутренних многофункциональных покрытий НКТ для предотвращения образования АСПО. Эффективность покрытия определяется тем, насколько его применение уменьшает массу АСПО по сравнению с массой АСПО на внутренней стенке НКТ без покрытия. По мере уменьшения эффективности покрытия различного состава расставлены следующим образом: силикатно-эмалевое покрытие → полимерные покрытия → стальной образец без покрытия, что соответствует данным опытно-промышленных испытаний. Таким образом, проведение испытаний на разработанных и изготовленных лабораторных циркуляционных стендах в динамических условиях движущихся нефтяных сред позволяет наиболее достоверно оценить способность внутренних функциональных покрытий защитить НКТ от образования АСПО.

б) На основе результатов применения разработанных лабораторных стендов составлена методика оценки эффективности применения защитных покрытий против отложений АСПО на испытательном циркуляционном стенде. Разработанные циркуляционные стенды и методика использованы в ООО «Научно-производственный центр «Самара» для оценки способности внутренних функциональных покрытий предотвращать образование АСПО на внутренней поверхности НКТ или увеличивать межочистной период.

**Основное содержание диссертации представлено в следующих работах:**

***Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:***

1) Богатов, М.В. Применение внутренних многофункциональных покрытий насосно-компрессорных труб для защиты от образования асфальтосмолопарафиновых отложений / М.В. Богатов, П.Е. Юдин, А.П. Амосов // Нефтегазовое дело. 2023. - № 3. – С. 149-160. **(ВАК, К1).**

2) Богатов, М.В. Влияние гидрофильности, олеофобности на образование асфальтосмолопарафиновых отложений / М.В. Богатов, П.Е. Юдин, А.Г. Веревкин, Д.В. Берков // Нефтегазовое дело. 2022. № 6. С. 114-123. **(ВАК, К1).**

3) Богатов, М.В. Предотвращение образования асфальтосмолопарафиновых отложений на поверхности насосно-компрессорных труб путем нанесения внутренних покрытий / М.В. Богатов, П.Е. Юдин, А.Г. Веревкин, Д.В. Берков // Нефтегазовое дело. 2022. № 1. С. 74-81. **(ВАК, К1).**

4) Богатов, М.В. Моделирование процесса выпадения асфальтосмолопарафиновых веществ на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб с покрытием и без на лабораторном циркуляционном стенде / М.В. Богатов, П.Е. Юдин // Нефтегазовое дело. 2021. № 2. С. 97-103. **(ВАК, К1).**

***Патенты:***

5) Патент РФ 202556 Лабораторно-исследовательский циркуляционный стенд для испытаний методов противодействия процессам седиментации и коррозии в колонне насосно-компрессорных труб / Баранов Н.А., Желдак М.В., Макаров Е.А., Юдин П.Е., Максимук А.В., Петров С.С., Трофимов И.С., Богатов М.В.; опуб. 24.02.2021. Бюл. №6.

б) Положительное решение Роспатента от 12.07.2023 о выдаче патента на изобретение по заявке №2022134462/28(074924) зарегистрированный 26.12.2022. Лабораторный испытательный стенд для воспроизведения эксплуатационных условий внутри погруженной в нефтяную скважину колонны насосно-компрессорных труб при испытаниях различных методов противодействия коррозии и седиментации / Максимук А.В., Юдин П.Е., Веревкин А.Г., Желдак М.В., Богатов М.В., Берков Д.В., Крысина Д.А., Вязгин Д.С., Иванов А.В.

**Публикации в других изданиях:**

7) Богатов, М.В. Анализ моделирования процесса образования АСПО на внутренней поверхности НКТ с внутренним покрытием и без покрытия / М.В. Богатов, П.Е. Юдин, А.Г. Веревкин, Д.В. Берков // Инженерная практика. 2022. № 03. – С. 22-28.

8) Богатов, М.В. Влияние шероховатости на способность внутренних покрытий препятствовать образованию асфальтосмолопарафиновых отложений / М.В. Богатов, П.Е. Юдин // Высокие технологии в машиностроении: материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции / Отв. ред. Р.Г. Гришин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2021. – С. 203-207.

*Научное издание*

Богатов Максим Валерьевич

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук на тему:

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВНУТРЕННИХ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ  
НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБ НА ОБРАЗОВАНИЕ  
АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Автореферат отпечатан с разрешения объединенного диссертационного совета 99.2.039.02 на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» и ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени С.П.Королева» (протокол №15 от «09» октября 2023г.)

Формат 60x84 1/16. Набор компьютерный

Усл. печ. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Отдел типографии и оперативной печати

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244.