

ОТЗЫВ

официального оппонента **Латыпова Олега Ренатовича**
на диссертационную работу **Беркова Дениса Валентиновича** на тему:
«Влияние состава, структуры и свойств внутренних функциональных покрытий насосно-компрессорных нефтепромысловых труб на защиту от неорганических солеотложений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17.

Материаловедение

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проблема образования солеотложений на внутренней поверхности нефтепромыслового оборудования, в связи с переходом большого числа нефтяных месторождений на позднюю стадию добычи нефти, становится всё более актуальной как для нефтегазовой отрасли Российской Федерации, так и для других нефтедобывающих стран. Для этой стадии характерно высокое значение обводнённости скважинной продукции, что, в свою очередь, влечет за собой образование кристаллической фазы неорганических солей из высокоминерализованной воды на металлической поверхности. При подъеме скважинной продукции вследствие образования неорганических солеотложений на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб (НКТ) происходит сужение их внутреннего сечения вплоть до их полной закупорки, и необходимости проведения дальнейших мероприятий по очистке НКТ. Простой нефтедобывающих скважин, энерго- и трудозатраты на спускоподъемные и очистные операции приводят к большим экономическим потерям.

Среди различных методов профилактики солеотложений на внутренней поверхности НКТ наибольший интерес представляет применение защитных покрытий из-за простоты их нанесения, долговечности и эффективности. Особенно привлекательным для этой цели является применение материалов для антикоррозионных покрытий НКТ, которые уже достаточно широко используются в нефтегазовой отрасли. В этом случае внутреннее покрытие становится многофункциональным и защищает НКТ при добыче нефти от действия нескольких осложняющих факторов, а именно от коррозии и одновременно от образования отложений неорганических солей на внутренней поверхности НКТ.

В настоящее время в нефтегазовой отрасли отсутствуют нормативные документы, включающие методы испытаний, на основании которых можно судить об эффективности применения внутреннего покрытия в качестве профилактической меры против образования неорганических солеотложений.

С отзывом согласен 04.06.2025
Берков

ФГБОУ ВО "СамГТУ"
"04" 06. 2025г
Вход. № <i>81к</i>

О пригодности внутреннего покрытия НКТ для защиты от неорганических солеотложений добывающие компании вынуждены судить по результатам длительных и дорогих опытно-промысловых испытаний (ОПИ) труб с таким покрытием на конкретном месторождении. Поэтому существует актуальная потребность в разработке лабораторных методов оценки эффективности внутренних покрытий НКТ для защиты от образования солеотложений.

На основании вышеизложенного можно судить об актуальности темы диссертационной работы Беркова Д.В., посвященной исследованию предотвращения образования в нефтяных скважинах неорганических солеотложений на внутренней поверхности нефтепромысловых НКТ за счет применения внутренних защитных покрытий. Для оценки способности этих покрытий предотвращать образование неорганических солеотложений на металлической поверхности в работе была изучена взаимосвязь их структуры, состава и свойств со способностью образования неорганических солеотложений на поверхности покрытий из движущейся солеобразующей среды на основе разработки и применения соответствующего испытательного лабораторного стенда.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа Д.В. Беркова состоит из введения, восьми глав, выводов на основании проведенных исследований, списка использованных источников из 137 наименований. Объем работы составляет 260 страниц, 101 рисунок и 17 таблиц.

Во введении содержится обоснование актуальности темы диссертации, цель и задачи исследований, научное и прикладное значение работы, основные положения, выносимые на защиту, соответствие паспорту научной специальности 2.6.17. Материаловедение, представлена структура диссертационной работы, а также информация об апробации работы и публикациях автора.

В *первой главе* приведен аналитический обзор научно-технической литературы. Рассмотрены наиболее распространенные типы неорганических солеотложений, которые являются побочными продуктами процесса нефтедобычи. Рассмотрены свойства неорганических солеотложений (в зависимости от их состава), условия их образования на рабочей поверхности нефтепромыслового оборудования. Также в литературном обзоре рассмотрены основные методы борьбы и профилактики образования неорганических солеотложений, среди которых отдельно выделено применение покрытий и материалов. В обзоре представлены отечественные и зарубежные научные публикации, в которых рассматривается влияние свойств

покрытий (адгезия между солеотложением и покрытием, гидрофобность, шероховатость) на способность покрытия предотвращать или снижать солеобразование на своей поверхности. Рассмотрены основные типы внутренних защитных покрытий, применяемых в нефтегазовой отрасли, принцип классификации которых основан на составах покрытий (эпоксидные, эпоксидно-фенольные, полиуретановые и силикатно-эмалевые покрытия).

Во *второй главе* представлены выбранные для проведения диссертационных исследований материалы покрытий, методики проведения испытаний, приборы и оборудование, на которых проводились эксперименты. В качестве объектов испытания было выбрано 9 марок наиболее распространенных видов защитных покрытий различного состава. Защитные покрытия наносились на внешнюю поверхность цилиндрических образцов из стали 40Г2 диаметром 20 мм и высотой 20 мм, а также на металлическую поверхность пластин 100×100 мм. Представлен перечень 7 ингибиторов солеотложения различного химического состава, которые были выбраны для испытаний с целью оценки возможности комплексного применения защитных покрытий и ингибиторов солеотложения.

В *третьей главе* приведено описание разработанного оригинального стенда оценки стойкости покрытий к неорганическим солеотложениям в динамических условиях при относительном движении покрытия и солеобразующей среды. Разработка стенда осуществлялась на основе анализа достоинств и недостатков существующих единиц испытательного оборудования, приведенного в главе 3. Изложен принцип работы разработанного лабораторного стенда. Стоит отметить, что на разработанный стенд соискателем получен патент на изобретение RU 2 825 169.

Четвертая глава описывает процесс разработки метода моделирования солеобразующей среды для проведения стендовых испытаний покрытий. Показаны общие принципы, которыми руководствовался автор при разработке модельной солеобразующей среды. Особо отмечается важность создания именно условий гетерогенной нуклеации на вертикальной стенке при слабом пересыщении раствора. Однако автор не приводит точной рецептуры приготовления солеобразующей среды, мотивируя это тем, что рецептура является секретом производства ООО «НПЦ «Самара».

Пятая глава описывает изучение структуры, состава и свойств внутренних защитных покрытий НКТ в статических условиях отсутствия солеобразующей среды или неподвижных покрытий в неподвижной солеобразующей среде. Результаты данной главы сопоставляются с приведенными в главе 6 результатами динамических стендовых испытаний. Показано, что ни одна из характеристик состава, структуры и свойств

внутренних покрытий НКТ, определенных в статических условиях, не позволяет однозначно судить о способности этих покрытий препятствовать образованию солеотложений в динамических условиях относительного движения покрытий и солеобразующей среды.

В *шестой главе* представлены результаты проведенных динамических испытаний на разработанном лабораторном «Стенде оценки стойкости покрытий к неорганическим солеотложениям». Результаты показали снижение массы солеотложений на всех цилиндрических образцах с защитными покрытиями по сравнению со стальным цилиндрическим образцом без защитного покрытия. При этом автор делает вывод, что ни одно из испытанных защитных покрытий не способно полностью предотвратить образование солеотложений на своей поверхности. Наибольшая эффективность снижения солеотложения составила 41,6 % при скорости относительного движения 0,5 м/с у покрытия № 7, и от 53,7 % до 60,1 % при скорости от 1 до 3 м/с у покрытия № 2.

Седьмая глава содержит результаты стендовых динамических испытаний с целью оценки возможности комплексного применения защитных покрытий и ингибиторов солеотложения. Наиболее эффективное сочетание «покрытие № 1 – ингибитор № 1» (93,65 % снижения солеотложения по сравнению со стальным образцом без использования ингибитора) было найдено путем последовательного испытания 9 марок покрытий и 7 составов ингибиторов солеотложения по принципу «каждый с каждым». Установлены две причины снижения солеотложения при комплексном применении покрытий и ингибиторов: 1) на защитных покрытиях образуется меньшее количество центров кристаллизации неорганических солеотложений по сравнению со стальной поверхностью; 2) в процессе испытаний происходит срыв образующихся солеотложений с образцов защитных покрытий.

В *восьмой главе* представлены результаты стендовых испытаний, которые были проведены для оценки возможности комплексного применения защитных покрытий и дозирования пресной воды в скважинную продукцию. Результаты испытаний показали, что на объектах нефтедобычи, склонных к образованию гипсовых отложений, разбавление эмульсии может дать как прямой эффект – снижение массы солеотложений, так и привести к обратному эффекту — увеличению массы солеотложений.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Соискателем впервые для наиболее распространенных внутренних функциональных покрытий НКТ разных классов проведены сравнительные исследования связи их состава, структуры и свойств, определенных в

статических условиях отсутствия солеобразующей среды или неподвижных покрытий в неподвижной солеобразующей среде, с эффективностью защиты от образования неорганических солеотложений на образцах внутренних защитных покрытий НКТ в динамических условиях, моделирующих движение потока солеобразующей среды относительно защитного покрытия.

Показано, что такие, определенные в статических условиях характеристики покрытий, как состав, структура и свойства поверхностей покрытий (шероховатость, адгезионная прочность солеотложения, угол смачивания дистиллированной водой) в отдельности не отражают однозначно способность покрытий препятствовать образованию неорганических солеотложений на своей поверхности в динамических условиях, моделирующих поток жидкости в трубе.

Для девяти образцов наиболее распространенных внутренних защитных покрытий НКТ и двух полимерных материалов получены зависимости массы образующихся солеотложений от моделируемой скорости потока. Выявлено, что при всех скоростях потока ни одно из испытанных защитных покрытий не способно полностью предотвращать процесс образования гипсовых солеотложений с примесями галита, на своей поверхности. Показано, что применение ингибиторов может значительно увеличить эффективность покрытий в уменьшении солеотложений, и стендовые испытания позволяют найти наиболее эффективное сочетание «покрытие – ингибитор». Показано также, что разбавление пресной водой солеобразующей среды может привести как к снижению массы солеотложения гипсового типа на покрытии, так и к увеличению этой массы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработанный и изготовленный «Стенд оценки стойкости покрытий к неорганическим солеотложениям» (Патент RU 2 825 169) используется в ООО «НПЦ «Самара» для оценки эффективности применения защитных покрытий для уменьшения неорганических солеотложений, а также для оценки эффективности комплексного применения защитных покрытий и ингибиторов солеотложения.

Результаты диссертационных исследований Беркова Д.В. также используются в ООО «Иркутская нефтяная компания» (г. Иркутск), для которой в 2023 году выполнены работы «Проведение испытаний защитных покрытий труб НКТ на стойкость к солеотложениям. Анализ причин выпадения солеотложений на объектах ООО «ИНК». Проведен анализ возможности применения защитных покрытий, как меры предотвращения выпадения солеотложений на оборудовании ООО «ИНК».

Целесообразно рекомендовать применение результатов диссертационных исследований Беркова Д.В. и в других нефтяных компаниях.

СООТВЕТСТВИЕ ПАСПОРТУ ЗАЯВЛЕННОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Диссертационная работа Беркова Д.В. полностью соответствует паспорту заявленной научной специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки) по пунктам:

«6. Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств металлических, неметаллических и композиционных материалов и функциональных покрытий».

«12. Установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства функциональных покрытий».

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ, РЕКОМЕНДАЦИЙ, ЗАКЛЮЧЕНИЙ И ВЫВОДОВ

Степень обоснованности результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется использованием современного оборудования и аттестованных методик исследований, соответствием полученных результатов результатам других авторов и опытно-промышленных испытаний, непротиворечивостью полученных выводов и заключений существующим представлениям, а также подтверждается результатами практического применения в ООО «Научно-производственный центр «Самара» и ООО «Иркутская нефтяная компания».

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, ОТРАЖАЮЩИХ ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 9 научных трудах, в том числе 2 статья в рецензируемом научном 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 (технические науки), в 1 статье рецензируемого журнала, включенного в международную базу данных Scopus, в 1 патенте РФ на изобретение, в 2 статьях в иных изданиях, индексируемых в РИНЦ, 3 публикациях в материалах международных и всероссийской конференций.

Публикации полностью отражают основное содержание диссертации.

Основные положения работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 3 международных и 1 всероссийской конференциях.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ РАБОТЫ

Вместе с тем, диссертационная работа не лишена недостатков, и в качестве замечаний стоит отметить следующие:

1 В работе не даётся аргументированного объяснения, чем положенный в основу разработанного оригинального стенда способ вращающихся цилиндров с покрытиями в солеобразующем растворе лучше известного способа «вращающегося цилиндрического электрода (RCE)», в котором создаются электрохимические условия образования солеотложений на исследуемой поверхности.

2 В работе не уделено внимания электрохимическим параметрам модельной солеобразующей среды в реакторе, таким как pH и Eh (окислительно-восстановительный потенциал) системы.

3 Все стендовые испытания покрытий на определение солеотложения проводились при одинаковом значении температуры 30 °С и одной продолжительности в течение 6 часов. Из текста диссертации не совсем понятно, из каких соображений были выбраны именно эти значения температуры и продолжительности испытаний?

4 В диссертации не представлены результаты опытно-промышленных испытаний НКТ с покрытиями на солеотложение, не приведено сопоставление этих результатов с результатами лабораторных стендовых испытаний, проведенных диссертантом.

5 К сожалению, в диссертации не рассматривается экономическая эффективность применения покрытий против солеотложения в НКТ, ведь НКТ с покрытиями заметно дороже, чем без покрытий. Окупается ли применение НКТ с покрытиями, особенно в случае комплексного применения с дорогими ингибиторами солеотложения?

Однако отмеченные недостатки не имеют принципиального значения и не могут заметно снизить научную и практическую ценность выполненной диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Беркова Дениса Валентиновича на тему «Влияние состава, структуры и свойств внутренних функциональных покрытий насосно-компрессорных нефтепромысловых труб на защиту от

неорганических солей» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, использованные при разработке лабораторного испытательного стенда и методик по установлению влияния состава, структуры и свойств внутренних функциональных покрытий нефтепромысловых насосно-компрессорных труб на образование неорганических солей и определению эффективности функциональных покрытий в защите от этих солей, имеющие существенное значение для развития страны.

Представленная диссертация по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости полученных результатов удовлетворяет требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Берков Денис Валентинович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Даю согласие на обработку своих персональных данных.

Заведующий кафедрой «Материаловедение
и защита от коррозии» федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
профессор (2.6.17. Материаловедение),
доктор технических наук (05.02.13
Машины, агрегаты и процессы
(нефтегазовая отрасль)).

Латыпов Олег
Ренатович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». 450064, Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.
e-mail: o.r.latypov@mail.ru; 8(347)242-08-36.

Подпись Латыпова О.Р. заверяю
Начальник отдела по работе с персоналом

Дадаян Ольга
Анатольевна

« 21 » мая 2025 г.

