

На правах рукописи

Шаф-

ШАЙХУТДИНОВА МАРГАРИТА ШАМИЛЬЕВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Специальность 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз, хранилищ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа 2020

Работа выполнена на кафедре «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонетехранилищ» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

- Научный руководитель – доктор технических наук
Дудников Юрий Владимирович
- Официальные оппоненты – **Фатыхов Миннехан Абузарович**
доктор физико-математических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» /
кафедра «Общая и теоретическая физика»,
заведующий кафедрой
- **Лежнев Михаил Александрович**
кандидат технических наук
ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина» / кафедра «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и хранилищ», доцент
- Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ухтинский государственный технический университет» (г. Ухта)

Защита состоится «21» мая 2020 года в 11³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.212.289.04 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2020 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время одной из актуальных задач является повышение эффективности эксплуатации нефтяных резервуаров. Эксплуатация нефтяных резервуаров имеет свою специфику, связанную с относительно высокими рисками обеспечения техносферной безопасности. В последние десять лет наметилась тенденция интенсивного развития дистанционных методов мониторинга в нефтегазовой отрасли, отсутствие которых ранее приводило к серьезным авариям и инцидентам, затрагивающим не только промышленную, но и техносферную безопасность. Недостаточная информированность персонала о протекании процессов, связанных с технологией хранения нефти, часто приводит к принятию неправильных решений персоналом, занятых эксплуатацией и обслуживанием технологического оборудования.

Дистанционные методы мониторинга подразделяются на оперативные методы мониторинга с принятием решения в реальном масштабе времени и методы мониторинга, характеризующиеся плановыми регламентными сроками обслуживания. По виду анализа дистанционные методы мониторинга нефтяных резервуаров разделяют на физико-технические, химические, биологические, микробиологические и т.д.

Физико-технические методы мониторинга позволяют оперативно определить состояние исследуемых образцов нефти в отличие от существующих, например, химических и микробиологических методов, которые, во-первых, занимают длительное время на исследование объектов и, во-вторых, при воздействии на объекты могут изменять их свойства.

В настоящее время весьма актуальным является разумное сочетание как активных, так и пассивных методов мониторинга. Применение пассивных методов мониторинга позволяют с высокой точностью определять физико-технические свойства жидкости и её компонентов. Активные методы мониторинга позволяют оперативно воздействовать на исследуемые процессы в плане изменения их состояния и изменения условий проведения исследований.

Среди физико-технических методов особое место занимают электрофизические методы мониторинга нефти и её компонентов. Неоспоримыми достоинствами электрофизических методов являются: 1) оперативность получения информации в режиме реального времени; 2) бесконтактное воздействие на исследуемый объект; 3) минимальное энергетическое и деструктивное воздействие на объект и его свойства; 4) получение информации в форме, удобной для передачи по современным информационным каналам связи; 5) возможность управления и повышения эффективности эксплуатации нефтяных резервуаров в устойчивом режиме с обратными связями.

Применение электрофизических методов позволит повысить эффективность эксплуатации нефтяных резервуаров с упреждающим принятием решения в штатных и нештатных ситуациях.

Степень разработанности темы исследования

Исследованиями в области эксплуатации нефтяных резервуаров в разные

годы занимались следующие учёные: Брезгин А.Е., Галиакбаров В.Ф., Едигаров С.Г., Каравайченко М.Г., Кононов О.В., Коробков Г.Е., Лерке Г.Э., Лежнев М.А., Лукьянова И.Э., Сквородников Ю.А. и другие исследователи. Вопросам исследования электрофизических методов мониторинга нефти и её компонентов посвящены труды Гоца С.С., Денисова Н.Ф., Доломатова Ю.М., Дудникова Ю.В., Евдокимова И.Н., Ламии Г., Гонг-Хо Парка, Саяхова Ф.Л., Сушко Б.К., Фатыхова М.А., Ямалетдиновой К.Ш. и других исследователей. Процессами предотвращения образования асфальтосмолопарафиновых отложений занимались Арменский Е.А., Губин В.Е., Зубарев В.Г., Иванова Л.В., Колесник И.С., Мансуров Ф.Г., Мастобаев Б.Н., Можайская М.В., Тронов В.П. и другие исследователи.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема и содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности ВАК РФ 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ», а именно п. 5 – «Разработка научных основ и усовершенствование технологии хранения нефти и методов сооружения наземных нефтехранилищ».

Цель работы: Повышение эффективности методов мониторинга состояния нефти и её компонентов при эксплуатации нефтяных резервуаров.

Основные задачи работы:

1. Анализ эффективности существующих методов мониторинга состояния нефти и её компонентов при эксплуатации нефтяных резервуаров.
2. Определение однородности и границы раздела «нефть-вода» в нефтяных резервуарах путем применения электрофизических методов исследования.
3. Мониторинг и идентификация агрегатного состояния нефти и её компонентов в нефтяных резервуарах с использованием электрофизических методов исследования.
4. Проведение эффективного размыва отложений в нефтяных резервуарах путем реконструкции узла приёмо-раздаточных патрубков.

Научная новизна результатов работы

1. Разработан экспериментальный метод определения однородности и границы раздела «нефть-вода» в нефтяных резервуарах, основанный на определении электропроводности жидкости в радиочастотном диапазоне.
2. Экспериментально обнаружен новый физический эффект изменения электрофизических свойств нефти и её компонентов на низких частотах, позволяющий установить температурные границы фазового перехода исследуемого образца для принятия решения о размыве отложений в нефтяных резервуарах.
3. Сформулирована и решена новая задача по повышению эффективности размыва отложений за счёт реконструкции узла приёмо-раздаточных патрубков с изменением их взаимного расположения в нефтяном резервуаре.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. Изучены электрофизические свойства нефти и её компонентов в диапазоне температур от 20 до 70 °С в диапазоне частот от 4 Гц до 1000 Гц;

2. Изучено влияние изменения взаимного расположения узла приёмо-раздаточных патрубков в резервуаре на эффективность размыва донных отложений в резервуаре.

Практическая ценность и реализация результатов работы

1. Разработано устройство мониторинга однородности и границы раздела «нефть-вода» в нефтяных резервуарах, которое позволяет оперативно контролировать и сигнализировать о появлении неоднородности жидкости в резервуаре (Патент РФ №154133).

2. Создан электрофизический метод мониторинга и идентификации агрегатного состояния нефти и её компонентов, позволяющий на основе оценки энергетических характеристик определить диапазон температур, при котором не происходит образование и накопление донных отложений в резервуаре (Патент РФ №2658539).

3. Предложена реконструкция узла приёмо-раздаточных патрубков с изменением их взаимного расположения в резервуаре, позволяющая уменьшить накопление донных отложений в резервуаре (Патент РФ №2610112).

4. Результаты диссертационной работы использованы в учебном процессе в учебном процессе ФГБОУ ВО УГНТУ при чтении лекций, проведении лабораторных и практических занятий по дисциплинам «Сооружение и ремонт газонефтехранилищ» для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 21.03.01 «Нефтегазовое дело» и магистров 21.04.01 «Нефтегазовое дело», а также при проведении практических занятий по дисциплине «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 21.03.01 «Нефтегазовое дело» в институте нефти и газа ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова».

Методология и методы исследования

Решение поставленных задач проводилось на основе имитационного моделирования, лабораторных экспериментальных исследований с использованием микропроцессорной техники в составе информационно-измерительных систем, современных алгоритмов цифровой обработки результатов исследований, с использованием компьютерной графики и моделирования. В работе использованы экспериментальные и теоретические методы импедансной спектроскопии, синхронного детектирования, а также косвенные методы оценки энергетических характеристик нефти и её компонентов. Расчёты проводились с использованием современных лицензированных программных продуктов ANSYS, Microsoft Excel.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод бесконтактного мониторинга однородности и границы раздела «нефть-вода» в нефтяных резервуарах на основе электрофизических методов исследования.

2. Метод мониторинга и идентификации агрегатного состояния нефти и её компонентов на низких частотах, позволяющий на основе электрофизических измерений установить температурные границы фазового перехода исследуемого объекта для принятия решения о размыве отложений в нефтяных резервуарах.

3. Реконструкция узла приёмо-раздаточных патрубков с изменением их взаимного расположения в резервуаре с целью уменьшения накопления донных отложений в нефтяных резервуарах.

Степень достоверности и апробация результатов

Экспериментальные исследования метрологически обеспечены за счет использования поверенного и сертифицированного оборудования и измерительных средств, современных цифровых приборов, путем применения автоматизированных систем на базе персонального компьютера, общепризнанных математических методов обработки данных, а также компьютерного и математического моделирования процессов, сравнением с данными, приведенными в научной и нормативной литературе.

Результаты работы докладывались и обсуждались на международной конференции «Экологические проблемы нефтедобычи» (г. Уфа, 2012 г.); на Международных научно-практических конференциях «Энергоэффективность. Проблемы и решения» (г. Уфа, 2013- 2015 г.); на Международных молодёжных конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Наукоёмкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса» (г. Уфа, 2014, 2017-2019г.); на Международной научно-практической конференции «Проблемы и методы обеспечения надёжности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа» (г. Уфа, 2012-2015 г); на X международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт - 2015», посвящённая 40-летию образования ФТТ УГНТУ (г. Уфа, 2015 г); на IV Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием «Актуальные проблемы микро - и нано электроники» (г. Уфа, 2016 г.); на Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ» (г. Москва, 2017-2019 г.); Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодых учёных «XXXIII сибирский теплофизический семинар», (Новосибирск, 6-8 июня 2017 г); на XII всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика)» (г. Москва, 24-27 октября 2017 г); на XII всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (г. Москва, 12-14 февраля 2018 г), на VIII международной научно-практической и методической конференции (г. Уфа, 30 – 31 мая 2019 г.) «Инновации и наукоёмкие технологии в образовании и экономике».

Публикации. По теме диссертации опубликованы 23 научные работы, в т.ч. 5 в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, среди них 1 статья в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus и Web of Science, также получен 1 патент РФ на полезную модель, 2 патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка, включающего 198 наименований. Работа содержит 48 рисунка и 17 таблиц и изложена на 150 страницах машинописного текста.

Автор выражает признательность за полезные советы и помощь в процессе работы над диссертацией научному руководителю Дудникову Ю.В.,

научным консультантам д.ф.-м.н., профессору Гоцу С.С, д.т.н, профессору Ямалетдиновой К.Ш., д.т.н., доценту Сушко Б.К.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель и определены задачи исследования, показаны научная новизна и практическая ценность проведённых исследований.

В **первой главе** осуществлена оценка эффективности существующих методов мониторинга состояния нефти и её компонентов при эксплуатации нефтяных резервуаров.

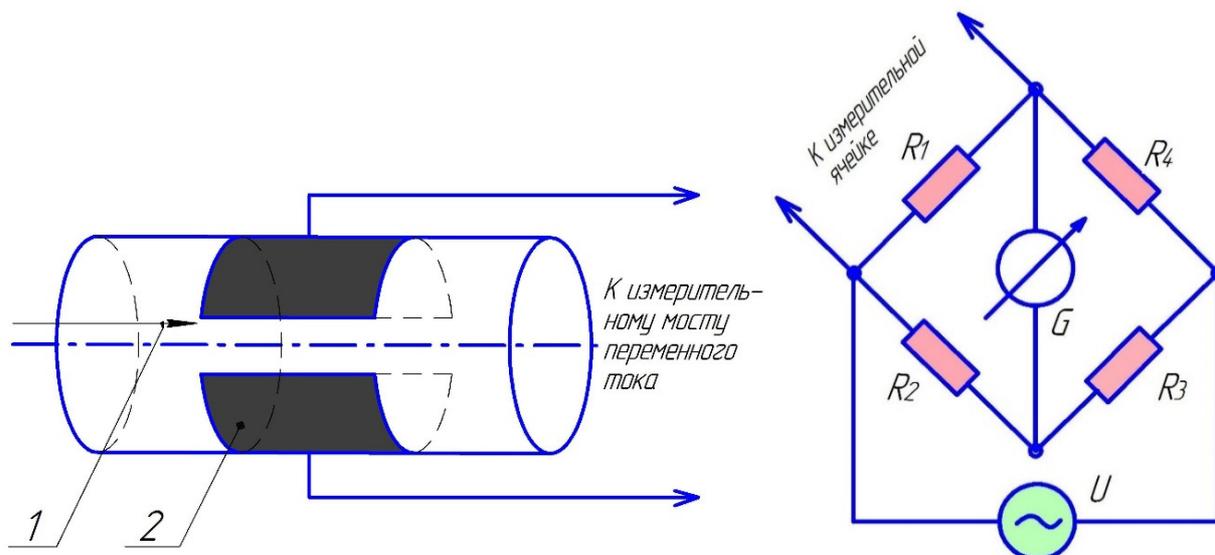
Анализ эффективности существующих методов и устройств статического и динамического мониторинга состояния жидкости в резервуарах показывает, что наибольшее распространение среди статических методов мониторинга занимает ультразвуковой метод, а также ёмкостной, основанный на измерении электрической ёмкости среды. Среди анализируемых устройств можно выделить ряд недостатков, такие как точность результатов измерения, технические характеристики используемого оборудования, изменение физических свойств жидкостей под воздействием ультразвука и смещение границ раздела сред, условия проведения измерений, а также области применения методов. В качестве динамического метода мониторинга подробно рассмотрены методы и устройства, основанные на измерении электропроводности исследуемой среды с применением в качестве основных элементов конструкции - электроды. В результате исследований во второй главе разработан электрофизический метод бесконтактного мониторинга однородности и границы раздела «нефть-вода», лишенный недостатков выше изложенных методов.

При исследовании электрофизических свойств сред используют метод импедансной спектроскопии, который обладает широким диапазоном частот воздействия на исследуемый образец. Данный метод в диссертационной работе позволил произвести мониторинг и идентификацию агрегатного состояния нефти и её компонентов за счёт определения энергетических характеристик в выбранном диапазоне частот.

Среди устройств и средств по предотвращению образования и накопления асфальтосмолопарафинистых отложений наибольшее распространение получили винтовые устройства (различного вида мешалки), основанные на механическом методе перемешивания, которые не позволяют в полном объёме осуществлять эффективный размыв отложений. Выполненный в первой главе анализ позволил сформулировать цель и определить задачи исследования.

Во **второй главе** определение однородности и границы раздела «нефть-вода» в нефтяных резервуарах осуществляется путем применения электрофизических методов исследования. Для этого разработано устройство, в котором определяется электропроводность среды по значению силы тока, протекающего через исследуемую среду. В основу работы устройства положено измерение средневывраженного значения напряжения разбаланса моста переменного тока высокой частоты (Рисунок 1). Изменение показаний индикатора

G разбаланса моста при изменении положения границы раздела сред будет свидетельствовать об изменении однородности исследуемой жидкости.



1 – исследуемый поток жидкости; 2 – металлические электроды; U - генератор переменного тока; G - индикатор разбаланса моста; R_1, R_2, R_3, R_4 – сопротивления

Рисунок 1 – Схема устройства бесконтактного мониторинга однородности и границы раздела «нефть-вода» в нефтяных резервуарах

По результатам экспериментальных исследований (Рисунок 2) при стационарном состоянии жидкостей была получена зависимость значения силы тока разбаланса моста от положения границы раздела для различных сред, в том числе и для сред «нефть – вода».

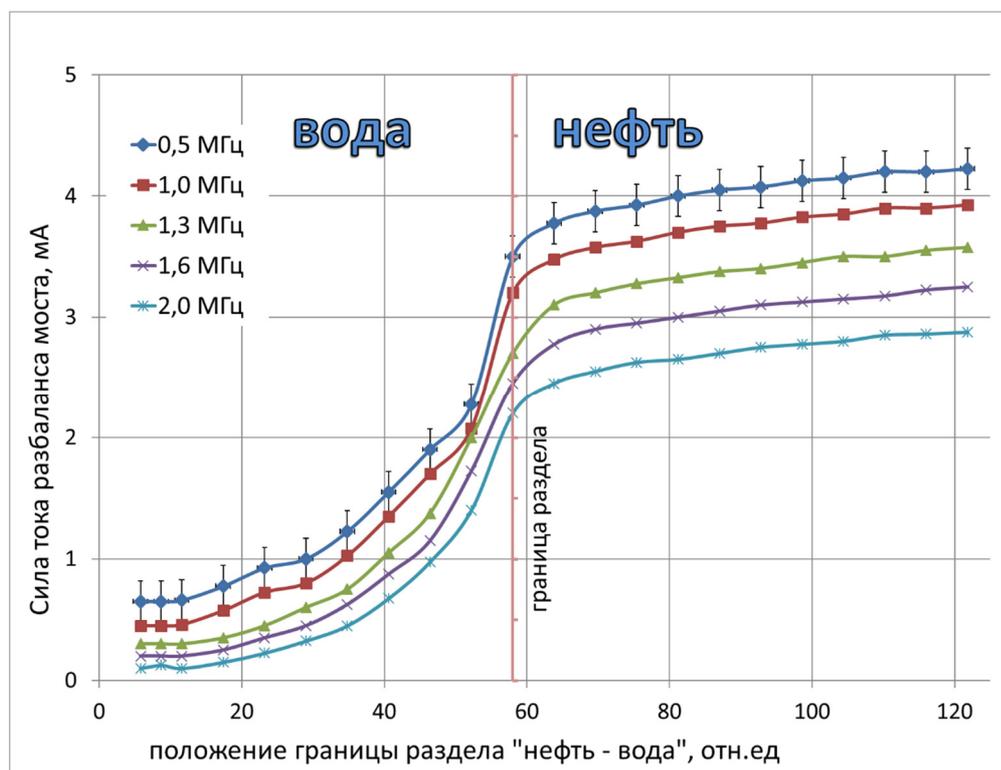


Рисунок 2 – Определение однородности и границы раздела «нефть – вода»

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с составленным многофакторным планом экспериментальных исследований типа $N=3^k$. Факторами исследования выбраны: положение границы раздела сред и частота выходного сигнала генератора.

На Рисунке 2 четко прослеживается граница раздела «нефть-вода» из-за разницы в значении электропроводности между нефтью и водой, при этом изменение значения частоты не влияет на характер самой кривой.

На графике производной величины разбаланса моста от изменения положения границы раздела «нефть-вода» прослеживается пик в месте границы раздела сред, что подтверждает возможность мониторинга однородности и границы раздела сред в исследуемом образце (Рисунок 3).

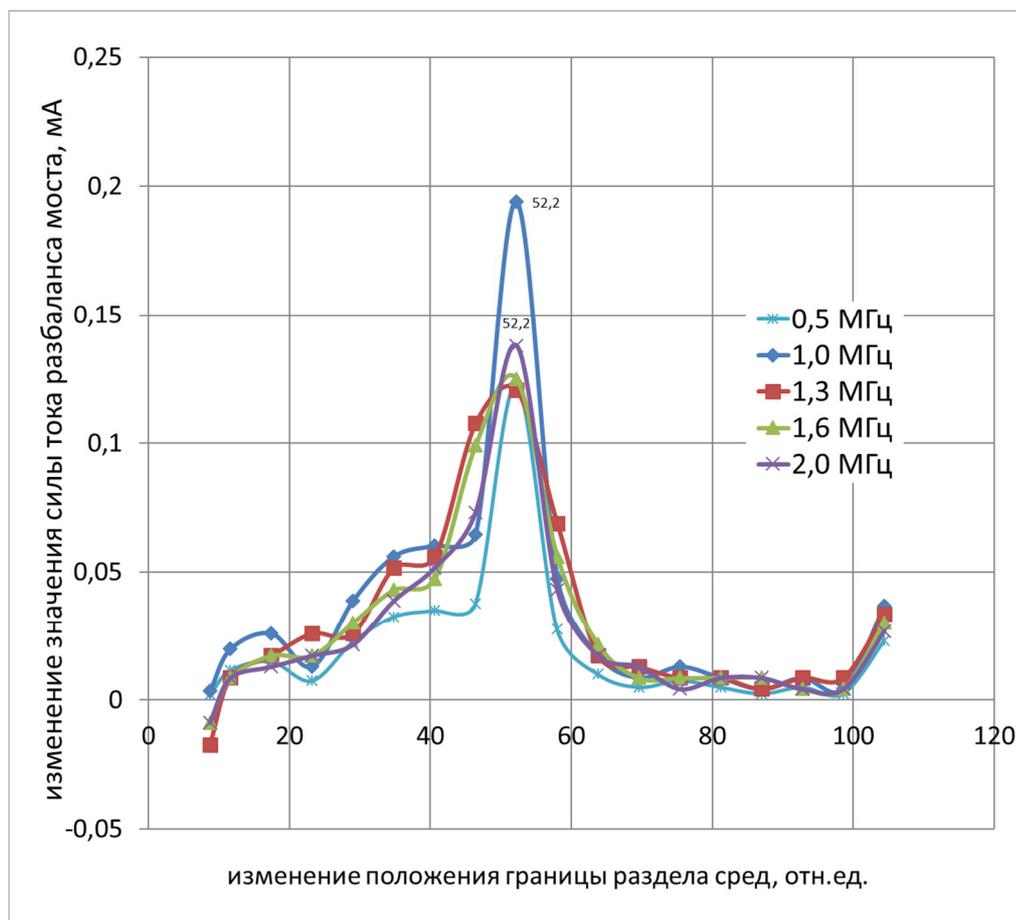
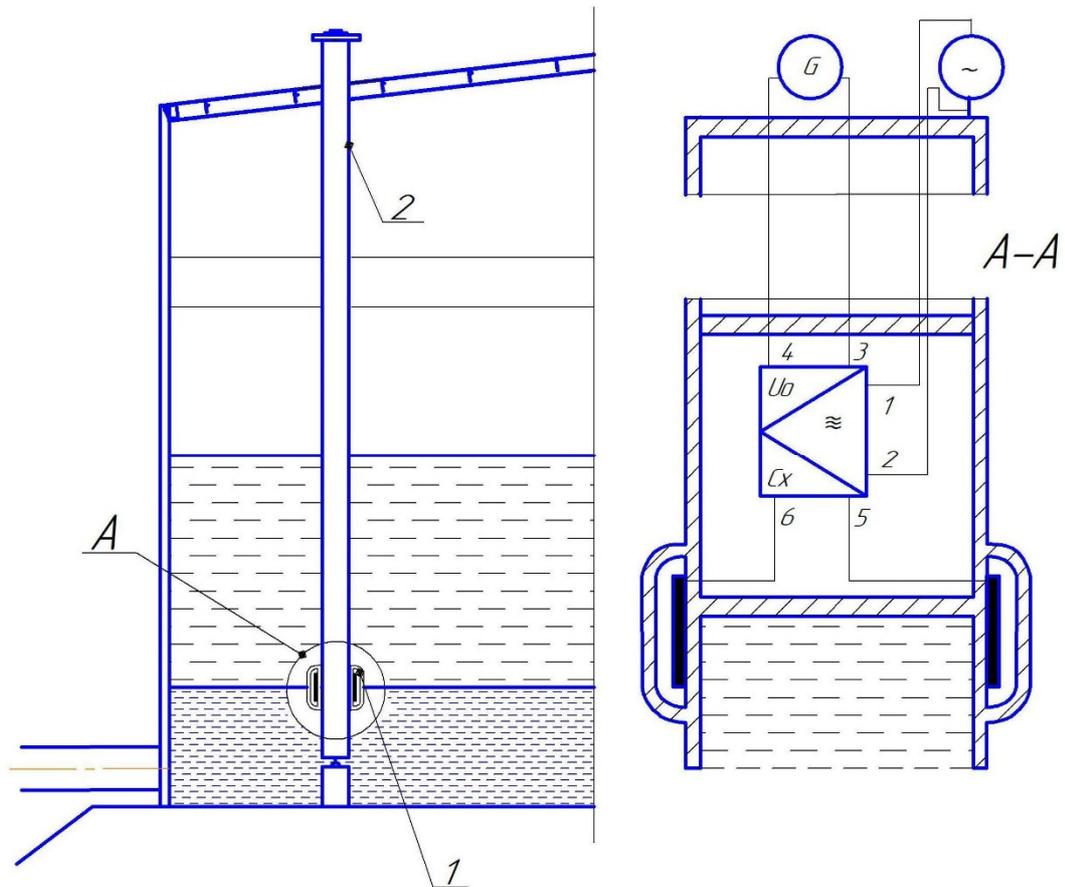


Рисунок 3 - График производной значения силы тока разбаланса моста от положения границы раздела «нефть-вода»

Разработанные метод и устройство позволяют осуществить бесконтактный мониторинг однородности и границы раздела «нефть-вода» в нефтяных резервуарах с высокой достоверностью и могут быть использованы при установке устройства на диэлектрической штанге внутри резервуара (Рисунок 4), также есть возможность применения данного устройства в качестве погружного измерительного модуля внутри направляющей трубы понтона резервуара.

Основным преимуществом данного устройства является высокая степень помехозащищённости (устойчивость к помехам индикатора разбаланса моста постоянного тока). Данное обстоятельство необходимо учитывать при работе

устройства в нефтяных резервуарах, где отсутствует возможность обеспечения помехозащищенности первичных датчиков информации.



- 1 – устройство мониторинга однородности и границы раздела «нефть-вода»;
2- диэлектрическая штанга

Рисунок 4 – Устройство мониторинга однородности и границы раздела «нефть-вода» в нефтяных резервуарах

Третья глава посвящена мониторингу и идентификация агрегатному состоянию нефти и её компонентов в нефтяных резервуарах с использованием электрофизических методов исследования с целью определения диапазона температур, при котором не происходит образование и накопление донных отложений.

В процессе выбора системы параметров, диапазона частот, анализа применяемых методов исследования выделяем 4 этапа проведения исследований в широком диапазоне частот от 0,3 Гц до 10 МГц и в температурном диапазоне от 20 до 70 °С. В качестве объектов исследования использованы донные отложения, отобранные из РВСП-5000 ЛПДС «Субханкулово» и нефть из месторождения «Ащисай», которые по составу отличаются большим содержанием парафинов.

На первом этапе в качестве основного элемента использовался аналоговые методы исследования. Измерения проводились с целью определения границы раздела сред. Характерной особенностью исследования первого этапа разработки

метода является низкая чувствительность данного метода к наличию стационарных низкочастотных и радиочастотных электромагнитных помех.

На втором этапе используются аналоговые методы импедансной спектроскопии (осциллограф, милливольтметр переменного тока, генератор). На Рисунке 5 приводится температурная зависимость модуля проводимости отложений в диапазоне частот от 10 Гц до 10 МГц при использовании аналогового метода.

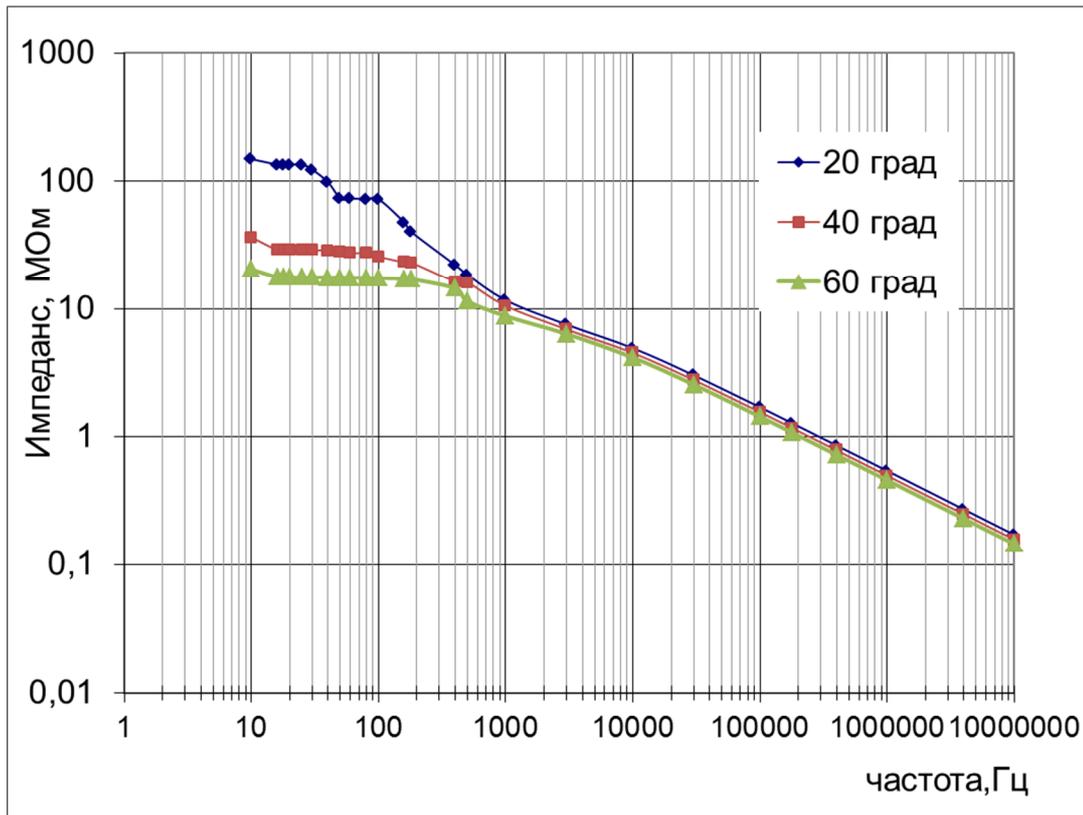


Рисунок 5 - Температурная зависимость модуля проводимости отложений, отобранных из резервуара в диапазоне частот от 10 Гц до 10 МГц

При этом для значений частоты менее 100 Гц наблюдается температурная зависимость модуля проводимости, при значениях частоты более 1000 Гц температурная зависимость отсутствует, что предполагает проводить дальнейшие исследования, используя цифровые методы исследования на диапазоне частот ниже 1000 Гц.

На третьем этапе с целью увеличения точности информативности измерений использованы цифровые методы обработки сигналов (цифровой генератор стандартных сигналов, цифровой анализатор сигналов на базе персонального компьютера). На Рисунке 6 представлена температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 4 Гц до 1000 Гц нефти из месторождения «Ащисай» для пяти фиксированных температур. Как видно из графика при частоте менее 100 Гц частотная зависимость отсутствует, в диапазоне от 100 Гц до 1000 Гц наблюдается рост значения тангенса угла диэлектрических потерь, кроме того с ростом частоты характерна температурная зависимость в диапазоне от 100 до 1000 Гц.

На основе указанных характеристик было рассчитано усреднённое значение энергии активации, которое не позволяет в исследуемом диапазоне изменения температур идентифицировать агрегатное состояние нефти и её компонентов, то есть указанные оценки энергетических характеристик оказались недостаточно корректными на данном этапе исследования.

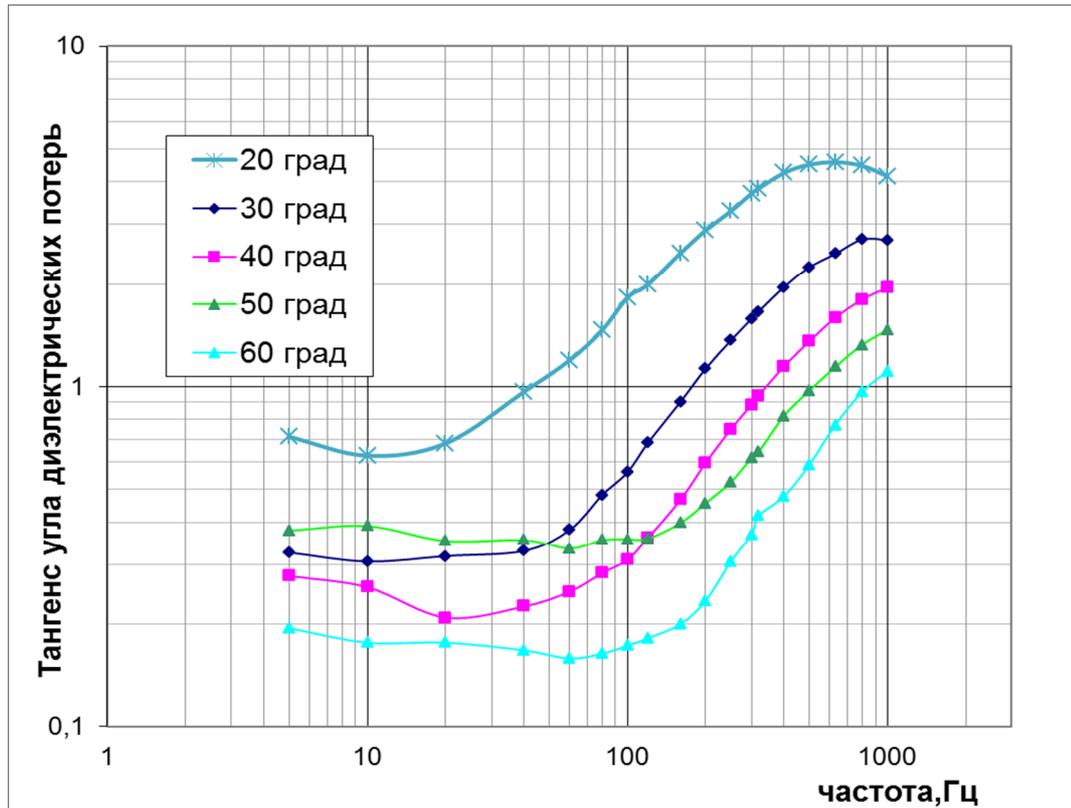


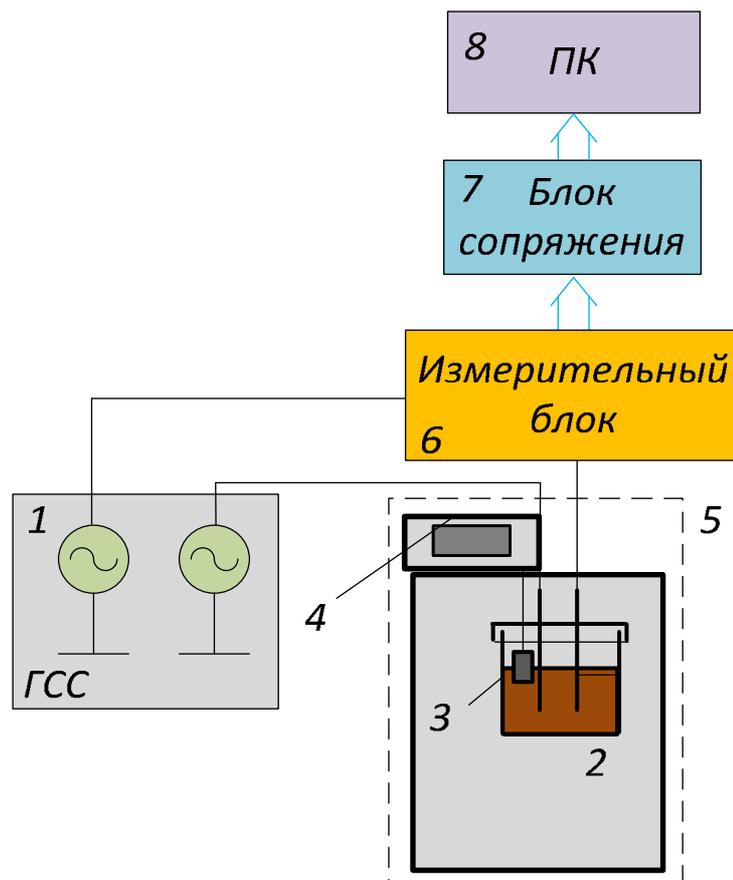
Рисунок 6– Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 4 Гц до 1000 Гц нефти из месторождения «Ащисай»

На четвертом этапе разработан цифровой метод импедансной спектроскопии существенно усовершенствованный за счёт введения синхронного детектирования, осуществляемого цифровыми методами обработки сигналов, что позволило повысить точность измерения активной компоненты проводимости образцов, а также увеличить чувствительность метода и его помехоустойчивость.

Данные улучшения, в свою очередь, обеспечили возможность более точного и качественного расчёта энергетических характеристик образцов (энергии активации). Впервые было установлено, что в диапазоне температур ниже 40 °С и выше 40 °С энергия активации донных отложений имеет отличающиеся друг от друга в среднем в 2 раза значения, которые позволяют судить об электрофизических свойствах исследуемых образцов и, как следствие, их фазовом состоянии. По разработанному методу мониторинга и идентификации агрегатного состояния нефти и её компонентов проводились исследования на экспериментальной установке, схема которой приведена на Рисунке 7.

Два сигнала, которые формирует двухканальный генератор электрических сигналов 1, поступают на измерительный блок 6 и сенсор 2, далее токи, проходя через блок сопряжения 7, в виде цифровых кодов передаются на ПК

(персональный компьютер) и обрабатываются при помощи программы "Двухканальный анализатор сигналов". Для повышения чувствительности и помехозащищенности используется синхронное детектирование сигналов цифровыми методами. При проведении измерений образец помещается в сенсор 2, который представлен в виде измерительной ячейки, снабженной датчиком 3 измерителя температуры 4 и двумя плоскопараллельными металлическими электродами. Сам сенсор помещается в термостат 5. Данные с измерителя температуры 4 выводятся на измерительный блок 6. Дискретность индикации датчика температуры составляла $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура образцов задавалась с помощью термостата, в котором обеспечивается контролируемый диапазон длительного и устойчивого поддержания температур. При выборе границ температурного диапазона было учтено, что температура фазовых переходов исследованных образцов попадает в середину диапазона исследуемых температур. Подобный выбор температурного диапазона позволил осуществить измерения ниже и выше точки фазового перехода. Измерения проводились при длительной многочасовой выдержке образцов при каждой заданной температуре для установления стабильных во времени характеристик.



1 – двухканальный генератор стандартных сигналов (ГСС); 2 – сенсор, в виде измерительной ячейки, заполненная исследуемым образцом и снабженная двумя плоскопараллельными металлическими электродами; 3 - датчик температуры; 4 – измеритель температуры; 5 – термостат; 6- измерительный блок; 7 – блок сопряжений; 8 – ПК (Персональный компьютер).

Рисунок 7 –Схема устройства мониторинга и идентификации агрегатного состояния нефти и её компонентов

На Рисунках 8-11 представлены результаты измерений по разработанному методу мониторинга и идентификации агрегатного состояния нефти и её компонентов для донных отложений, отобранных из РВСП-5000 ЛПДС «Субханкулуво» и нефти месторождения «Ащисай».

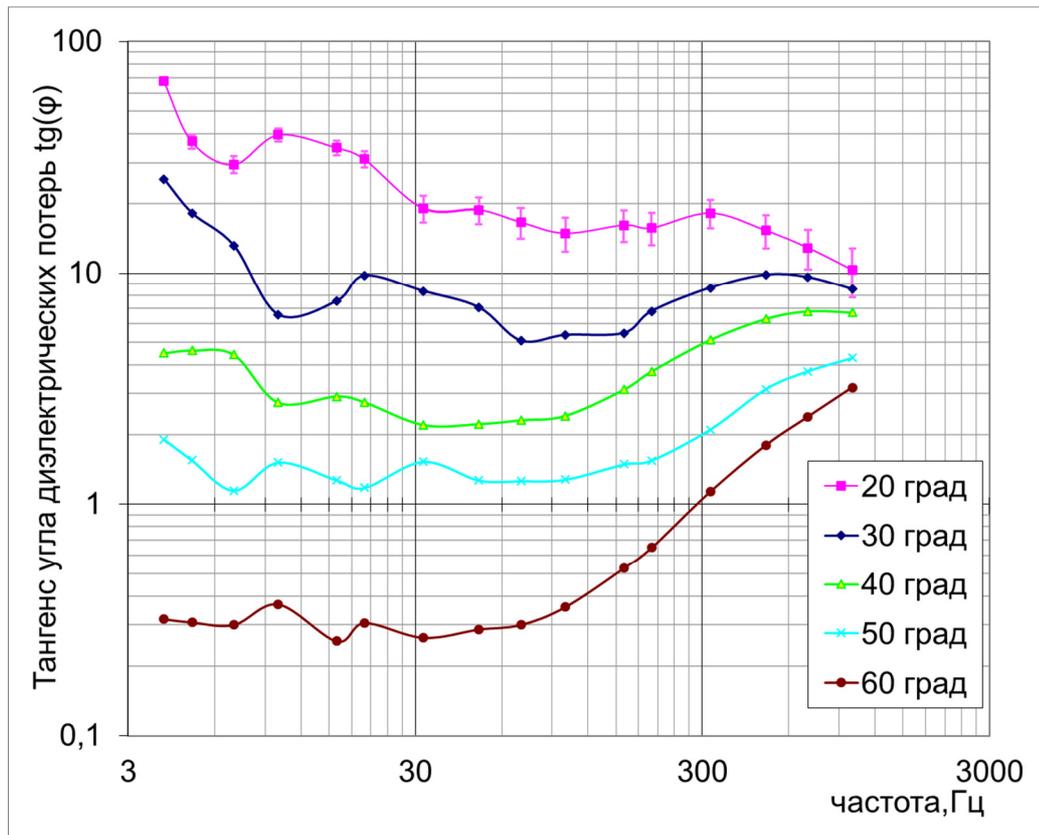


Рисунок 8 – Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 4 Гц до 1000 Гц нефти месторождения Ащисай для двух фазовых состояний (проводник-диэлектрик)

Полученные при различных температурах графики тангенса угла диэлектрических потерь (Рисунок 8-9) имеют ярко выраженную температурную зависимость на всех участках исследуемого частотного диапазона (4 Гц – 1000 Гц). Наличие множества локальных экстремумов на графиках частотной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь свидетельствует о наличии поляризационных процессов с различными временами релаксации, которые распределены в широком диапазоне значений.

При низких температурах тангенс угла диэлектрических потерь имеет более высокое значение, что характерно для классических диэлектриков. При высоких температурах значение тангенса угла диэлектрических потерь приближаются к нулю, что более характерно для полупроводников и металлов.

Как видно из Рисунков 8. 9 в диапазоне температур от 40 °С и выше наблюдается значительно большее по абсолютной величине изменение тангенса угла диэлектрических потерь. Полученные характеристики позволяют однозначно отнести исследованные образцы к диэлектрикам в диапазоне температур ниже 40 °С, и к полупроводникам – выше 40 °С. Подобные особенности температурной

зависимости свойств можно связать с возникновением фазового перехода первого рода.

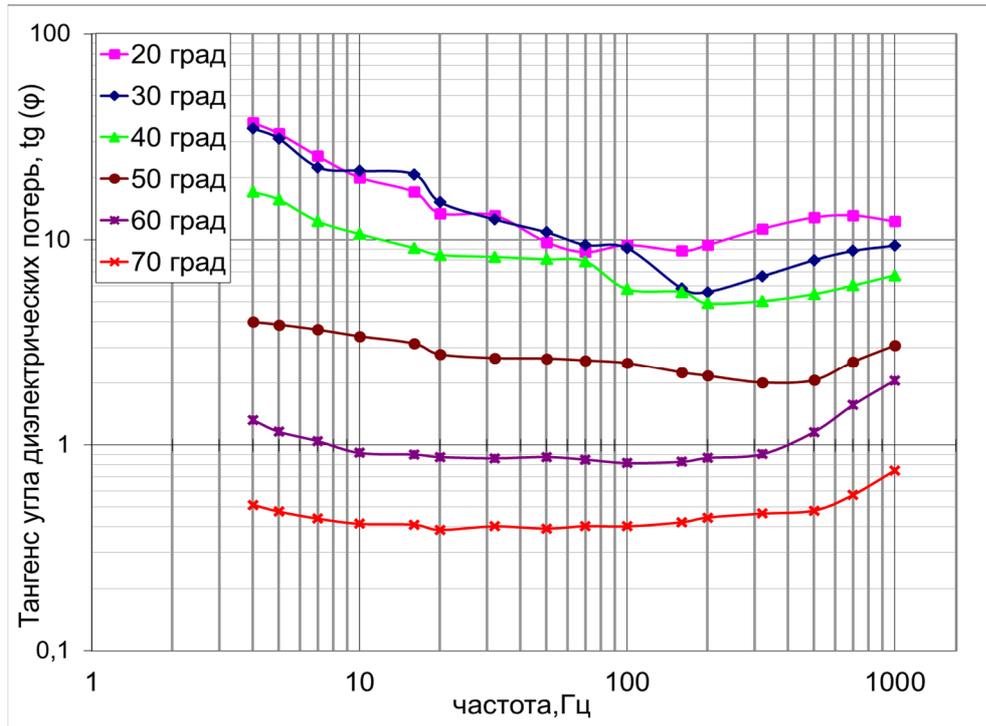


Рисунок 9 – Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 4 Гц до 1000 Гц донных отложений, отобранных из резервуара, для двух фазовых состояний (полупроводник-диэлектрик)

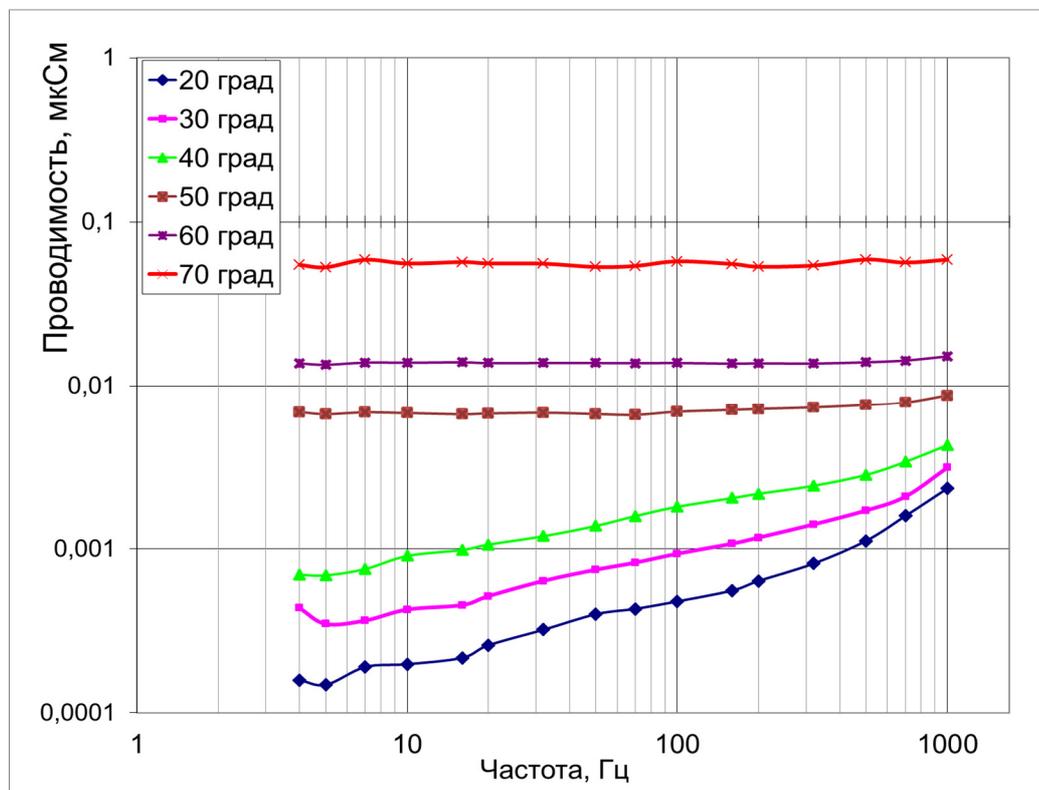


Рисунок 10 – Мониторинг донных отложений, отобранных с резервуара на основе частотной характеристики активной составляющей электропроводности

На Рисунках 10, 11 приведены результаты исследований электропроводимости в зависимости от частоты измерения для нефти месторождения «Ащисай» и донных отложений, отобранных с РВСП-5000 ЛПДС «Субханкулово». При увеличении температуры от 20 до 70 °С на всех исследуемых частотах наблюдается увеличение электропроводимости образцов. На Рисунке 10 в диапазоне от 40 до 50 °С наблюдается значительно большее по величине изменение электропроводимости, которое связано с фазовыми переходами отдельных составляющих донных отложений. Анализ частотных зависимостей активной составляющей комплексной электропроводности на Рисунке 11 показывает её увеличение при увеличении температуры, а в диапазоне температур от 40 до 50 °С отсутствует большой разрыв в значениях электропроводности.

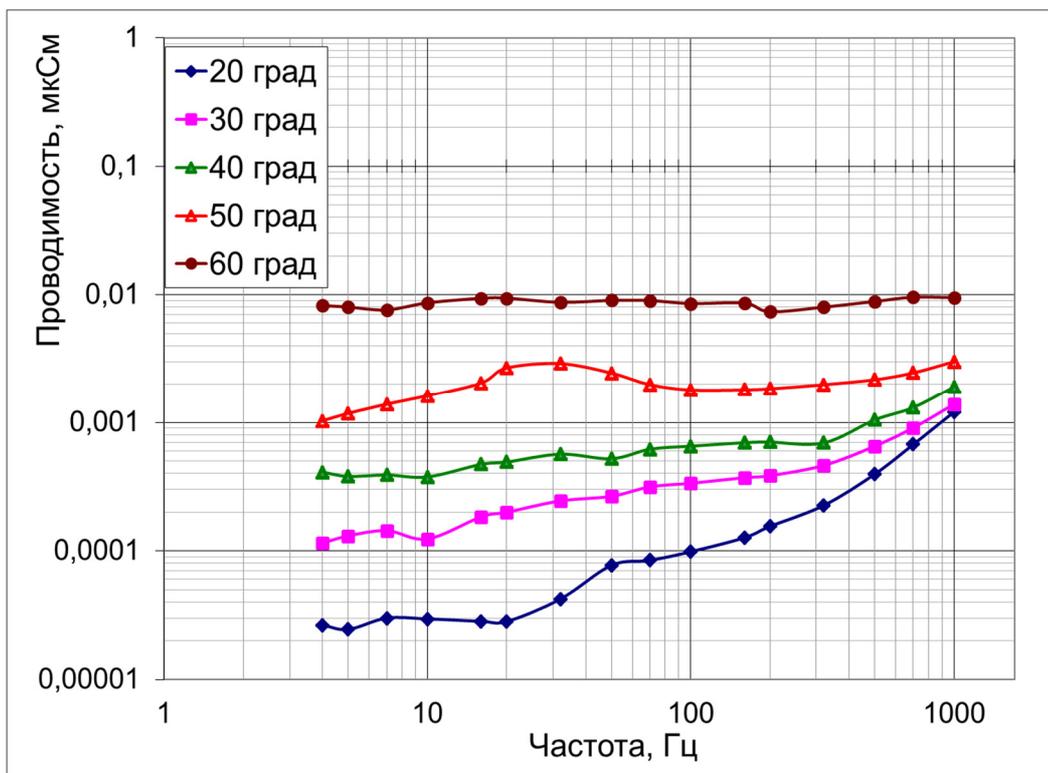


Рисунок 11 – Мониторинг нефти месторождения «Ащисай» на основе частотной характеристики активной составляющей электропроводности

Полученные результаты позволяют установить температурные границы перехода компонентов нефти из твёрдого состояния в жидкое и обратно (при которых не происходит образование и накопление донных отложений) для принятия решения об эффективном размыве донных отложений. Таким образом, обнаружен физический эффект изменения электрофизических свойств образцов на низких частотах при фазовом переходе из твердого состояния в жидкое и обратно при изменении температуры образцов.

Если в процессе эксплуатации резервуара будет поддерживаться температура выше экспериментально определённой температурной границы для исследуемой нефти, то образование донных отложений не предвидится и соответственно размыв отложений не требуется, если же ниже экспериментально

определённой температурной границы, то будет соответственно происходить постепенное образование донных отложений и необходимо произвести размыв донных отложений в резервуаре. Если скачок в значениях активной составляющей электропроводности и тангенса угла диэлектрических потерь для исследуемого образца в диапазоне температур от 20 до 70 °С и диапазоне частот от 4 до 1000 Гц отсутствует, то при эксплуатации нефтяных резервуаров образование отложений в данном диапазоне температур не произойдёт и размыв донных отложений в резервуаре не потребуется.

На основе полученных температурных зависимостей электропроводности (Рисунок 10, 11) рассчитаны значения энергии активации носителей заряда для нефти и донных отложений. Предполагалось, что плотность носителей заряда описывается статистикой Больцмана, а подвижность носителей заряда относительно слабо зависит от температуры образца, что позволило произвести расчет энергии активации на основании следующей зависимости:

$$\sigma = \sigma_0 \times e^{\frac{E_a}{k \times T}},$$

где σ – электропроводность, $Ом^{-1}$;

σ_0 – константа аппроксимации, $Ом^{-1}$, константа аппроксимации σ_0 полагается независимой от температуры постоянной величиной;

E_a – энергия активации, определяемая относительно уровня химического потенциала в электрон-вольтах;

k – постоянная Больцмана, $k=1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К;

T – температура, К.

При определении энергии активации, соответствующей твердому и жидкому состоянию отложений, использовалась линейная аппроксимация зависимости логарифма активной составляющей проводимости от обратного значения температуры (Таблица 1).

Таблица 1 - Идентификация агрегатного состояния исследуемого образца по энергетическим характеристикам

№ п/п	Частота, Гц	Энергия активации для нефти из мест. «Ащисай»	Энергия активации для диапазона температур, ниже температуры фазового перехода, эВ Твердое состояние отложений	Энергия активации для диапазона температур, выше температуры фазового перехода, эВ Жидкое состояние отложений
<i>Диапазон низких частот, где идентификация возможна</i>				
1	4	1,08	0,59	0,99
2	10	1,00	0,60	1,00
3	20	1,13	0,56	1,01
4	32	1,03	0,52	1,00
5	50	0,76	0,43	1,04
6	100	0,75	0,52	1,04
Среднее по частоте		0,96	0,54	1,01

По результатам аппроксимации для диапазона температур, ниже температуры фазового перехода, значение энергии активации в среднем составило 0,54 эВ при относительной погрешности использованных методов аппроксимации 2-4 % на промышленной частоте и выше, при частоте 4 Гц, от 4 до 12 %, при этом для нефти из месторождения «Ащисай» в заданном диапазоне температур значение энергии активации в среднем составило 0,96 эВ для диапазона частот менее 100 Гц.

Для диапазона температур выше температуры фазового перехода, значение энергии активации в среднем составляет около 1 эВ, как для нефти из месторождения «Ащисай», так и для донных отложений, отобранных с резервуара. По полученным значениям энергии активации также производится идентификация агрегатного состояния нефти и её компонентов в диапазоне частот от 4 до 100 Гц, что удобно при эксплуатации оборудования на производстве, так как в данный диапазон частот попадает в значение промышленной частоты, равное 50 Гц.

Полученные результаты хорошо согласуются с особенностями температурной зависимости электропроводности примесных полупроводников, и следует учитывать при эксплуатации нефтяных резервуаров при относительно низких температурах в связи с возможным возникновением электростатических разрядов из-за низкой электропроводности донных отложений, нефти. Проведение данных исследований возможно в лабораторных условиях при отборе проб нефти с помощью пробоотборников. При отборе нефти с разных уровней резервуара имеется возможность определить изменение значения активной составляющей проводимости по высоте резервуара и, таким образом определить значение уровня донных отложений в данном резервуаре.

В четвертой главе применение электрофизических методов мониторинга, разработанных в предыдущих главах, дали возможность повысить эффективность эксплуатации нефтяных резервуаров, и как результат реконструировать узел приёмо-раздаточных патрубков резервуара РВС (РВСП)-5000 для проведения эффективного размыва донных отложений. Разработанные выше электрофизические методы исследования обеспечиваются за счёт высокой степени помехозащищенности измерений, обоснованного выбора системы параметров и частотного диапазона работы измерительного оборудования, целенаправленности планирования исследований и оперативной информативности результатов измерений.

Повышение эффективности эксплуатации нефтяных резервуаров достигается за счёт установки электрофизических методов исследования внутри резервуара, а именно: на поверхности диэлектрической штанги рекомендуется монтировать устройство бесконтактного мониторинга однородности и границы раздела «нефть – вода», полуразрезные металлические электроды которых устанавливаются внутри диэлектрических отсеков. По результатам мониторинга однородности жидкости, при обнаружении содержания воды в нефти, необходимо вывести резервуар из товарно-коммерческих операций, дать отстояться на некоторое время, провести дренирование воды при помощи открытия сифонного крана. В случае расположения резервуара на территории нефтеперерабатывающего завода, временно прекратить сдачу нефти на объекты

переработки, тем самым предотвратить нарушение регламента по поставке топлива на завод.

Путем отбора проб при помощи пробоотборника возможны дальнейшие лабораторные исследования отобранной пробы и идентификация агрегатного состояния нефти и её компонентов в исследуемом объекте (по полученным значениям энергии активации и тангенса угла диэлектрических потерь), определение температурной границы перехода от твердого состояния к жидкому и обратно, определение уровня донных отложений в резервуаре. По результатам идентификации агрегатного состояния нефти и её компонентов принимается решение о необходимости размыва отложений в резервуаре, то есть приведение содержимой массы внутри резервуара в движение.

На основании чего предлагается реконструкция узла приёмо-раздаточных патрубков: патрубки устанавливаются на диаметрально-противоположной стороне стенки корпуса резервуара с применением электрофизических методов исследования.

Данное расположение патрубков за счёт постоянного движения потока жидкости внутри резервуара предназначено для проведения эффективного размыва отложений за счёт поступления продукта с одной стороны и откачки с диаметрально – противоположной стороны. Таким образом, не происходит застаивания продукта в зонах, отдалённых от приёмо-раздаточных патрубков.

Компьютерное моделирование и расчёты по программе ANSYS Workbench v18.2 движения жидкости в резервуаре при поступлении нефти через оба патрубка при стандартном расположении приёмо-раздаточных патрубков и для предложенного взаимного расположения патрубков в нефтяных резервуарах показывают более эффективное движение жидкости для конструкции резервуара с изменённым взаимным расположением патрубков.

При откачке продукта из резервуара, необходимо учитывать значение расчетного нижнего аварийного уровня, значение которого увеличивается при увеличении скорости истечения жидкости через один приёмо-раздаточный патрубок и ниже которого при эксплуатации нефтяных резервуаров откачивать не рекомендуется во избежание воронкообразования. При наличии отложений необходимо делать соответствующие поправки, так как значение нижнего аварийного уровня увеличится на среднюю высоту слоя отложений. Полученные зависимости необходимо учитывать при эксплуатации нефтяных резервуарах.

Кроме того, в процессе эксплуатации нефтяных резервуаров и размыве отложений в резервуаре необходимо придерживаться оптимального значения уровня взлива резервуара, при котором наиболее эффективен размыв отложений, которое рассчитывается по формуле:

$$L_p \geq 0,406 \times D_p - I_p,$$

где D_p – внутренний диаметр стенки резервуара, м;

I_p – средняя высота слоя отложений, м.

Таким образом, реконструкция узла приёмо-раздаточных патрубков в резервуаре способствует большему движению нефти внутри самого резервуара, уменьшению интенсивности накопления отложений и способствует повышению

эффективности эксплуатации нефтяных резервуарах благодаря снижению энергозатрат и экономии средств на зачистку резервуара и увеличение длительности межремонтного периода эксплуатации нефтяных резервуаров. Эффективность эксплуатации нефтяных резервуаров также повышается за счёт применения электрофизических методов исследования, за счёт применения дистанционных форм контроля параметров, совершенных методов отображения информации. Кроме того, за счет мониторинга и идентификации агрегатного состояния нефти и её компонентов в резервуаре по полученным значениям энергетических характеристик и температурных границ, принимается решение о размыве отложений в резервуаре, что в совокупности позволяет повысить эффективность эксплуатации нефтяных резервуаров.

Основные выводы и рекомендации

1. Анализ эффективности существующих методов мониторинга состояния нефти и её компонентов при эксплуатации нефтяных резервуаров показал преимущества применения электрофизических методов исследования, которые заключаются в получении достоверной информации о состоянии объекта за счёт высокой помехозащищённости и минимального энергетического воздействия на нефть и её компоненты.

2. На основе экспериментальных исследований путём применения электрофизических методов рекомендуется устанавливать внутри резервуара устройство бесконтактного мониторинга однородности и границы раздела «нефть – вода», которое позволяет в реальном масштабе времени с быстродействием порядка одной секунды сигнализировать о появлении неоднородности жидкости с локализацией её границ.

3. На основе экспериментальных исследований выявлено, что устройство мониторинга и идентификации агрегатного состояния нефти и её компонентов в нефтяных резервуарах, работающее в диапазоне рабочих частот от 4 Гц до 100 Гц и в диапазоне температур от 20 до 70 °С, позволяет оперативно отслеживать фазовые переходы в исследуемой нефти, которые, в свою очередь, оказывают доминирующее влияние на скорость накопления и размыва донных отложений и определяют длительность межремонтного периода эксплуатации нефтяных резервуаров.

4. Предложена реконструкция узла приёмо-раздаточных патрубков с изменением их взаимного расположения в резервуаре, которая позволяет обеспечить своевременный эффективный размыв отложений в резервуарах и увеличить на 20% межремонтный период эксплуатации нефтяных резервуаров.

Основные положения диссертационной работы отражены в следующих работах:

В ведущих рецензируемых научных журналах и печатных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Шайхутдинова, М. Ш. Метод определения положения границы раздела сред / М. Ш. Шайхутдинова, К. Ш. Ямалетдинова, Б. К. Сушко, С. С. Гоц //

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. - Вып. 1 (99). - С. 52 - 59.

2. Шайхутдинова, М. Ш. Бесконтактный метод определения однородности потока вещества / М. Ш. Шайхутдинова, К.Ш. Ямалетдинова, Б.К. Сушко, С.С. Гоц // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. - Вып.1 (99). - С. 60 - 65.

3. Шайхутдинова, М. Ш. Экспериментальные исследования электрофизических свойств нефти на низких частотах/ М. Ш. Шайхутдинова, С.С. Гоц, К.Ш. Ямалетдинова // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 9. – С. 121-124.

4. Шайхутдинова, М. Ш. Экспериментальное исследование на низких частотах частотной и температурной зависимостей электропроводности асфальтосмолопарафиновых отложений в резервуарах/ М.Ш. Шайхутдинова, С. С. Гоц, К. Ш. Ямалетдинова // Теплофизика высоких температур. - 2018 – Т.56. - №1. - С. 141–144. DOI: 10.1134/S0018151X18010157

5. Шайхутдинова, М.Ш. К вопросу о предотвращении образования и накопления донных отложений в резервуарах / М.Ш. Шайхутдинова, Ю.В. Дудников, К.Ш. Ямалетдинова, С.С. Гоц // Успехи современного естествознания. - Москва. - 2018. - № 4, - С. 172-175.

Патенты:

6. Пат. 154133 Российская Федерация, МПК G 01 N 27/22. Устройство для бесконтактного метода определения однородности потока вещества / М. Ш. Шайхутдинова, Б. К. Сушко, К. Ш. Ямалетдинова, С. С. Гоц (РФ); заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет». - № 2014149735/28; заявл. 09.12.2014; опубл. 20.08.2015, Бюл. №23.

7. Пат. 2610112 Российская Федерация, МПК В 65 D 85/00. Резервуар стальной цилиндрический для хранения нефти/ М. Ш. Шайхутдинова, С. С. Гоц, К. Ш. Ямалетдинова, Б. К. Сушко (РФ); заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет». - № 2015147592; заявл. 05.11.2015; опубл. 07.02.2017, Бюл. № 4.

8. Пат. 2658539 Российская Федерация, МПК G 01 N 27/02. Устройство для измерения электрофизических параметров нефти и ее компонентов / С. С. Гоц, М. Ш. Шайхутдинова, К.Ш. Ямалетдинова (РФ); заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет». - № 2017129534; заявл. 18.08.2017; опубл. 21.06.2018, Бюл. №18.

В других изданиях:

9. Шайхутдинова, М. Ш. Проблема осадкообразования асфальтосмолопарафинистых отложений в нефтяных резервуарах/ М.Ш. Шайхутдинова // Экологические проблемы нефтедобычи: матер. Междунар. молодежной конф., г. Уфа, 02-08 сентября 2012 г. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2012. - С. 211-217. ISBN 978-5-7477-3045-8.

10. Шайхутдинова, М. Ш. Анализ способов определения границы раздела жидкостей нефть-вода в резервуарах сырой и товарной нефти / М. Ш. Шайхутдинова // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения: матер. Междунар. научн. - практ.конф. 02 – 06 декабря 2013 г.;

под редакцией академика РАН А. С. Сигова. – Москва, 2013, Т.13, Ч.1. – С.189 - 190. ISBN 978-5-2830-3350-1.

11. Шайхутдинова, М. Ш. Анализ результатов определения границы раздела жидкостей лабораторным методом / М. Ш. Шайхутдинова, Б. К. Сушко // Энергоэффективность. Проблемы и решения: матер. XIV Всеросс. научн. - практ. конф. 23 октября 2014 г. – Уфа, 2014. – С. 268 - 270. ISBN 978-5-900562-63-6.

12. Шайхутдинова, М. Ш. Исследование и разработка лабораторного метода определения границы раздела сред / М. Ш. Шайхутдинова // Трубопроводный транспорт-2015: материалы X Междунар. учеб. - науч.- практ. конф. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – С. 455 – 456. ISBN 978-5-7831-1263-8.

13. Шайхутдинова, М. Ш. Экспериментальное исследование электрофизических свойств нефти / М. Ш. Шайхутдинова, К. Ш. Ямалетдинова, С. С. Гоц // Актуальные проблемы науки и техники – 2016. сб. статей, докл. и выступлений IX Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Уфа, 16-18 ноября 2016 г.). — Уфа: Издательство «Нефтегазовое дело», 2016. Т.1. — С. 139-140. ISBN 978-5-98755-200-9.

14. Шайхутдинова, М. Ш. Автоматизированная установка для исследования низкочастотных электрофизических характеристик асфальтосмолопарафиновых отложений / М. Ш. Шайхутдинова, С.С. Гоц, К.Ш. Ямалетдинова // Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники: сборник тезисов докладов IV Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием (Уфа 29 ноября - 2 декабря 2016 г.). - Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. – С.59-60. ISBN: 978-5-7477-4218-5.

15. Шайхутдинова, М. Ш. Конструкция резервуара для предотвращения накопления донных отложений / М. Ш. Шайхутдинова// Нефть и газ 2017 г.: сборник тезисов докладов секции «Проектирование и эксплуатации систем трубопроводного транспорта» 71-й Международной молодежной научной конференции (г. Москва, 18-20 апреля 2017 г.). – Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2017. – С.137.

16. Шайхутдинова, М.Ш. Низкочастотные электрофизические методы исследования теплофизических свойств асфальтосмолопарафиновых отложений / М. Ш. Шайхутдинова, С. С. Гоц, К. Ш. Ямалетдинова // XXXIII сибирский теплофизический семинар: сборник тезисов докладов Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодых учёных (г. Новосибирск, 6-8 июня 2017 г.). – Новосибирск, 2017. - С. 171. ISBN: 978-5-89017-049-1.

17. Шайхутдинова, М.Ш. Анализ существующих методов предотвращения образования и накопления донных отложений / М. Ш. Шайхутдинова, Ю. В. Дудников, В. Е. Андреев // Научно-технологические решения в решении проблем нефтегазового комплекса в год экологии в России: материалы VII Международной научной конференции (г. Уфа, 28-29 ноября 2017 г.) / отв. редактор К.Ш. Ямалетдинова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. – С. 88-89. ISBN 978-5-7477-4513-1.

18. Шайхутдинова, М. Ш. Анализ существующих теоретических исследований вихревых течений жидкости / М. Ш. Шайхутдинова, Ю. В. Дудников, В. Е. Андреев // Научно-технологические решения в решении проблем нефтегазового комплекса в год экологии в России: материалы VII Международной

научной конференции (г. Уфа, 28-29 ноября 2017 г.) / отв. редактор К.Ш. Ямалетдинова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. – С.90-91. ISBN 978-5-7477-4513-1.

19. Шайхутдинова, М. Ш. Обобщение опыта исследования устройств идентификации нефти. / М. Ш. Шайхутдинова, Ю. В. Дудников, В. Е. Андреев // Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса в год экологии в России: материалы VII Международной научной конференции (г. Уфа, 28-29 ноября 2017 г.) / отв. редактор К.Ш. Ямалетдинова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. – С.92. ISBN 978-5-7477-4513-1.

20. Шайхутдинова, М.Ш. Электрофизические методы мониторинга однородности потока жидкости / М. Ш. Шайхутдинова // Нефть и газ 2018 г.: сборник тезисов докладов секции «Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта» 72-й Международной молодежной научной конференции (г. Москва, 23-26 апреля 2018 г.). – Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018. Т.2 –С.128

21. Шайхутдинова, М. Ш. Дистанционный мониторинг и идентификация донных отложений в нефтяных резервуарах / М. Ш. Шайхутдинова, Ю.В. Дудников, К.Ш. Ямалетдинова., С.С. Гоц, М.Ф. Тухватуллин, А. Г. Ахмадуллина, Р. Р. Багаутдинова // Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике: материалы VII Международной научно-практической конференции (г. Уфа, 2-3 апреля 2018 г.) Ч.1 / отв. редактор К.Ш. Ямалетдинова.–Уфа: РИЦ БашГУ, 2018. – С. 153-157. ISBN 978-5-7477-4628-2.

22. Шайхутдинова, М.Ш. Устройство для дистанционного мониторинга и идентификации донных отложений / М.Ш. Шайхутдинова, Ю.В. Дудников, К.Ш. Ямалетдинова, С.С. Гоц, М.Ф. Тухватуллин, А.Г. Ахмадуллина, Р.Р. Багаутдинова // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения: сб. науч.тр. Вып 7(12). – Уфа: ООО «Монография», 2018. - С.306-309. ISBN 978-5-94920-192-3.

23. Шайхутдинова, М.Ш. Планирование экспериментальных исследований при разработке электрофизических методов мониторинга процессов хранения нефти / М.Ш. Шайхутдинова // Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике: материалы VIII Международной научно-практической и методической конференции (г. Уфа, 30 – 31 мая 2019 г.) / отв. редактор К.Ш. Ямалетдинова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. – 212 с. ISBN 978-5-7477-4924-5