

На правах рукописи

ДЕМЕНТЬЕВ Александр Сергеевич



**МЕТОД КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРАФИНОВ ПРИ
ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ МАГИСТРАЛЬНЫМИ
ТРУБОПРОВОДАМИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
РАДИОИЗОТОПНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий*

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор

Проскуряков Руслан Максимович

доктор технических наук, профессор

Шпенст Вадим Анатольевич

Официальные оппоненты:

Малыхина Галина Федоровна

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», кафедра измерительных информационных технологий, научный руководитель кафедры;

Фетисов Владимир Станиславович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», кафедра информационно-измерительной техники, профессор.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится 29 декабря 2020 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.14 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, д.2, ауд. 1171 а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 29 октября 2020 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОПТЕВА
Александра Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

На современном этапе развития нефтяной промышленности отмечается снижение качества сырьевой базы. Преобладающими являются месторождения, вступившие в позднюю стадию разработки, вследствие чего происходит увеличение доли трудноизвлекаемых запасов тяжелой нефти с большим содержанием высокомолекулярных соединений, в том числе асфальтосмолопарафинов. Так, одной из главных проблем при добыче и транспортировке таких нефтей является образование асфальтосмолопарафиновых отложений на внутренней поверхности трубопровода, возникновение которых приводит к снижению проходного диаметра трубы и увеличению напорных характеристик, что повышает риск аварийных ситуаций и, при неблагоприятном исходе, разливов нефти, нередко приводящих к техногенным катастрофам и большим экономическим потерям для предприятий и государства.

Борьба с асфальтосмолопарафиновыми отложениями возможна двумя способами: предупреждение образования отложений и удаление их с оборудования добычи и транспортировки нефти. Первый способ обладает большей эффективностью, так как обеспечение своевременных профилактических мероприятий по обследованию трубопровода на наличие парафина повышает уровень безаварийной и стабильной работы нефтетранспортной системы, а также снижает затраты на транспортировку нефти.

Степень разработанности темы исследования

Вопросами изучения процессов формирования органических отложений занимались такие ученые, как: Р.А. Абдуллин, Г.А. Бабалян, Ш.С. Гарифуллин, Т.М. Мамедов, В.С. Фетисов, И.А. Стручков, З.А. Хабибуллин и многие другие. Радиоизотопным контролем потоков нефти занимались такие ученые, как:

Р.М. Проскуряков, В.А. Кратиров, Б.С. Брагин, Д.И. Газин, М.М. Гареев, А.В. Коптева, Peshawa J. Muhammad Ali, M. Roshani и другие. Но, несмотря на высокую степень проработанности вопроса, недостаточно уделено внимание процессу возникновения кристаллов парафинов и определению их концентрации в нефтяном потоке до момента их осаждения на оборудование ввиду предположения о близости коэффициентов их линейного поглощения гамма-излучения. Разработка точной радиоизотопной измерительной системы, позволяющей определить концентрацию парафинов, обеспечит возможность своевременного проведения профилактических мероприятий для предотвращения формирования асфальтосмолопарафиновых отложений на стенках трубопровода и оборудовании, а также позволит расширить базу исследовательских данных и повысить эффективность использования трубопроводных систем и экономический эффект предприятий.

В этой связи разработка автоматического бесконтактного метода мониторинга нефтяных потоков с целью измерения концентрации парафинов представляется актуальной научно-технической задачей.

Идея работы

Зависимость коэффициента поглощения гамма-излучения от молекулярной массы компонентов среды позволяет определять концентрацию парафина в нефти радиоизотопным методом.

Цель работы

Разработка средства и методики автоматического бесконтактного определения концентрации парафиновых включений в транспортируемой по трубопроводу нефти на основе радиоизотопного метода.

Основные задачи исследования

1. Анализ существующих методов определения концентрации парафина при различных условиях транспортировки нефтяных потоков, а также методов предотвращения и удаления парафиновых отложений.

2. Обоснование выбора радиоизотопного метода для поиска парафиновых включений в транспортируемом нефтяном потоке.

3. Разработка имитационной модели определения коэффициента линейного поглощения радиоизотопного гамма-излучения при изменении концентрации веществ с помощью сочетания методов обобщенной проводимости и элементарной ячейки.

4. Разработка имитационной модели автоматической бесконтактной измерительной системы определения количества парафиновых включений на основе эффекта фотоэлектронного поглощения узкоколлимированного пучка гамма-излучения.

5. Исследование процессов взаимодействия гамма-излучения с измеряемыми веществами на лабораторной установке.

Научная новизна работы

1. Разработана новая физико-математическая модель расчета коэффициента ослабления радиоизотопного излучения в структуре с изолированными включениями на основе сочетания методов обобщенной проводимости и элементарной ячейки.

2. Разработан автоматический бесконтактный метод непрерывного мониторинга парафиновых образований в потоке нефти в трубопроводе отличающийся тем, что за счет использования узкоколлимированного пучка радиоизотопного излучения осуществляется измерение концентраций включений в потоке.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Получена зависимость коэффициента ослабления гамма-излучения от концентрации веществ в структурах с изолированными включениями и взаимопроникающими компонентами, позволяющая с высокой достоверностью определять коэффициент ослабления радиоизотопного излучения многокомпонентных потоков.

2. Предложен алгоритм обработки информации, полученной радиоизотопной измерительной системой, позволяющий непрерывно контролировать наличие и концентрацию парафинов в потоке нефти, что позволяет разрабатывать рекомендации для

проведения модернизации отдельных участков нефтепровода и повышать надежность планирования профилактических мероприятий по предупреждению парафиновых отложений на внутренней поверхности трубопровода с целью увеличения срока безаварийной эксплуатации трубопроводных систем.

3. Разработанный автоматический бесконтактный метод, основанный на использовании источника радиоизотопного излучения, позволяет повысить надежность планирования профилактических мероприятий по предупреждению парафиновых отложений на внутренней поверхности трубопровода.

Методология и методы исследований

В работе использован комплексный метод исследований, включающий научный анализ и обобщение ранее опубликованных исследований, теоретические исследования характера взаимодействия гамма-излучения с веществами, метод компьютерного математического моделирования, статистическая обработка выходных сигналов; экспериментальные исследования и проведение натурных испытаний в лаборатории.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки) - п.1. «Научное обоснование новых и усовершенствование существующих методов аналитического и неразрушающего контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», п.2. «Разработка и оптимизация методов расчета и проектирования элементов, средств, приборов и систем аналитического и неразрушающего контроля с учетом особенностей объектов контроля».

На защиту выносятся следующие положения:

1. Модель, построенная на основе сочетания методов элементарной ячейки и обобщенной проводимости, примененная к жесткому гамма-излучению, позволяет адекватно оценивать зависимость эффективного коэффициента линейного ослабления

интенсивности гамма-излучения от массовой концентрации компонентов гетерогенной среды.

2. Определять концентрацию асфальтосмолопарафиновых соединений с погрешностью 5,5% возможно с помощью выявленной функциональной зависимости интенсивности радиоизотопного излучения от количественных изменений парафиновых включений в транспортируемую нефть на основе эффекта фотоэлектронного поглощения узкоколлимированного пучка гамма-излучения.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Научные положения, выводы и рекомендации, разработанные в диссертации, соответствуют классическим положениям приборостроения и основам математического моделирования и подтверждены удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, которая составляет 0,9.

Основные положения, результаты работы в целом и отдельные ее разделы докладывались и получили положительную оценку на следующих конференциях и семинарах: Международный семинар "Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018" – Санкт-Петербург, 2018, Международная научно-практическая конференция «Научно-практические исследования» – Омск, 2020, Международная научно-практическая конференция «Вопросы современных научных исследований» – Омск, 2020.

Личный вклад автора

1. Разработана математическая модель, описывающая зависимость коэффициента линейного поглощения интенсивности гамма-излучения от концентрации веществ.

2. Разработана математическая модель, описывающая влияние концентрации парафиновой составляющей в нефтяном потоке на интенсивность гамма-излучения.

3. Выполнены экспериментальные исследования радиоизотопной измерительной системы концентрации взвешенных парафинов в потоке.

Публикации

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 1 статье - в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования (Web of Science). Зарегистрирована заявка на патент на изобретение.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, изложенных на 100 страницах машинописного текста, содержит 28 рисунков, 9 таблиц, список литературы из 96 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы актуальность работы, цель и задачи исследования, основные защищаемые положения, а также научная и практическая значимость полученных результатов исследований.

В первой главе представлена информация о современном состоянии трубопроводных систем нефтяной промышленности и представлено обоснование выбора радиоизотопного метода для определения параметров нефтепарафиновой смеси в трубопроводе.

Эксплуатация нефтепроводов сопровождается проблемами, касающимися скопления отложений на стенках трубопровода, таких как смол, парафинов и солей, растворенных в транзитном потоке нефти. В данной главе рассмотрены основные причины образования асфальтосмолопарафиновых отложений, механизмы формирования отложений на стенках трубопровода, методы предотвращения и удаления образований. Проведён анализ методов поиска и

определения количества асфальтосмолопарафинов на внутренней поверхности трубопровода, из которого следует, что метод, основанный на радиоизотопном излучении, является одним из самых точных при определении толщины отложений и анализа компонентного состава транспортируемой нефти. Данный метод позволяет с высокой точностью определять наличие и толщину парафиновых отложений, а после предлагаемой модернизации системы обработки данных, позволит определять наличие парафинов в транспортируемом потоке.

Во второй главе представлено описание радиоизотопной установки и описание способа мониторинга нефтяного потока.

Суть способа заключается в следующем: на исследуемом трубопроводе с нефтяным потоком на его наружной поверхности размещают автоматическую радиоизотопную измерительную установку, состоящую из неподвижных, соосно расположенных блока гамма-излучения с защитным коллимирующим устройством для формирования узкого пучка излучения радионуклида Cs-137 в области энергий от 0,2 до 1,0 МэВ, и усовершенствованный блок детектирования на основе сцинтилляционного кристалла NaJ(Tl), фотоэлектронного умножителя, формирователя импульсов, микропроцессора, имеющего усовершенствованные цифровую часть и программное обеспечение и блок обработки информации на основе адаптивной системы с использованием температурного фактора среды, поступающего от двух соосно расположенных в вертикальной оси датчиков температуры типа LM35.

Интенсивность потока прямого гамма-излучения, прошедшего через измеряемую среду и претерпевшего фотоэлектронное поглощение средой, регистрируется сцинтилляционным детектором, входящим в состав блока детектирования в энергетическом спектре с нижним порогом 500 кэВ, и преобразуется с помощью фотоэлектронного умножителя и формирователя импульсов в информативный электрический сигнал в виде дискретных отсчетов в выборке заданного объема.

Интенсивность радиоизотопного излучения связана с коэффициентом линейного ослабления вещества, его плотностью и толщиной зависимостью согласно закону Бугера – Ламберта – Бера (1):

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu\rho\delta), \quad (1)$$

где I – интенсивность гамма-излучения;

I_0 – начальная интенсивность гамма-излучения

μ – массовый коэффициент ослабления;

ρ – плотность вещества;

δ – толщиной вещества.

В третьей главе приводится расчет коэффициента ослабления отдельных изучаемых компонентов, таких как нефть и парафин. Отношение коэффициентов ослабления для парафина и нефти для наших условий равно:

$$\nu = \frac{\mu_n}{\mu_p} = \frac{0,073}{0,034} = 2,15,$$

где μ_p – массовый коэффициент ослабления парафина,

μ_n – массовый коэффициент ослабления нефти.

Это доказывает возможность детектирования парафиновой фазы в общем объеме потока за счет фотоэлектронного ослабления гамма-излучения, что ранее считалось невозможным ввиду близкого равенства плотностей нефти и парафина.

Для расчета коэффициента ослабления радиоизотопного излучения нефтепарафиновой смеси было использовано сочетание методов обобщенной проводимости и элементарной ячейки для структур с изолированными включениями и взаимопроникающими компонентами.

В данной главе приведён расчет коэффициента ослабления для двухкомпонентной системы с последовательным и параллельным расположением слоёв, изображенных на рисунке 1. Зависимость эффективного коэффициента для систем с последовательным (2) и параллельным (3) расположением слоёв:

$$\mu_{эф} = \mu_1 t_1 + (1 - t_1)\mu_2, \quad (2);$$

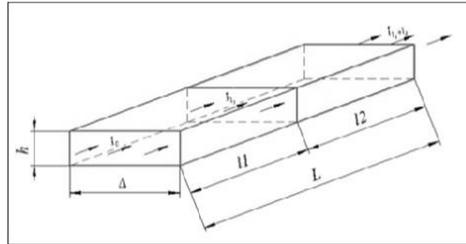
$$\mu_{\text{эф}} = -\frac{1}{L} \ln [m_1 e^{-\mu_1 L} + (1 - m_1) e^{-\mu_2 L}], \quad (3)$$

где $\mu_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент линейного ослабления двухкомпонентной системы,

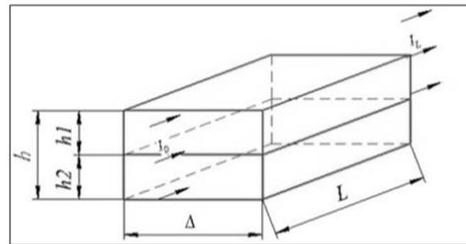
L – размер элементарной ячейки,

μ_1, μ_2 – коэффициент линейного ослабления отдельных слоёв,

m_1, m_2 – объемная концентрация веществ в суммарном потоке.



а)



б)

Рисунок 1 – Двухкомпонентная система с последовательным (а) и параллельным (б) расположением слоёв

Произведён вывод зависимости коэффициента линейного ослабления для двухкомпонентной системы с изолированными включениями (рисунок 2, 3):

$$\mu_{\text{эф}} = -\frac{1}{L} \ln [(1 - \Delta^2) e^{-\mu_1 L} + \Delta^2 e^{-\mu_1 L (\nu_2 \Delta + (1 - \Delta))}], \quad (4)$$

где Δ – относительный размер изолированной ячейки $\Delta = \frac{l}{L}$.

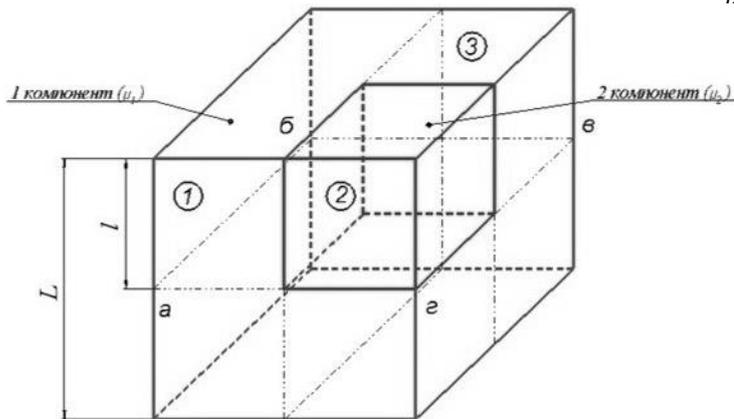


Рисунок 2 – $\frac{1}{8}$ элементарной ячейки структуры с изолированными включениями

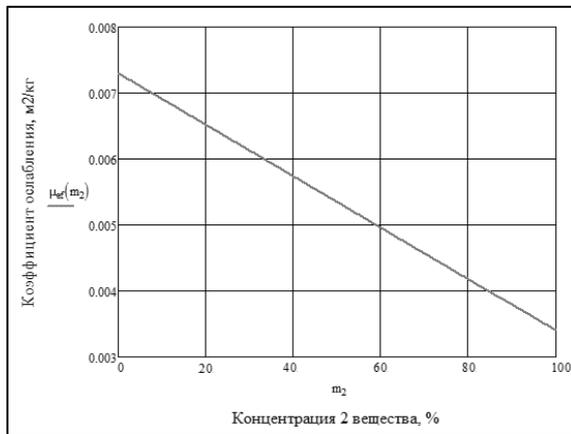


Рисунок 3 – Зависимость эффективного коэффициента поглощения от концентрации

Таким образом, первое научное положение, выносимое на защиту, звучит как:

Модель, построенная на основе сочетания методов элементарной ячейки и обобщенной проводимости, примененная к жесткому гамма-излучению, позволяет адекватно моделировать зависимость эффективного коэффициента линейного ослабления интенсивности гамма-излучения от массовой концентрации компонентов гетерогенной среды.

Зависимость плотности от концентрации парафина линейная и находится по формуле (5) и изображена на рисунке 4:

$$\rho_{\text{эф}} = \rho_{\text{нефть}} \cdot (1 - m_{\text{парафина}}) + \rho_{\text{парафина}} \cdot m_{\text{парафина}}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{эф}}$ – эффективная плотность двухкомпонентной системы,

$\rho_{\text{нефть}}$, $\rho_{\text{парафина}}$ – плотность нефти и парафина соответственно,

$m_{\text{парафина}}$ – объемная концентрация парафинов.



Рисунок 4 – Расчет зависимости плотности $\rho_{\text{эф}}$ от концентрации m_2

Соответственно, учитывая, что интенсивность гамма-излучения вычисляется по формуле (1), в нашем случае зависимость будет представлять вид (6) и показана на рисунке 5:

$$I = I_0 \cdot \exp[-(\mu_{\text{поток}} \rho_{\text{поток}} \delta_{\text{поток}} + \mu_{\text{сталь}} \rho_{\text{сталь}} \delta_{\text{сталь}})], \quad (6)$$

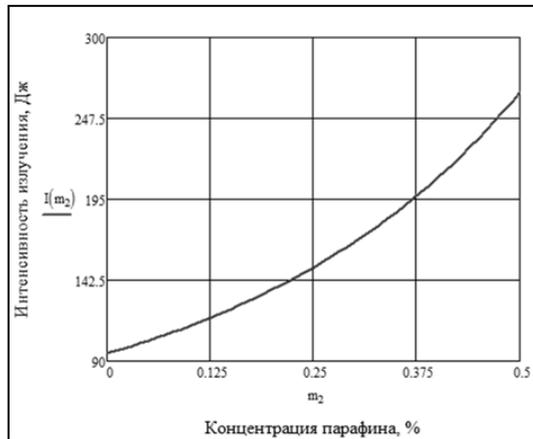


Рисунок 5 – Зависимость интенсивности гамма-излучения $I(m_2)$ от концентрации парафина m_2

В четвертой главе отражены результаты экспериментального определения концентрации парафинов от интенсивности радиоизотопного излучения.

В комплект установки входят измерительные ёмкости с номинальными внутренними диаметрами 1000 мм, набор ареометров, аналитические весы, мерные цилиндры и термометры. Измерительная ёмкость имитирует участок трубопровода, на котором установлен измеритель в рабочих условиях. Материал, диаметр и толщина стенок измерительной ёмкости аналогичны типоразмерам трубопровода, для работы с которым предназначена соответствующая модификация измерителя и по значению поглощения излучения соответствует трубопроводу, заполненному

атмосферным воздухом. Измерительная ёмкость снабжена двумя вентилями для заполнения и слива жидкости и двумя отверстиями в верхней образующей для контроля уровня заполнения.

На рисунке 6 представлены энергетические спектры вторичного гамма-излучения, полученные в результате эксперимента при значении 0% и 30% концентрации парафинов.

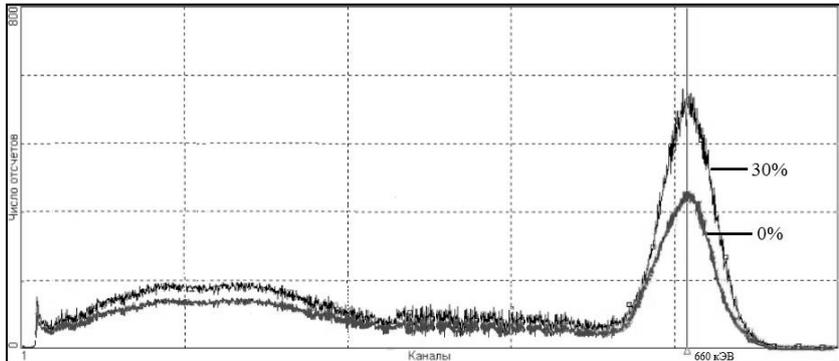


Рисунок 6 – Энергетические спектры при 0% и 30% концентрации парафинов

В результате экспериментов и теоретических расчетов получен график, отображенный на рисунке 7.

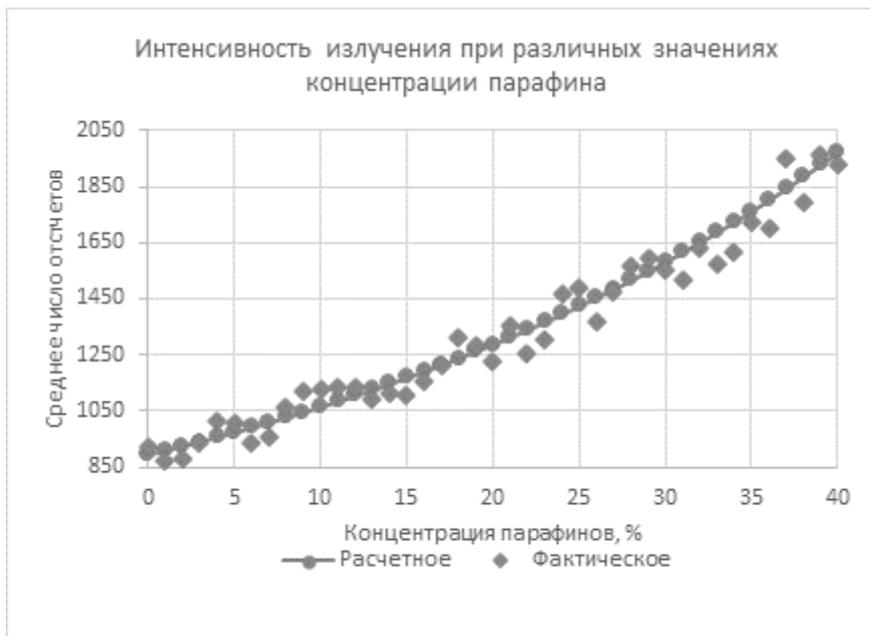


Рисунок 7 – Результаты расчета и экспериментальные данные

Относительная погрешность измерения парафиновых включений с помощью радиоизотопного излучения на основе сравнения теоретических и экспериментальных данных составила 5,5%, что говорит о высокой сходимости расчетов и результатов измерения и отвечает требованиям нефтяной промышленности

Был проведен расчет погрешности использования данного метода определения концентрации парафинов в потоке.

Погрешности интенсивности по каждой составляющей функции находятся как (7, 8, 9):

$$\Delta I_{\mu_{эф}} = \frac{\partial I}{\partial \mu_{эф}} \cdot \Delta \mu_{эф} = -5,532 \text{ Дж.} \quad (7)$$

$$\Delta I_{\rho_{эф}} = \frac{\partial I}{\partial \rho_{эф}} \cdot \Delta \rho_{эф} = -0,348 \text{ Дж.} \quad (8)$$

$$\Delta I_{\delta_{\text{эф}}} = \frac{\partial I}{\partial \delta_{\text{эф}}} \cdot \Delta \delta_{\text{эф}} = -6,639 \text{ Дж.} \quad (9)$$

Методическая погрешность измерения интенсивности гамма-излучения находится по формуле (10) и составляет:

$$\Delta I = \sqrt{(\Delta I_{\mu_{\text{эф}}})^2 + (\Delta I_{\rho_{\text{эф}}})^2 + (\Delta I_{\delta_{\text{эф}}})^2} = 8,6 \text{ Дж.} \quad (10)$$

Зависимость концентрации парафинов от интенсивности излучения можно выразить следующей зависимостью (11):

$$m = -1,06 + 0,64 \sqrt{31,84 + 3,12 \cdot \ln \frac{I}{I_0}}. \quad (11)$$

Методическая погрешность измерения концентрации парафинов в потоке находится по формуле (12) и составляет:

$$\Delta m = \frac{\partial m}{\partial I} \Delta I = \frac{0,1769}{I \sqrt{0,098 \ln \frac{I}{I_0} + 1}} \cdot 8,65 = 0,055. \quad (12)$$

Приборная погрешность измерения концентрации парафинов в потоке находится по формуле (13) и составляет:

$$\Delta m_{\text{п}} = \frac{\partial m}{\partial I} \Delta I = \frac{0,1769}{I \sqrt{0,098 \ln \frac{I}{I_0} + 1}} \cdot I \cdot 0,002 = 1,2 \cdot 10^{-3}. \quad (13)$$

Погрешность измерительной системы находится по формуле (14) и составляет:

$$\Delta m = \sqrt{(\Delta m_{\text{м}})^2 + (\Delta m_{\text{п}})^2} = \sqrt{(0,055)^2 + (1,2 \cdot 10^{-3})^2} = 0,055. \quad (14)$$

Таким образом, погрешность разработанной измерительной системы при следующих параметрах измерения: $\delta_{\text{эф}} = 1\text{м}$, $\mu_{\text{н}} = 0,073 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\mu_{\text{п}} = 0,034 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_{\text{нефти}} = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_{\text{парафина}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\mu_{\text{ст}} = 0,03 \frac{\text{кг}^3}{\text{м}}$, $\rho_{\text{ст}} = 5800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\delta_{\text{ст}} = 0,02\text{м}$ составляет $\Delta m = 5,5 \%$.

Таким образом, второе научное положение, выносимое на защиту, звучит как:

Определять концентрацию асфальтосмолопарафиновых соединений с погрешностью 5,5% возможно с помощью выявленной функциональной зависимости интенсивности радиоизотопного излучения от количественных изменений парафиновых включений в транспортируемую нефть на основе эффекта фотоэлектронного поглощения узкоколлимированного пучка гамма-излучения.

В заключении представлены выводы по результатам диссертационного исследования, предложены рекомендации по дальнейшим исследованиям данной тематики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи - разработка средства и методики автоматического бесконтактного определения концентрации парафиновых включений в транспортируемой по трубопроводу нефти.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. По результатам проведённого анализа существующих методов определения концентрации парафина при различных условиях транспортировки нефтяных потоков, а также последующих методов предотвращения и удаления парафиновых отложений, наиболее точным является метод измерения, основанный на радиоизотопном излучении.

2. Обоснована необходимость изучения процесса кристаллизации парафинов для предотвращения их осаждения на стенки трубопровода и оборудование транспортной системы.

3. Разработана имитационная модель определения коэффициента линейного поглощения радиоизотопного гамма-излучения при изменении концентрации веществ с помощью

сочетания методов обобщенной проводимости и элементарной ячейки.

4. Разработана имитационная модель автоматической бесконтактной измерительной системы определения количества парафиновых включений на основе эффекта фотоэлектронного поглощения узкоколлимированного пучка гамма-излучения.

5. Экспериментально подтверждены теоретические выводы о возможности определения парафиновых включений в нефтяном потоке.

6. Перспективными разработками данной темы являются исследования возможности применения разработанного метода на основе большого количества получаемой информации с целью прогнозирования парафиновых отложений при транспортировке нефти магистральными трубопроводами в т.ч. в условиях Арктического региона.

7. Разработанный автоматический бесконтактный метод, основанный на использовании источника радиоизотопного излучения, позволяет повысить надежность планирования профилактических мероприятий по предупреждению парафиновых отложений на внутренней поверхности трубопровода, что позволит повысить эффективность использования трубопроводных систем и экономический эффект предприятий, позволит обеспечить информационно-техническую поддержку процесса транспортировки нефтяных потоков по магистральным нефтепроводам, стандартизирует управление процессом транспортировки, увеличит количество получаемой информации о транспортируемых потоках, повысит уровень наблюдаемости и модернизирует инфраструктуру топливно-энергетического комплекса.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Дементьев, А.С. Магнитная антенна системы диагностики технического состояния трубопровода / А.С. Дементьев, Р.М.

Проскуряков, П.С. Паляницын // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. - № 12-3 (54). – С. 74-77.

2. Дементьев, А.С. Методика измерения парафиновой фазы в многокомпонентном нефтяном потоке / А.С. Дементьев, А.В. Коптева, Р.М. Проскуряков // Естественные и технические науки, №6, Москва. – 2017. – С. 113-116.

3. Дементьев, А.С. Анализ моделей определения асфальтосмолопарафиновых отложений на стенках трубопровода / А.С. Дементьев, Р.М. Проскуряков // Естественные и технические науки, №6, Москва. – 2017. – С. 117-120.

В изданиях, входящих в международные базы данных и системе цитирования Web of Science:

1. Proskuryakov, R.M. The building a system of diagnosing the technical condition of the pipeline on the basis of continuous pulsed magnetic field / R.M. Proskuryakov, A.S. Dementev // Journal of Mining Institute. 2016. Vol. 217, p.215-219 (in Russian).

Публикации в прочих изданиях:

1. Дементьев, А.С. Исследование механизма образования парафинов при различных температурных условиях / А.С. Дементьев // Научно-практические исследования. – 2020. - № 9-6 (32). – С. 7-11.

2. Dementev, A.S. Analysis of models for determining asphalt resin paraffin deposits on pipeline walls / A.S. Dementev // Vestnik sovremennyh issledovanij (Bulletin of Contemporary Research). – 2020. – № 5-7 (35). – P. 13-15.

Патент:

1. Заявка 2020124801 Российская Федерация Способ неразрушающего контроля концентрации парафина в нефтяном потоке на основе радиоизотопного излучения / А.В. Коптева, А.С. Дементьев, В.И. Маларев, В.Ю. Коптев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»; заявл. 27.07.2020.