

На правах рукописи



Муфтахова Эльмира Дамировна

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАСТВОРИТЕЛЕЙ
АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Специальность 2.10.1. – Пожарная безопасность (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа – 2023

Работа выполнена на кафедре «Пожарная и промышленная безопасность» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Хафизов Ильдар Фанилевич

Официальные оппоненты: **Ямалетдинова Клара Шаиховна**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет» / кафедра «Управления качеством в производственно-технологических системах»,
заведующий кафедрой

Королев Денис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» / кафедра
«Техносферная и пожарная безопасности»,
доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (г. Самара)

Защита состоится « 22 » февраля 2024 года в 11-00 на заседании диссертационного совета 24.2.428.06 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064, 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 «___» _____ 20__ года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Павлова Зухра Хасановна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Одной из актуальных проблем нефтяной промышленности является повышение эффективности разработки месторождений. В процессе длительной и интенсивной эксплуатации нефтедобывающих скважин происходит ряд нежелательных последствий, а именно повышение обводненности продукции и осаждение асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в призабойной зоне пласта (ПЗП) и на поверхности нефтепромыслового оборудования, что приводит к снижению продуктивности скважины, увеличение доли высоковязких нефтей с повышенным содержанием асфальто-смолистых веществ.

В настоящий момент известно большое количество различных способов удаления и предотвращения органических отложений, но наиболее эффективными и широко применяемыми являются химические методы. Данный метод заключается в применении растворителей АСПО, которые в основном получают из добываемого сырья.

Современный этап развития нефтегазовой отрасли характеризуется комплексным подходом к использованию добываемого углеводородного сырья. К примеру, из газового конденсата можно получить эффективный растворитель АСПО, который получают путем многократного испарения на установке стабилизации газового конденсата при высоких температурах.

В связи с актуальной проблемой удаления АСПО в нефтяной промышленности, предлагается совершенствование метода получения растворителя из добываемого углеводородного конденсата при низких температурах, обеспечивающего устойчивую пожарную безопасность технологического процесса.

Степень разработанности темы

Различным аспектам проблемы предотвращения отложений парафиновых и асфальто-смолистых веществ в скважинном оборудовании посвящено большое число исследований. Среди тех, кто внес существенный вклад в решение данной проблемы, можно назвать таких исследователей, как Бабалян Г.А., Галонский П.П., Гуськова И.А., Девликамов В.В., Доломатов М.Ю., Люшин С.Ф., Мищенко И.Т., Непримеров Н.Н., Рогачев М.К., Телин А.Г., Требин Ф.А., Тронов В.П., Хисамутдинов Н.И., Шайдаков В.В. и многие другие.

Однако в указанных направлениях исследований получаемые зависимости не могут быть общепринятыми, поскольку каждое из месторождений и добываемая на нем нефтепродукты индивидуальны и отличаются как условиями добычи, так и составом добываемой продукции, а, следовательно, имеют уникальную совокупность факторов, определяющую формирование АСПО. Поэтому прогнозирование, выбор средств и способов реагирования на осложнения особенно актуально для вновь вводимых в эксплуатацию месторождений.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема работы и содержание исследований соответствуют области исследований, определяемой паспортом специальности 2.10.1. – «Пожарная безопасность (технические науки)», а именно пункту 14 «Исследование условий, разработка и совершенствование методов оценки и способов снижения пожарных рисков на объектах защиты и прилегающих к ним территориях».

Цель работы

Разработка технологического процесса производства растворителя при низких температурах для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений на нефтепромысловых месторождениях, обеспечивающего пожарную безопасность.

Задачи исследований:

1. Провести анализ статистических данных пожаров на установках многократного испарения при получении фракции газового конденсата.
2. Разработать методы и средства получения фракции стабильного газового конденсата для использования его в качестве растворителя АСПО.
3. Провести анализ применимости и достоверности разработанного метода путем оценки пожарных рисков при перегонки газового конденсата с помощью аппарата однократного испарения.

Научная новизна

1. Предложен и научно обоснован метод, обеспечивающий снижение пожарных рисков безопасной эксплуатации технологического процесса получения растворителя органических отложений из фракции газового конденсата.
2. Впервые выявлен синергетический эффект взаимодействия факторов кавитации и неполярных химических соединений, что существенно повышает

растворяющую и моющую способность растворителя и безопасную эксплуатацию нефтепромысловых систем.

Теоретическая значимость. Результаты работы вносят вклад в теоретические основы пожарной безопасности производства растворителя органических отложений, заключающиеся в:

- определении влияния кавитационно-вихревого воздействия на реологические свойства растворителя;
- разработке научных методов оценки управления пожарными рисками;
- выявлении синергетического эффекта взаимодействия факторов кавитации и неполярных химических соединений.

Практическая значимость полученных результатов в диссертации заключается в предложении технологической схемы получения растворителя путем перегонки газового конденсата с помощью аппарата однократного испарения; расчетным путем показано снижение параметров пожарных рисков при применении предложенного аппарата однократного испарения для получения растворителя АСПО.

Результаты работы по обеспечению безопасного получения растворителя путем однократного испарения газового конденсата используются в учебном процессе ФГБОУ ВО УГНТУ при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Пожарная безопасность технологических процессов» для направления подготовки 20.05.01 – «Пожарная безопасность» и по дисциплине «Пожарная и промышленная безопасность технологических процессов» для направления подготовки 20.03.01 – «Техносферная безопасность», также отражены в учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ.

Методология и методы исследований

Методология выполнения работы заключалась в поэтапном проведении исследований, включающих анализ накопленных знаний в области оценки пожарных рисков на нефтяных объектах. При решении задач использовались методы регрессионного анализа, моделирование с применением программных комплексов Toxi, физико-химические методы исследования; хроматографический анализ, стандартные методики кинетических измерений, аналитические и численные методы решения задач.

Положения, выносимые на защиту:

1. Предложен фракционный состав из газового конденсата в качестве растворителя органических отложений, позволяющий снизить риски

безопасной эксплуатации нефтепромысловых систем и их промышленное производство.

2. Разработан метод и способ получения фракционного состава из газового конденсата для применения его в качестве растворителя органических отложений.

3. Результаты анализа применимости предложенного метода получения растворителя путем оценки пожарных рисков при перегонки газового конденсата в аппарате однократного испарения.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов работы подтверждена данными экспериментальных исследований, полученными с использованием поверенных средств измерения и на аттестованном оборудовании по общепринятым методикам.

Апробация результатов

Основные положения, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы и рекомендации работы докладывались на: Международной научно-технической конференции посвященной 60-летию филиала «Современные технологии в нефтегазовом деле – 2016» (Уфа, 2016 г.); IX Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники – 2016» (Уфа, 2016 г.); I-ой Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» УГНТУ «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» (Уфа, 2018 г.); 70-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Уфа, 2019 г.); II-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» (Уфа, 2019 г.); X Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса» (БашГУ, Уфа, 2020 г.); III-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» (Уфа, 2020 г.); IV-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» (Уфа, 2021 г.); VI Международная научная конференция «Современные агротехнологии, экологический инжиниринг и устойчивое развитие» – VI International

Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VI – 2021) (г. Красноярск, 2021 г.); 49-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященной 90-летию Башкирской нефти (Филиал в г. Октябрьском, 2022 г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 4 в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, а также 1 статья в издании, входящем в базу данных Scopus и Web of Science.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка использованной литературы, включающего 125 наименований. Работа изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 30 таблиц и 26 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследований, приведена научная новизна и практическая значимость результатов работы.

Первая глава. Проведен статистический анализ пожарной опасности установок перегонки углеводородного сырья методом однократного и многократного испарения характеризующиеся наличием большого количества ЛВЖ, ГЖ, их паров и углеводородных газов. Проведенный анализ показал, что в производственных условиях при нормальной работе технологического оборудования нефтепродукты могут иметь температуру, находящуюся в пределах воспламенения. Следовательно, горючая концентрация может образовываться не только в паровоздушном пространстве, но и при выходе паров наружу.

Статистический анализ произошедших аварийных ситуаций в процессах перегонки нефти и газового конденсата за последние 10 лет, показал, что ключевыми вероятными сценариями являются, взрыв газозооушной смеси, пожар пролива и аварийная загазованность. Так в период с 2011 по 2021 гг по стране произошло 156 аварийных ситуаций, из которых 67 пожаров, 48 взрывов и 41 выброс опасных веществ, в том числе 62 случая с летальным

исходом. Ежегодный материальный ущерб от произошедших аварий превышает сумму в 100 млн. рублей.

Выделяемая из конденсата широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ) с помощью установки многократного испарения газового конденсата, является ценным сырьем для нефтехимических комплексов. Фракцию стабильного газового конденсата применяют в качестве основы растворителя для удаления АСПО.

Интенсивность образования осадков на нефтяных скважинах во многом зависит от состава АСПО. На сегодняшний день существует большое количество разнообразных методов по борьбе с АСПО. Например, при наличии в составе значительного количества парафиновых углеводородов с высокой температурой плавления, применение теплового метода не эффективно. В этом случае лучшие результаты обеспечивает применение углеводородных растворителей. Поэтому из часто применяемых методов является – химический.

Вторая глава. Объектом исследования является получение растворителя для удаления АСПО при использовании аппарата однократного испарения.

По итогам исследований причин возможных аварийных ситуаций проведен регрессивный анализ пожарного риска на нефтегазовом предприятии ООО «Газпром Добыча Оренбург» при перегонке фракции газового конденсата. Для установления зависимости между параметрами индивидуального риска и температуры процесса испарения газового конденсата, было применено уравнение регрессии (1) для обработки данных, полученных в результате исследования.

$$R_i = b \cdot t_i + a, \quad (1)$$

где b , a – эмпирические коэффициенты регрессии; R_i – величина индивидуальный риск i -го показателя до и после модернизации; t_i – температуры процесса испарения i -го показателя, °С.

Для определения зависимости были взяты 5 показателей температуры в соответствии с нагревом газового конденсата в ректификационной колонне от 100°С до 180°С при атмосферном давлении и в испарителе работающего под вакуумом при 80°С.

В результате расчета были получены эмпирические коэффициенты: $a=0,62$; $b=0,00431$, тогда уравнение регрессии приобретает вид (2):

$$R_i = 0.00431 \cdot t_i + 0.62, \quad (2)$$

Результаты оценки качества уравнения регрессии представлены в Таблице 1 и на Рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты оценки качества уравнения регрессии

Номер наблюдения		t	R
Ректификационная колонна	1	180	1,39
	2	150	1,27
	3	120	1,14
	4	100	1,05
Испаритель	5	80	0,96

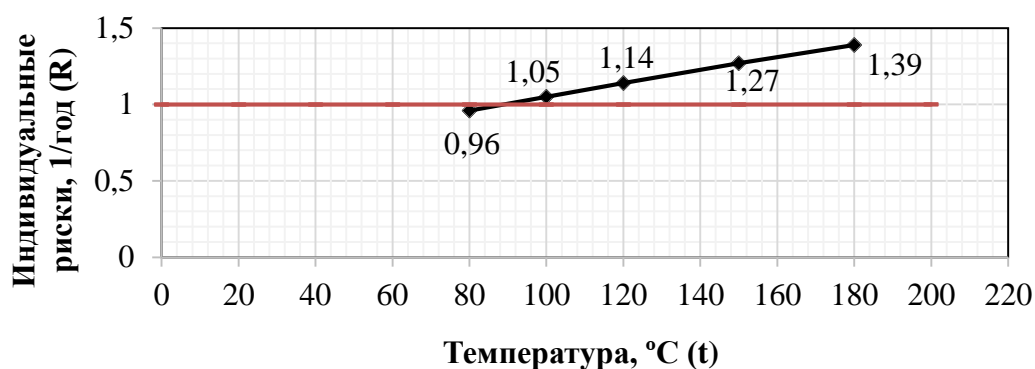


Рисунок 1 – График эмпирического уравнения регрессии

Опасность производственных объектов (ОПО) обусловлена наличием большого количества опасных и горючих веществ, которые при возникновении аварийных ситуаций, повышают технический критерий безопасности (ТКБ), что может негативно сказываться на состоянии окружающей среды, жизни и здоровья населения.

На основании расчетов уравнения регрессии (Рисунок 1) было получено, что при применении ректификационной колонны результаты индивидуального риска превышают нормативное значение, установленное статьей 93 Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023) (Ст.93 ФЗ-123 «Технический регламент»). А при использовании аппарата однократного испарения перегонки газового конденсата, работающего при 80°C, снижается индивидуальный риск, что в дальнейшем приводит к уменьшению ТКБ, и не превышает нормативные значения (3):

$$\text{ТКБ} = \frac{R_{\text{новый}} - R_{\text{старый}}}{R_{\text{старый}}} = \frac{0,96 - 1,39}{1,39} = -0,309 \leq 0,05, \quad (3)$$

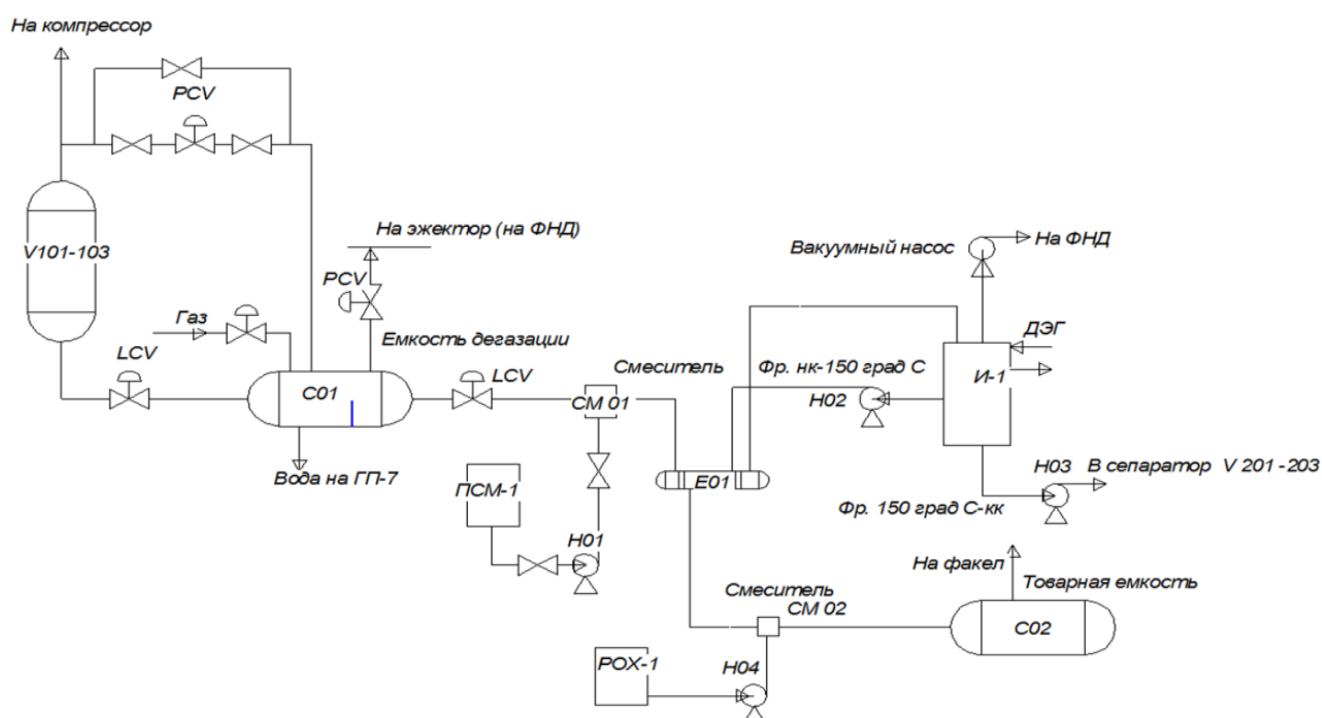
где $R_{\text{новый}}$ – индивидуальный риск после модернизации;
 $R_{\text{старый}}$ – индивидуальный риск до модернизации.

Для обеспечения безопасности технологического процесса производства был предложен способ получения растворителя, который включает в себя

выделение фракции из газового конденсата в аппарате однократного испарения. На Рисунке 2 приведена технологическая схема осуществления предлагаемого способа.

Дополнительное преимущество переработки газового конденсата на добывающем предприятии – это снижение дополнительных затрат, улучшение качества получаемой продукции и экологической обстановки.

Технологический процесс по переработке газоконденсатного сырья проектируются как единый комплекс, что исключает удорожание строительства, упрощает эксплуатацию и дополнительные межцеховые перекачки.



V-101-103 – сепаратор; C-01 – емкость дегазации; PCV, LCV – задвижки;
 SM-01, SM-02 – гидроакустический аппарат; Н-01, Н-02, Н-03, Н-04 – насос;
 E-01 – теплообменник; И-1 – испаритель; C-02 – товарная емкость;
 РОХ-1 – присадка

Рисунок 2 – Технологическая схема аппаратом однократного испарения для получения растворителя

Нестабильный газовый конденсат (Рисунок 2) из входных сепараторов V-101-103, поступает в емкость дегазации C-01. Нестабильный конденсат после сепаратора C-01 проходит через смеситель SM-01 (гидроакустический аппарат), где происходит его смешивание с реагентом ПСМ-1, для удаления

H_2S и легких меркаптанов. После смешения с реагентом ПСМ-1 нестабильный конденсат направляется в теплообменник Е-01, где с помощью 60%-ого водного раствора диэтиленгликоля (ДЭГ) нагревается до температуры $80^{\circ}C$. Вакуумный насос в испарителе И-1 позволяет создать вакуум, за счет этого происходит снижение температуры кипения растворителя со $150^{\circ}C$ до $80^{\circ}C$. В результате чего происходит выделение фракции $60-150^{\circ}C$ (низких температурах), которая с помощью насоса Н-02 подается в смеситель СМ-02, куда вторым потоком поступает добавка РОХ-1 с помощью дозирующего насоса Н-04. После смешения с добавкой РОХ-1 растворитель направляется в товарную емкость С-02. С низа испарителя И-1 с помощью насоса Н-03 вторым потоком выводится фракция, выкипающая при температуре выше $150^{\circ}C$, которая отводится в сепаратор V-201-203 на собственные нужды завода.

Одним из определяющих факторов полученного растворителя при помощи аппарата однократного испарения, является получение его при низких температурах ($80^{\circ}C$) и высокое содержание неполярных неэлектролитов, которые влияют на моющую и растворяющую способность. Для этого был проведен хроматографический анализ газового конденсата, с помощью которого определили его качественный и количественный состав.

Спектры и результаты группового состава хроматографического анализа стабильного газового конденсата представлены на Рисунке 3 и в Таблице 2.

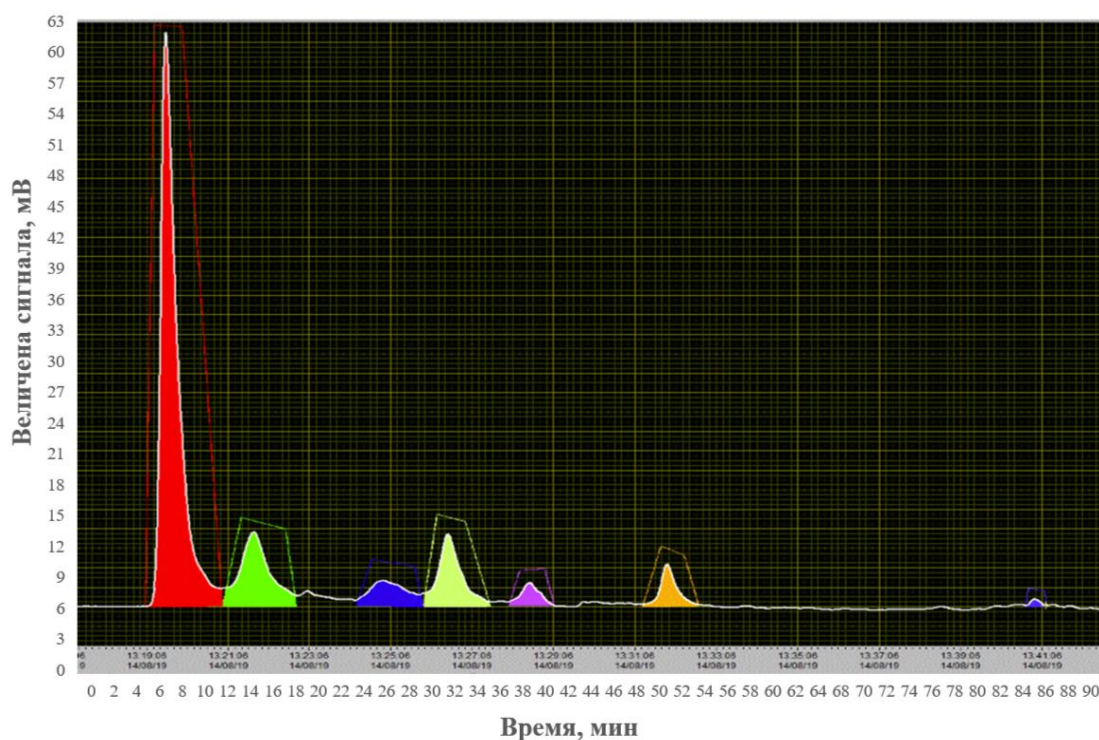


Рисунок 3 – Хроматограмма стабильного газового конденсата с н.к.- $60^{\circ}C$

Таблица 2 – Групповой состав стабильного газового конденсата с началом кипения 60°C (с.г.к с н.к.-60°C)

Наименование компонента	Содержание (масс.%)
Парафины	61,0
Нафтенy	13,2
Легкая ароматика	6,7
Средняя ароматика	6,5
Тяжелая ароматика	9,0
Смолы	3,6
Асфальтены	0
Итого	100

Как видно из качественного и количественного состава стабильного газового конденсата с н.к.-60°C (Таблица 2) преобладает содержание парафиновых углеводородов – 61%.

Как известно, растворители, в составе которых преобладает высокое содержание парафиновых углеводородов, имеют низкую эффективность растворения отложений.

Путем перегонки из стабильного газового конденсата была выделена фракция 60–150°C, которая в дальнейшем использовалась как база для растворителя. Хроматографический анализ выделенной фракции 60–150°C приведен на Рисунке 4 и в Таблице 3.



Рисунок 4 – Хроматограмма фракции 60–150°C

Таблица 3 – Групповой состав фракции 60–150°С

Наименование компонента	Содержание (масс.%)
Изопарафины	56,0
Нафтены	41,3
Ароматика	1,7
Парафины	1,0
Асфальтены	0
Итого	100

Основными компонентами фракции 60–150°С, являются изопарафины, а также содержится большое количество нафтеновых углеводородов – порядка 41,3 %.

Для изучения влияния нафтеновых углеводородов на моющую и растворяющую способность была изучена модельная смесь с разной концентрацией нафтеновых углеводородов – 5%, 10%, 15%, 20%, 40% и 100%.

Из полученных результатов исследований (Рисунок 5) видно, что при увеличении содержания в составе растворителя нафтеновых углеводородов увеличивается его растворяющая способность.

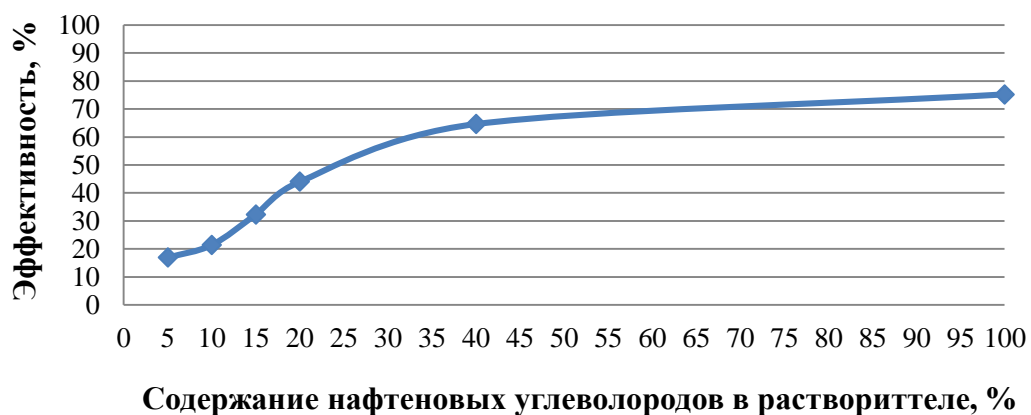


Рисунок 5 – Модельная смесь фракции 60–150°С

Выявлено, что нафтеновые растворители значительно влияют на снижение вязкости вследствие уменьшения в нефти содержания смол и увеличении насыщенных и ароматических компонентов в результате ослабления межмолекулярных взаимодействий агрегативных комбинаций асфальтенов, что приводит к увеличению растворяющей способности дисперсионной среды.

Для оптимизации показателей растворяющей, моющей и диспергирующей способностей растворителя, определяющих его

эффективность по удалению АСПО, проводились эксперименты по методике ПАО «НК «Роснефть», в которой рассчитывалась эффективность разрабатываемых растворителей.

Определение фракционного состава нестабильного газового конденсата и нефтепродуктов проводился по ГОСТ 11011-85 («Нефть и нефтепродукты. Метод определения фракционного состава в аппарате АРН-2»). Результаты разгонки представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Фракционный состав нестабильного газового конденсата

Доля отгона, % об.	Начало кипения	10	20	30	40	50	51	60	68	Конец кипения – 72
Температур кипения, °С	45	85	102	122	149	188	200	263	300	310

В третьей главе проведены исследования по получению растворителя из газового конденсата для удаления четырех образцов АСПО из нефтяных скважин на рассматриваемом добывающем предприятии ООО «Газпром Добыча Оренбург» Оренбургского НГКМ. На данном предприятии удаление отложений производится с помощью горячего газового конденсата. К основному недостатку можно отнести, то, что горячий газовый конденсат расплавляет отложения, но не растворяет их, растворяющая способность составляет не более 2%.

Основными показателями растворителя при удалении АСПО является моющая и растворяющая способность. Проведены исследования растворителей, стабильного газового конденсата с н.к.-60°С, фракции 60–150°С, и фракции 60–170°С. Результаты представлены в Таблице 5.

Таблица 5 – Результаты средних значений оценки эффективности растворителей на основе стабильного газового конденсата

Образец АСПО	Растворитель	Моющая способность, %	Диспергирующая способность, %	Растворяющая способность, %
АСПО-1	ст.г.к. с н.к.-60°С	1,1	0,5	0,6
	фракция 60–150°С	21,6	5,5	16,1
	фракция 60–170°С	14,1	7,4	6,7
АСПО-2	ст.г.к. с н.к.-60°С	1,5	1,0	0,5
	фракция 60–150°С	21,3	6,9	14,4
	фракция 60–170°С	16,5	11,9	4,7
АСПО-3	ст.г.к. с н.к.-60°С	1,6	0,8	0,8

Образец АСПО	Растворитель	Моющая способность, %	Диспергирующая способность, %	Растворяющая способность, %
АСПО-1	ст.г.к. с н.к.-60°C	1,1	0,5	0,6
	фракция 60–150°C	18,3	5,0	13,3
	фракция 60–170°C	10,5	4,9	5,7
АСПО-4	ст.г.к. с н.к.-60°C	1,1	0,6	0,5
	фракция 60–150°C	24,8	9,8	14,9
	фракция 60–170°C	18,9	11,2	7,6

Полученные результаты указывают, на то, что применение фракции н.к.-60°C стабильного газового конденсата в качестве растворителя для удаления АСПО не эффективно (Таблица 5). При использовании в качестве растворителя фракции 60–150°C, с высоким содержанием нафтеновых углеводородов, эффективность растворителя увеличилась в 10 и более раз.

Были проведены исследования по подбору и изучению влияния присадок, и кавитационно-вихревого воздействия на растворяющую и моющую способность растворителя. Опытным путем подобран оптимальный состав присадки РОХ-1, в которую входят полярный неэлектролит – 18 % и поверхностно-активное вещество (ПАВ) – 2 %. На основании планирования эксперимента приведенного во 2 главе диссертации, было получено, что данные соотношения компонентов присадки РОХ-1 статически значимы.

Результаты средних значений оценки эффективности растворителя для удаления четырех образцов АСПО, на основе фракции 60–150°C и присадки РОХ-1 представлены в Таблице 6.

Таблица 6 – Результаты средних значений оценки эффективности растворителя на основе фракции 60–150°C и присадки РОХ-1

Образец АСПО	Растворитель	Моющая способность, %	Диспергирующая способность, %	Растворяющая способность, %
АСПО-1	фракция 60–150°C с РОХ-1	63,9	27,8	36,1
АСПО-2		62,0	20,6	41,4
АСПО-3		57,2	22,1	35,1
АСПО-4		62,8	27,2	35,6

Из таблицы видно, что применение присадки РОХ-1 совместно с базовым растворителем, позволило повысить эффективность разрушения и растворения всех образцов АСПО в 2 раза.

Были проведены испытания по выявлению механизма совместного действия растворителя фракцию 60–150°С с присадкой РОХ-1и кавитационно-вихревым эффектом с различным временем воздействия на растворитель в течение 20, 40, 60 и 80 сек (Таблица 7).

Таблице 7 – Результаты эффективности растворителя на основе фракции 60–150°С и присадки РОХ-1 с волновым воздействием

Образец АСПО	Время воздействия УЗ, сек	Моющая способность, %	Диспергирующая способность, %	Растворяющая способность, %
АСПО-1	20	61,8	24,0	37,8
	40	66,2	25,5	39,7
	60	72,2	28,7	43,5
	80	71,7	30,2	41,5
АСПО-2	20	63,3	27,2	36,1
	40	64,5	28,9	35,6
	60	69,4	32,1	37,3
	80	68,8	32,1	36,7
АСПО-3	20	59,6	23,6	36,0
	40	61,8	27,7	34,1
	60	63,7	29,4	34,3
	80	63,2	28,6	34,6
АСПО-4	20	63,3	28,1	35,2
	40	64,9	29,8	35,1
	60	68,8	33,2	35,9
	80	68,1	34,3	33,8

Обнаружено, что оптимальное время воздействия на растворитель для удаления АСПО составило 60 сек. При более длительном времени обработки показатели эффективности не увеличились.

Анализ результатов испытаний показал, что при одновременном применении кавитационно-вихревого воздействия в течение 60 сек. на растворитель на основе фракции 60–150°С с присадкой РОХ-1 обеспечивает эффективный синергетический эффект, что приводит к увеличению показателей моющей и растворяющей способностей при растворении АСПО.

Экспериментально полученный растворитель показал достаточно высокие показатели моющей и растворяющей способностей. Это означает, что его можно использовать в промышленности, в качестве эффективного средства для удаления АСПО, которое позволит обеспечить безаварийную эксплуатацию нефтяных скважин.

При воздействии кавитации на растворитель с увеличением времени обработки наблюдалось повышение температуры раствора до 40°С. Это связано

с пульсацией и последующим коллапсом пузырьков. Кавитация ускоряет процесс разрушения парафина в АСПО, за счет интенсивности перемешивания растворителя и действия импульсов давления. Под воздействием кавитации на растворитель большой интенсивности на протяжении длительного времени при растворении АСПО нарушаются С–С-связи в молекулах парафина, вследствие чего происходят изменения физико-химического состава (уменьшение молекулярного веса, температуры кристаллизации и др.) и свойств нефтепродуктов (вязкости, плотности, температуры вспышки и др.).

Эффект кавитации влияет на способность смолистых веществ связывать твердые частицы отложений между собой. За счет кавитации происходит процесс расщепления отложения, т.е. переход из фазового контакта между частицами АСПО в коагуляционный контакт (Рисунок 6). Вследствие этого большая часть АСПО растворяется в растворе, за счет этого моющая способность увеличивается.



а – фазовый контакт

б – коагуляционный контакт

Рисунок 6 – Типы отложений между частицами твердых дисперсных фаз в концентрированных дисперсных системах

Были проведены сравнительные исследования при рабочей температуре 60–80°C для проверки растворителя в условиях использования его как горячее обрабатывающее средство для удаления АСПО, применяемого в ООО «Газпром добыча Оренбург».

Изучение процесса растворения АСПО производили при различных температурах 20, 40, 60 °С и в исследуемых растворителях: стабильного газового конденсата с н.к.–60°C, фракция 60–150°C, фракция 60–170°C, фракция 60–150°C с добавлением присадки РОХ-1, фракция 60–150°C с присадкой РОХ-1 и с кавитационно-вихревой обработкой в течение 60 сек. Эффективность растворения оценивалось по изменению массы отложений при взаимодействии

с растворителем. По окончании испытаний отложения полностью расплавились за разные промежутки времени (Таблица 8).

Таблица 8 – Среднее время плавления образцов АСПО при изменении температуры растворителя

Образец АСПО	Растворитель	Температура, °С	Среднее время плавления отложений, мин.
АСПО-1 АСПО-2 АСПО-3 АСПО-4	ст.г.к. с н.к.-60 °С	20	220
		40	90
		60	45
	фракция 60–150 °С	20	165
		40	70
		60	26
	фракция 60–170 °С	20	180
		40	75
		60	35
	фракция 60–150 °С с РОХ-1	20	148
		40	45
		60	17
	фракция 60–150 °С с РОХ-1 и УЗ	20	125
		40	30
		60	13

Из полученных результатов исследований видно, что при температуре 60°С растворитель, полученный из фракции 60–150°С и РОХ-1 с кавитационно-вихревой обработкой, показал среднюю продолжительность растворения четырех образцов АСПО – 13 минут.

Таким образом, полученный растворитель имеет минимальное время плавления отложений и высокие показатели эффективности (Таблица 7). Тем самым исключается процесс нагрева, обеспечивается безопасность технологических процессов производства.

Четвертая глава. В данной главе представлен расчет дерева исходов событий и частот отказов аварийных событий при получении фракции на установке многократного испарения газового конденсата, с помощью метода «Дерево отказов». В диссертации представлены все возможные сценарии, по которым производились расчеты с указанием исходных данных.

Выделение фракции 60–150°С традиционно осуществляется на установке многократного испарения газового конденсата, путем нагрева сырья до 150-200°С при атмосферном давлении. Был произведен расчет пожарного риска на производственных объектах при температуре перегонки 180°С. Полученные результаты представлены в Таблице 9.

Таблица 9 – Количественные показатели риска при использовании установки многократного испарения

№ п/п	Наименование слоя	Число одновременно находящихся людей	Число рискующих	Коэф. присутствия	Коэффициенты защищенности от			Коллективный риск, чел/год	Индивидуальный риск, 1/год
					токсик	взрывов	термического воздействия		
1	Насосная	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$3,55 \cdot 10^{-6}$	$3,45 \cdot 10^{-8}$
2	Ректификационная колонна	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$1,39 \cdot 10^{-6}$
3	Товарная емкость С-02	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$9,55 \cdot 10^{-6}$	$9,27 \cdot 10^{-7}$
4	Теплообменник Е-01	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$3,65 \cdot 10^{-5}$	$3,54 \cdot 10^{-7}$
5	РОХ-1	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$1,31 \cdot 10^{-5}$	$1,27 \cdot 10^{-7}$
6	Емкость дегазации С-01	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-7}$
Итого		78	618	1,00	0,00	0,00	0,00	$9,10 \cdot 10^{-5}$	$3,50 \cdot 10^{-7}$

При получении фракции на установке многократного испарения газового конденсата по предварительным расчетам индивидуальный риск при аварии составляет $1,39 \cdot 10^{-6}$, что превышает нормативное значение установленный ст.93 ФЗ-123 «Технический регламент».

Ситуационный план поражения при реализации основных поражающих факторов, был построен в программном комплексе $TOX1^{+Risk}$, который проиллюстрирован на Рисунке 7.

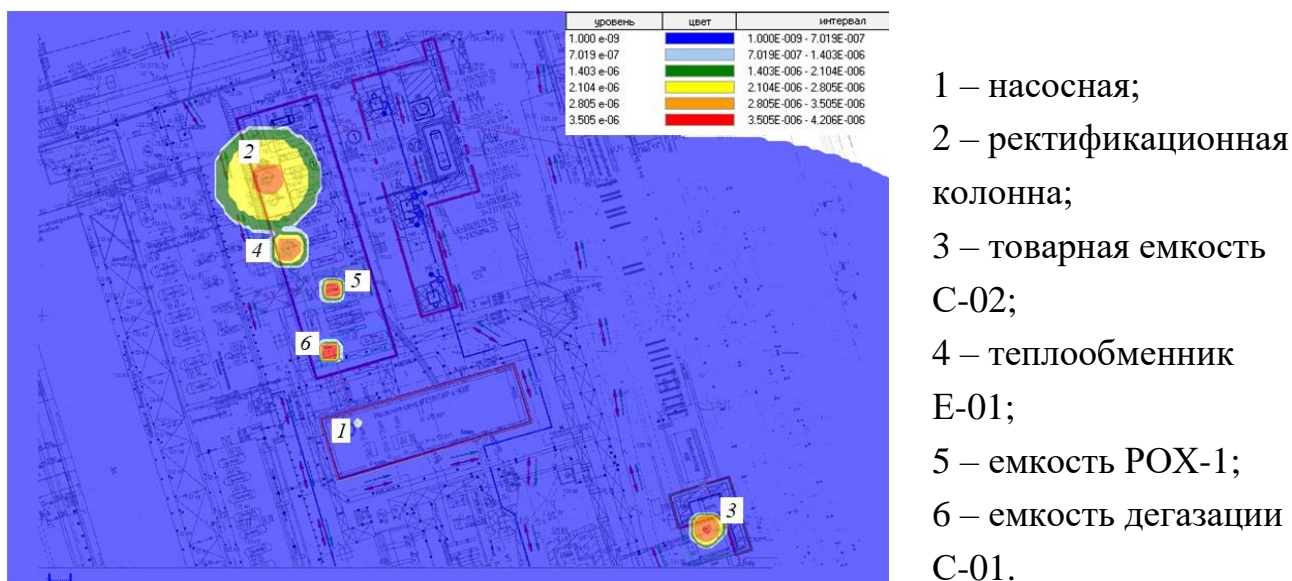


Рисунок 7 – Ситуационный план аварийной ситуации на установке многократного испарения газового конденсата

По полученным данным оценки промышленных рисков выявлено, что аварии на установке многократного испарения газового конденсата могут повлечь за собой угрозу жизни и здоровью персонала, обслуживающий данный процесс. Для обеспечения пожарной и промышленной безопасности технологического процесса получения фракции было предложено применение аппарата однократного испарения, работающего при меньших температурах.

В предложенном технологическом процессе выделения фракции 60–150°C из газового конденсата впервые используется испаритель с вакуумной системой (однократное испарение) при температуре перегонки 80°C. Аппарат однократного испарения позволяет стабилизировать нестабильный газовый конденсат и в дальнейшем использовать его для получения комплексного растворителя удаления АСПО. Полученные результаты расчета пожарного риска на производственных объектах с использованием испарителя представлены в Таблице 10.

Таблица 10 – Количественные показатели риска при использовании испарителя

№ п/п	Наименование слоя	Число одновременно находящихся людей	Число riskующих	Коеф. присутствия	Кoeffициенты защищенности от			Коллективный риск, чел/год	Индивидуальный риск, 1/год
					токсик	взрывов	термического воздействия		
1	Насосная	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$3,25 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-8}$
2	Испаритель И-1	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$9,68 \cdot 10^{-8}$
3	Товарная емкость С-02	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$9,55 \cdot 10^{-6}$	$9,27 \cdot 10^{-8}$
4	Теплообменник Е-01	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$3,23 \cdot 10^{-5}$	$3,14 \cdot 10^{-7}$
5	РОХ-1	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$1,26 \cdot 10^{-5}$	$1,22 \cdot 10^{-7}$
6	Емкость дегазации С-01	13	103	1,00	0,00	0,00	0,00	$1,29 \cdot 10^{-5}$	$1,26 \cdot 10^{-7}$
Итого		78	618	1,00	0,00	0,00	0,00	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$

Как видно из Таблицы 10 применение аппарата однократного испарения позволило сократить показатель индивидуального риска – $9,86 \cdot 10^{-8}$, который не превышает нормативный показатель производственного риска в соответствии со ст. 93 ФЗ-123 «Технический регламент».

Ситуационный план поражения при реализации основных поражающих факторов на производственной площадке при авариях с использованием аппарата однократного испарения, представлен на Рисунке 8.



- 1 – насосная;
- 2 – испаритель И-1;
- 3 – товарная емкость С-02;
- 4 – теплообменник Е-01;
- 5 – емкость РОХ-1;
- 6 – емкость дегазации С-01.

Рисунок 8 – Ситуационный план аварийной ситуации при использовании аппарата однократного испарения

По результатам сравнения индивидуального риска при использовании установке многократного испарения газового конденсата ($1,39 \cdot 10^{-6}$) и аппарата однократного испарения ($9,86 \cdot 10^{-8}$), выявлено, что очаги поражения в случае аварий максимальны при высоких температурах. Поэтому применение аппарата однократного испарения рационально, так как он обеспечивает пожарную безопасность за счет понижения рабочей температуры до 80°C , и тем самым снижает пожарный риск.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. По результатам анализа статистических данных произошедших аварийных ситуаций в процессах перегонки нефти и газового конденсата за последние 10 лет, показал, что ключевыми сценариями являются, взрывы газоздушной смеси, пожар пролива и аварийная загазованность. Так за период с 2012 по 2021 гг. было выявлено, что по стране произошло 156 аварийных ситуаций, в том числе 67 пожаров, 48 взрывов, 41 выбросов опасных веществ, в том числе 62 случая с летальными исходами.

2. Разработан метод получения растворителя путем использования аппарата однократного испарения с вакуумной системой, который работает при низких температурах – 80°C , использование которого позволяет обеспечить пожарную безопасность технологического процесса производства растворителя органических отложений.

Результаты экспериментальных исследований растворителя (на основе фракции 60–150°C – 80% масс. и присадки РОХ-1 – 20% масс. с кавитационно-вихревым воздействием в течение 60 сек.) подтвердили достаточно высокую эффективность его использования, свыше 70%.

3. Разработана технологическая схема для обеспечения безопасности технологических процессов получения растворителя при применении аппарата однократного испарения с вакуумной системой, работающего при низких температурах. Произведенный анализ оценки пожарных рисков при применении аппарата однократного испарения показал, что индивидуальный риск составляет – $9,68 \cdot 10^{-8}$, тогда как при использовании установки многократного испарения газового конденсата индивидуальный риск составляет $1,39 \cdot 10^{-6}$.

Содержание работы опубликовано в 18 научных трудах, в том числе:

- в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях в соответствии с требованиями ВАК Министерства науки и высшего образования РФ:

1. Муфтахова, Э.Д. Изучение влияния ультразвуковых колебаний на химический растворитель для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений / Э.Д. Муфтахова, Т.В. Васильева, И.Ф. Хафизов, Ф.Ш. Хафизов, Р.М. Султанов // Научный электронный журнал «Техносферная безопасность». – Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России, 2019. – № 2 (23). – С.42-48.

2. Муфтахова, Э.Д. Подбор химического состава для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений в магистральных трубопроводах / Э.Д. Муфтахова, Т.В. Васильева, И.Ф. Хафизов, Ф.Ш. Хафизов, И.В. Озден // Научный электронный журнал «Техносферная безопасность». – Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России, 2020. – № 1 (26). – С.89-93.

3. Муфтахова, Э.Д. Разработка технологической схемы получения растворителя для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений с целью обеспечения пожарной и промышленной безопасности / Э.Д. Муфтахова, Т.В. Васильева, О.А. Баулин, И.Ф. Хафизов, Ф.Ш. Хафизов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2020. – № 5. – С.27-38.

4. Васильева, Т.В. Пути повышения промышленной безопасности при эксплуатации газонефтяных скважин / Т.В. Васильева, Э.Д. Муфтахова, О.А. Баулин, И.Ф. Хафизов // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 5. – С. 48-52. –DOI: 10.24000/0409-2961-2021-5-48-52.

- публикации рецензируемом научном журнале, включенном в базы данных Scopus и Web of Science:

5. Khafizov, I.F. Improvement of the method of removing asphalt-resin-paraffin deposits to ensure the safety of technological processes / I.F. Khafizov, E.D. Muftakhova, T.V. Latypova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – vol. 981. – 2022. – P. 1-7. – DOI:10.1088/1755-1315/981/3/032058.

- в материалах различных конференций и семинаров:

6. Шайдуллина, А.Г. Повышение взрывопожарной безопасности путем применения современных способов удаления асфальтосмолопарафиновых отложений / А.Г. Шайдуллина, Э.Д. Еникеева, И.Ф. Хафизов // «Актуальные проблемы науки и техники – 2016»: Сборник материалов IX Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Издательство «Нефтегазовое дело». – Уфа, 2016. – Том 2. – С.158-159.

7. Муфтахова, Э.Д. Влияние асфальтосмолопарафиновых отложений на аварийность магистральных трубопроводов / Э.Д. Муфтахова // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» I-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, УГНТУ, 2018. – С. 311-314.

8. Васильева, Т.В. Влияние щавелевой кислоты на эффективность растворителей асфальтосмолопарафиновых отложений / Т.В. Васильева, Э.Д. Муфтахова, И.Ф. Хафизов, Ф.Ш. Хафизов // Сборник трудов 70-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа, УГНТУ, 2019. – С. 153.

9. Муфтахова, Э.Д. Влияние ультразвука на растворитель на основе газового конденсата для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений / Э.Д. Муфтахова, Т.В. Васильева // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» II-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, УГНТУ, 2019. – С. 161.

10. Васильева, Т.В. Растворители асфальтосмолопарафиновых отложений на основе газового конденсата / Т.В. Васильева, Э.Д. Муфтахова // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» II-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, УГНТУ, 2019. – С. 163.

11. Муфтахова, Э.Д. Повышение промышленной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли путем удаления асфальтосмолопарафиновых отложений / Т.В. Васильева, Э.Д. Муфтахова // «Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса» материалы X Междунар. науч. конф. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2020. – С. 183-184.

12. Муфтахова, Э.Д. Накопления отложений, влияющие на безопасную эксплуатацию нефтяных скважин / Э.Д. Муфтахова, Т.В. Васильева // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» III-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа: УГНТУ, 2020. – С. 284-285.

13. Муфтахова, Э.Д. Анализ аварийных ситуаций на нефтяных скважинах, обусловленных образованием АСПО/ Э.Д. Муфтахова, Т.В. Васильева // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» III-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, УГНТУ, 2020. – С. 285-287.

14. Мухаметова, Р.Р. Обеспечение аварийной безопасности на нефтяных скважинах путем снижения образования асфальтосмолопарафиновых отложений / Р.Р. Мухаметова,

Э.Д. Муфтахова // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли» III-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, УГНТУ, 2020. – С. 348.

15. Муфтахова, Э.Д. Влияние нефтяных углеводородов на эффективность растворителя асфальтосмолопарафиновых отложений / Э.Д. Муфтахова, Т.В. Васильева // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли»: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, УГНТУ, 2021. – С. 102-103.

16. Муфтахова, Э.Д. Проблема образования асфальтосмолопарафиновых отложений на нефтедобывающих предприятиях / Э.Д. Муфтахова, Т.В. Васильева // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли»: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, УГНТУ, 2021. – С. 104.

17. Муфтахова, Э.Д. Проблемы пожарной и промышленной безопасности на месторождениях нефти и газа / Э.Д. Муфтахова, Р.Р. Мухаметова // «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли»: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, УГНТУ, 2021. – С. 105.

18. Муфтахова, Э.Д. Механизм удаления нефтяных отложений с применением растворителя с большим содержанием нефтяных углеводородов / Э.Д. Муфтахова // Материалы 49-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященной 90-летию Башкирской нефти. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2022. – С. 59-61.