

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа: Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки: 21.04.01 Нефтегазовое дело/Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов

Отделение: Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Моделирование струйного размыва донных отложений в нефтяных резервуарах

УДК 622.692.23-776

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ95	Варибрус Андрей Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Светашков Александр Андреевич	д-р. ф.-м.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Никульчиков Андрей Викторович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк Вера Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Сечин Александр Иванович	д-р.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н.		

Томск – 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа *Инженерная школа природных ресурсов*

Направление подготовки (специальность) *21.04.01 Нефтегазовое дело/Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов*

Уровень образования *Магистр*

Отделение школы (НОЦ) *Отделение нефтегазового дела*

Период выполнения *(осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)*

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
<i>20.03.2021</i>	<i>Выполнение теоретической части работы</i>	<i>40</i>
<i>15.04.2021</i>	<i>Выполнение расчетной части работы</i>	<i>40</i>
<i>15.06.2021</i>	<i>Выполнение расчетной части работы</i>	<i>20</i>

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Светашков Александр Андреевич	д-р. ф.-м.н.		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Никутьчиков Андрей Викторович	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н.		

Планируемые результаты ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i>		
<i>Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»</i>		
Р1	<i>Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики), самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности</i>	<i>УК-1, УК-2, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, (ЕАС-4.2, АБЕТ-3А, АБЕТ-3i).</i>
Р2	<i>Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности</i>	<i>УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-2, ОПК-6,</i>
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
Р3	<i>Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.</i>	<i>УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11</i>
Р4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды</i>	<i>ПК-6, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15</i>
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
Р5	<i>Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, используя принципы менеджмента и управления персоналом и обеспечивая корпоративные интересы.</i>	<i>УК-3, УК-6, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4</i>
Р6	<i>Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять</i>	<i>УК-2, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-4,</i>

	задания в области сертификации нефтегазопромыслового оборудования	Требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н)
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P7	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела.	УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-5
<i>в области проектной деятельности</i>		
P8	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3
<i>Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»</i>		
P9	Планировать и организовывать работу по проведению планово-предупредительных ремонтов установок, технического обслуживания и ремонта оборудования.	ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3ДК4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования".
P10	Планировать внедрение новой техники и передовых технологий, разрабатывать и реализовывать программы модернизации и технического перевооружения предприятия.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования
P11	Организовывать проведение проверок технического состояния и экспертизы промышленной безопасности, проводить оценку эксплуатационной надежности технологического оборудования.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3 ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с Требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа *Инженерная школа природных ресурсов*
 Направление подготовки (специальность) *21.04.01 Нефтегазовое дело/Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов*
 Отделение школы (НОЦ) *Отделение нефтегазового дела*

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ95	Варибрус Андрей Владимирович

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Объектом разработки является система размыва донных отложений, установленная в резервуаре для хранения нефти.</i>
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>1. Литературное исследование проблематики размыва донных отложений в резервуарах для хранения нефти.</p> <p>2. Анализ типовых конструкций; анализ формирования осадка; обзор существующих методов очистки; технологий и устройств; предотвращающих накопление донных отложений.</p> <p>3. Произвести расчет параметров для работы систему размыва, смоделировать гидродинамический процесс работы таких системы.</p> <p>4. Финансовый менеджмент.</p> <p>5. Социальная ответственность.</p> <p>6. Выводы по работе.</p>
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк Вера Борисовна, доцент, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Светашков Александр Андреевич, д-р. ф.-м.н.
«Английский язык»	Утятина Янина Викторовна, ст. преподаватель.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	19.03.2020
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Светашков Александр Андреевич	д-р. ф.-м.н.		
Доцент	Никульчиков Андрей Викторович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ95	Варибрус Андрей Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 152 страницы, 26 рисунков., 15 таблиц, 95 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: резервуар, устройство, донные отложения, хранение, нефть, оборудование, анализ, исследование, Ansys CFX.

Объект исследования: электромеханическое устройство для размыва донных отложений в резервуарах вертикальных стальных.

Предмет исследования – размыв донных отложений в резервуарах хранения нефти.

Цель работы – Анализ существующих методов борьбы с донными отложениями. Моделирование гидродинамических процессов размыва донных отложений в резервуарах вертикальных стальных.

Задачи работы:

- донные отложения в нефтяных резервуарах- современное состояние, предпосылки и методы решения;
- проблема вязкости. Гидродинамические характеристики турбулентного течения отложений. Обоснование программных решений;
- практическая задача-расчет гидродинамической струи в резервуаре нефти

Актуальность работы.

проблемы донных отложений в нефтяных резервуарах продиктована обстоятельствами:

- постоянно растущего мирового потребления нефти и необходимостью решения сложных задач транспортировки и хранения нефти;
- нерешенностью многих задач недопущения и устранения отложений в нефтяных резервуарах;
- негативными последствиями, возникающими от недостаточной проработанности задач недопущения и устранения отложений в нефтяных

резервуарах.

Образование отложений становится причиной непродуктивного использования объема нефтяных емкостей, а также ведет к разрушению донных конструкций под осадком в результате протекания коррозионных процессов, создает сложности при обследовании состояния резервуаров.

Помимо сокращения полезного объема емкостей, при достаточно большом объеме осада возникают проблемы с процессами их эксплуатации, учет нефти в количественном и качественном измерении становится затруднительным, возникают условия для финансовых значимых потерь в работе нефтяных резервуаров и транспортной системы в целом.

Проработанность темы представлена сравнительно небольшим числом работ, преимущественно относящимся к методам устранения отложений, тогда как исследований по вопросам научного обоснования указанных методов ощущается недостаток работ.

Обозначения и сокращения:

РВС – резервуар вертикальный стальной;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ПДВК – предельно допустимая взрывобезопасная концентрация;

Оглавление

Введение	13
1. Обзор литературы.....	14
2. Донные отложения в нефтяных резервуарах – современное состояние, предпосылки и методы решения.	27
2.1 Предпосылки проблемы донных отложений в нефтяных резервуарах.....	28
2.2 Методы управления асфальтосмолопарафиновыми отложениями	34
2.3 Особенности донных отложений в нефтяных резервуарах.....	39
2.4 Методы устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах.....	44
2.5 Постановка цели и задач работы.....	54
3. Методы вычислительной гидродинамики при решении проблемы донных отложений	56
3.1 Донные отложения – обобщенные представления.....	56
3.2 Методы вычислительной гидродинамики – виды и особенности	57
3.2.1 Современный этап развития представлений о турбулентности	57
3.2.2 Методы математического моделирования в задачах турбулентных течений	58
3.2.3 Развитая турбулентность – подходы Белоцерковского О.М. ...	59
3.2.4 Модели мелкомасштабной турбулентности на основе теории А. Н. Колмогорова [47]	60
3.2.5 Двумерная турбулентность [45]	62
3.2.6 Прямое численное моделирование (DNS)	63
3.2.7 Принципы и решения задач в модели динамики больших вихрей (LES) и методов отрывных вихрей (DES)	64
3.2.8 Моделирование отрывных вихрей (DES – Detached Eddy Simulation).....	64

3.2.9 Особенности численных методов для решения задач турбулентного течения сжимаемой и несжимаемой жидкости	65
3.2.10 Типы и особенности сеток	72
3.2.11 Методы параллельного вычисления для задач моделирования турбулентных течений	73
4. Методы вычислительной гидродинамики и программные продукты при решении практических задач размыва донных отложений.....	76
4.1 Предпосылки моделирования и построения алгоритмов расчетных решений размыва донных отложений.....	76
4.2 Методология решения практических задач размыва донных отложений	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	88
5.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	92
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	92
5.2 SWOT-анализ	93
5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	95
5.4 Бюджет научно-технического исследования	102
6. Социальная ответственность	111
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	111
6.2 Производственная безопасности	114
6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов	115
6.4 Экологическая безопасность	123

Введение

В настоящее время в Российской Федерации добыча нефти составляет около 11 млн. баррелей в день. Часть ее транспортируется потребителям по трубопроводам, а другая часть хранится в резервуарах. Во время хранения нефть и нефтепродукты расслаиваются на фракции, тяжелая часть которых осаждается на дне резервуаров.

При хранении нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках наиболее важной задачей является обеспечение их надежной эксплуатации на протяжении всего срока службы. В связи с этим, нужно уделять особое внимание техническому состоянию оборудования, предупреждению появления коррозии. Помимо этого, стоит обратить внимание и на качество нефтепродуктов, ведь оно падает при несвоевременной очистке резервуаров и накоплению большого количества нефтешлама.

Стоит отметить, что очистка резервуаров от донных отложений требует их вывода из эксплуатации что является экономически затратной процедурой. Системы размыва не допускают появления и накопление нефтяного осадка в резервуарах, что позволяет снизить затраты на хранение нефти и нефтепродуктов.

В данной работе поставлены следующие задачи:

- изучение процесса хранения нефти в резервуарах;
- проведение комплексного анализа существующих методов очистки резервуаров и современных технологий для предотвращения накопления, и размыва уже накопившихся отложений;
- моделирование гидродинамического процесса размыва донных отложений в резервуаре вертикальном стальном.

1. Обзор литературы

При написании данной работы были использованы научная и учебно – методическая литература, а также проанализированы современные тенденции развития эксплуатации нефтехранилищ, успехи в области конструирования и внедрения систем размыва донных отложений в резервуарные парки, рассмотрены и проанализированы основные эксплуатируемые технологии по размыву донных отложений в резервуарах хранения нефти.

В ходе литературного обзора сперва было обращено внимание на следующие руководящие документы: РД 153-39.4-078-01; РД 39-30-587-81; РД 39-30498-80. В них изложены основные правила технической эксплуатации резервуаров, написаны инструкции по эксплуатации систем размыва и предупреждения появления парафинистого осадка в резервуарах хранения нефти, описана методика расчета допустимых скоростей нефти в резервуарах получаемых при помощи систем размыва, с учетом образования статического электричества. Исходя из проанализированной информации, были учтены особые технические условия и эксплуатационные параметры работы резервуарного парка. [1,2,3]

Учебное пособие «Резервуары для приёма, хранения и отпуска нефтепродуктов» авторов Безбородов Ю.Н., Шрам В.Г. послужило источником основной информации о резервуарах нефти и их классификации. Помимо этого, пособие рассматривает различные конструкции и варианты сборок вертикальных стальных резервуаров. Пособие также позволило ознакомиться с краткой характеристикой оборудования, применяемого для эксплуатации резервуаров хранения нефти. [4]

В научном труде «The corrosion, cleaning, inspection and repair of storage tanks in crude oil service», авторами которого являются Pepper J.E. и

Clark D.F., описаны проблемы коррозии, очистки резервуаров, контроля качества и ремонта нефтехранилищ. Особое внимание уделяется истории и ошибкам совершенным и в прошлом. В частности, была описана история взрыва двадцатитысячного резервуара, после которой были переосмыслены существующие на тот момент методы проверки качества оборудования и также переосмыслено отношение к техническому обслуживанию резервуаров. [5]

Шлам, получаемый из резервуаров для хранения сырой нефти, является полутвердым отходом. Это сложная эмульсия из многочисленных нефтяных углеводородов, воды и твердых частиц. Нефтяной шлам образуется при транспортировке, хранении, переработке и добыче сырой нефти. Он включает в себя множество ядовитых веществ, ксилол, полициклические ароматические углеводороды, бензол, тяжелые металлы, толуол и этилбензол. Gopang. I.A., Mahar A.S. и другие авторы зарубежной статьи «Characterization of the sludgedeposits in crude oil storage tanks» в своем научном труде исследуют физико–химические характеристики шлама нефтяных и газовых месторождений. [6]

Наряду с исследованиями процесса осадкообразования в резервуарах Г.Э. Лерке и В.П. Свиридовым были изучены состав и свойства донных отложений, которые оказывают значительное влияние на процессы размыва и предотвращения-их накопления.

По своей структуре донные осадки можно разделить на два типа:

- рыхлые;
- уплотненные.

Рыхлые осадки представляют собой осевшие частицы с включениями дисперсной среды. Слежавшиеся осадки в течение длительного времени с плотной структурой, подвергшиеся процессу старения, называются уплотненными отложениями. Одну из работ Нежевенко В.Ф. в 1961 году посвятил вопросу образования парафинистого

осадка в емкости малого объема в условиях нефтепромысла. Основная цель данной работы заключалась в определении скорости образования осадка и составлении рекомендаций о возможности отстоя нефти от взвешенного парафина. Процесс отстоя нефти малых плотностей и вязкости исследовали в течение 5 суток, при температурах нефти от 15,3 до 10,7 °С и окружающего воздуха от 8,2 до минус 2,1 °С. В результате чего было установлено, что снижение температуры в резервуаре происходит крайне медленно и для достижения температурного равновесия между нефтью и окружающим воздухом требуется значительный срок даже при том условии, если температура окружающей среды была бы постоянной. Выделившиеся в результате охлаждения нефти кристаллы парафина оседают с очень небольшой скоростью. Осевшие кристаллы прочно удерживаются в осадке, не переходя в жидкое состояние даже при последующем длительном пребывании нефти в более высокой температуре, сравнительно с первоначальной. Отстой нефти практически не сказывается на общем содержании парафина в ней, поэтому отстой с целью предотвращения выпадения парафина при транспортировке не имеет никакого смысла [7].

Наиболее широко вопросы образования отложений в нефтяных резервуарах в 1967 г. отразили в своей работе Сковородников Ю.А. и Едигаров С.Г., рассмотревшие их применительно к резервуарам объемом до 5000 м³ [8]. В емкостях малых объемов интенсивное накопление осадка происходит в первые два месяца, затем темп роста осадка замедляется и прекращается после заполнения «мертвой зоны», зоны в которой не сказываются влияния поступающей струи из приемно-раздаточных патрубков. Следующий этап – это динамическое равновесие осадка в нефтяном резервуаре.

Перед нефтесбытовой системой, которая является завершающим этапом нефтяной промышленности, и которая обеспечивает связь производства с потреблением, в области хранения нефти и нефтепродуктов

встали новые задачи. Некоторые из них пытаются проанализировать автор книги «Хранение нефти и нефтепродуктов», Оленев Н.М. В ней, он изложил основные вопросы по хранению нефти и нефтепродуктов, помимо того, автор рассмотрел различные подогревательные устройства, упрощающие борьбу с нефтяным осадком в резервуарах.

Для более глубокого анализа существующих конструкций подогревателей резервуаров хранения нефти служила работа «Подогрев и вероятная температура нефтепродуктов в резервуарах при хранении» размещенная в журнале «молодой учёный» под авторством Тульской С.Г., Чуйкина С.В. и Путрова С.А. [9]

В пособии «Реология нефти и нефтепродуктов» под авторством Рогачева М.К. и Кондрашевой Н.К., посвящённом особенностям реологических свойств нефти, обратных водонефтяных эмульсий и компаундированным нефтепродуктам, рассмотрены основы реологии. Приводятся сведения о составе и основных структурообразующих компонентах нефти и компаундированных нефтепродуктах. [10]

Ответы на вопросы, касающиеся природоохранных мероприятий, были найдены в монографии «Защита окружающей среды при добыче, транспорте и хранении нефти и газа» под редакцией авторов Кесельман Г.С. и Махмудбеков Э.А. В частности, в работе отведено внимание особенностям нефтяного производства, обуславливающего экологические, экономические и социальные последствия загрязнения окружающей среды. Также описаны способы борьбы с загрязнением внутренних и грунтовых водоемов, атмосферы и литосферы. Изложены методы определения экономических потерь от загрязнения. [11]

В стандарте «Инструкция по зачистке резервуаров от остатков нефтепродуктов», согласованным управлением по надзору в нефтяной и газовой промышленности Госгортехнадзора России от 14.01.2004г., содержится информация по организации работ при зачистке резервуаров от

осадка, перечислены основные технические средства для зачистки, описан технологический процесс, контроль качества, а также требования пожарной безопасности и требования по охране труда и охране окружающей среды. Во всей добываемой нефти, в процессе её хранения, происходит накопление донных отложений. Образование этих отложений в резервуарах с нефтью приводит к снижению полезного объема емкости, к затруднению проведения обследований состояния днища резервуара, и, что не менее важно, к ускорению коррозионных разрушений. Для эффективной борьбы с отложениями необходимо выяснить сущность явления, а также установить основные закономерности данного процесса. Далее последует литература, помогающая разобраться во многих аспектах описанных выше явлений и закономерностей.

В 1964 г. появилась публикация Джабарова С.Г. о разработке ВНИИТБ гидромеханического способа очистки резервуаров от донных осадков, который исключает необходимость пребывания рабочих внутри емкости. При этом способе осадок размывается и разжижается гидромонитором, а пульпа выносится гидроэлеватором. [12]

Хаммер Я. в 1997 году предложил следующую схему очистки резервуара. Струя разжижающего агента подается на поверхность емкости через размывающее устройство, затем образовавшуюся смесь размываемых отложений откачивают и после переработки размывающий агент вновь возвращается в цикл. [13]

Предложенный метод основан на использовании нефтепродукта, хранящегося в емкости в качестве разжижающего агента, который разбрызгивается на внутреннюю поверхность емкости сверху. Размываемый осадок откачивается из резервуара, очищается, затем проходит через камеру нагрева и подается на вращающееся размывающее устройство. Для зачистки резервуара объемом 50000-80000 м требуется от 24 до 48 часов.

Также было обращено внимание к более современному источнику, а

именно «Обзор современных методов очистки резервуаров от нефтяных остатков» из журнала молодой ученый под авторством Чуриковой Л.А., Конашевой К.А. и Утегалиева А.Т., в которой авторы анализируют существующие на данный момент современные способы и методы избавления резервуаров от донного нефтяного осадка. Описывают достоинства и недостатки различных методов. В результате проведения их работы, был предложен наиболее эффективный метод по борьбе с осадками, образующимися в процессе эксплуатации вертикальных стальных резервуаров. [14]

Для анализа эффективности очистки резервуаров от донных отложений при отрицательных температурах окружающей среды, был рассмотрен патент «способ очистки резервуаров, предназначенных для хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов при отрицательных температурах окружающей среды». Несмотря на эффективность, предложенного устройства, анализ патента позволил отметить существующие недостатки метода очистки резервуаров от донных отложений, в сравнении с методом размыва осадка в них. [15]

Крайсек Р. и Крайдер Р., пытаясь облегчить очистку нефтяных резервуаров, в 1989 году изобрели робота, который с помощью дистанционного управления размывал нефтяной осадок водой. Робот с гидравлическим приводом в разобранном состоянии доставляется в резервуар через люк-лаз с помощью специально смонтированной конструкции. Внутри резервуара его собирают для работы. А управление роботом осуществляется с помощью пульта управления. [16]

Робот, перемещаясь на раме по днищу резервуара, очищает его от отложений. Гидравлическая система позволяет оператору с помощью пульта управления перемещать робота по днищу резервуара, а также изменять направление струи создаваемой размывающим устройством. Струя воды размывает осадок, который откачивается из резервуара. Всем процессом

управляет один человек, который может длительное время находиться в резервуаре, т.к. управление роботом не требует больших физических усилий.

Одним из зарубежных источников литературы, стала научная работа, носящая название «Chemical Treatment vs. Mechanical Operations in Tank Cleaning: Who Won?», под авторством Shaheen S.E., Ibrahim H.M., Raoul P.G. В заглавие работы сравниваются два основных метода очистки резервуаров от нефтяного осадка, химический метод против механического. В ходе исследования, авторы приводят плюсы и минусы обоих методов, но не смотря на все выявленные достоинства существующих технологий очистки, делается следующий вывод. И химический, и механический типы очистки проигрывают, так как все достоинства рассеиваются если начать сравнивать их с различными методами размыва, позволяющими извлекать выгоду из восстановленного объема нефти, и исключать вредное воздействие нефтешлама на экологию. [17]

В научной работе «On-Line Method for Reducing Sludge Volume in Crude Oil Storage Tanks», под авторством Kremer L. и Nguyen J. также представлены минусы метода очистки резервуара от донных отложений. Стоит отметить, что в работе приводятся не только недостатки, касающиеся ресурсоэффективности и долговечности резервуаров, но и негативное влияние нефтяного осадка на человека при контакте с ним. Как результат, было предложено два альтернатив метода. Один из них предполагает откачку части нефтяной среды из резервуара и компаундирование оставшегося количества нефти, путем добавления различных растворителей. Второй метод предполагает не допускать появление большого количества осадка, путем размыва донных отложений, в процессе эксплуатации резервуара. [18]

Далее, была рассмотрена литература посвященная, системам и установкам размыва донных отложений. Здесь также описываются

процессы механической очистки резервуаров, приводятся недостатки методов и разбираются альтернативные способы борьбы с осадком в резервуарах, которые заключаются в предупреждении появления этого осадка. Такие системы обладают рядом преимуществ по сравнению с методами механической очистки резервуаров от нефтяного осадка.

В ходе работы был рассмотрен патент «Устройство для повышения эксплуатационных свойств вертикальных стальных резервуаров», владельцем которого является "Тюменский государственный нефтегазовый университет" (ТюмГНГУ). Данное устройство представляет собой общий коллектор в виде незамкнутого криволинейного трубопровода, расположенного на днище резервуара вдоль его стенки, снабженный восемью напорными патрубками. [19]

В статье «Исследование процесса струйного размыва донных отложений в нефтяных резервуарах», авторами которой являются Бутов В.Г., Никульчиков А.В., Никульчиков В.К., Солоненко В.А., Ящук А.А., при различных параметрах нефти и её температуре, производится расчёт гидродинамических характеристик создаваемой затопленной струи в заданном резервуаре; определяются реологические параметры нефти, при которых возможно размывание донных отложений в при заданных параметрах.

На рисунке 1 представлены результаты определения области размыва при различных температурах и соответствующих вязкостях для нефти. Произведено конструирование винтового устройства размыва донных отложений в резервуаре, проанализировано влияние основных конструктивных и режимных характеристик устройства винта на параметры турбулентной струи, смоделирован процесс гидродинамического течения нефти создаваемом в замкнутом резервуаре. По результатам исследований и моделирования процесса размыва донных отложений в резервуарах, авторы делают следующие выводы. При температурах нефти выше 20 °С и соответствующему диапазону вязкости, возможно формирование потока,

размывающего осадок скопившийся на дне резервуара. При этом поток жидкости будет иметь скорость 0,5 м/с, расстояние размыва при таких параметрах будет достигать 60,7 м. Но при температуре нефти ниже 15 °С размыва донных отложений достичь не удастся, из этого следует, что в подобном случае будет необходимо внедрять системы подогрева, позволяющие повысить температуру нефти внутри резервуара. [20]

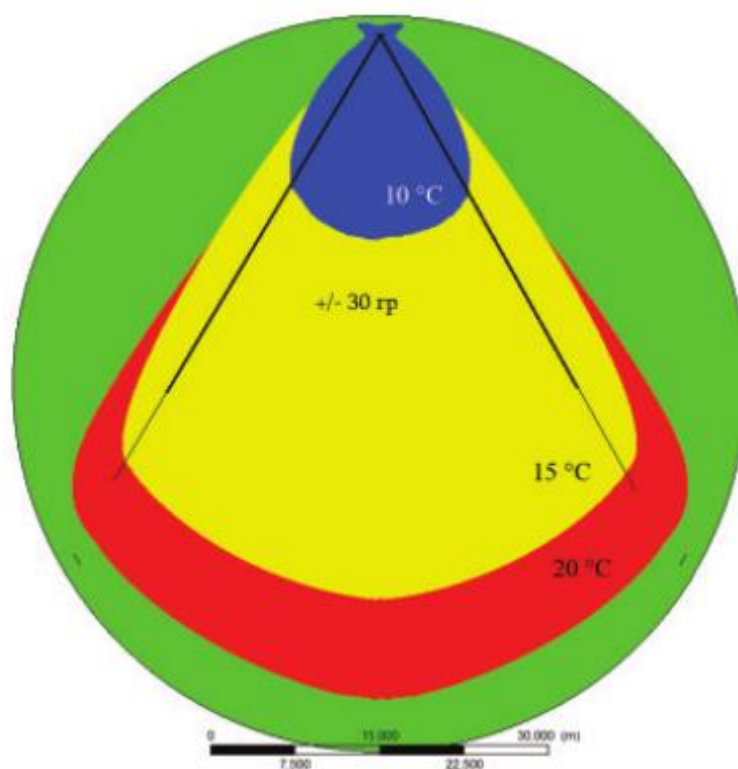


Рисунок 1 – Область размыва в зависимости от температуры (при 10, 15 и 20 °С)

Возвращаясь к руководящему документу РД 39-30-587-81, помимо общих инструкций по размыву парафинистого осадка, документ имеет описание системы, состоящей из кольцевых веерных сопел, погружаемых на дно резервуара. Несмотря на простоту конструкции, такая система обладает рядом недостатков, например, засорение подвижных частей сопел, и как результат, снижение показателя эффективности размыва осадка. [2]

Жидкости (в широком смысле слова) отличаются от твердых тел легкой подвижностью частиц. В то время, как для изменения формы

твёрдого тела к нему нужно приложить конечные, иногда очень большие силы, изменение формы жидкости может происходить под действием даже самых малых сил, если только они действуют достаточно долгое время. Так, под действием собственного веса жидкость течет, если для этого представляется возможность. В книге «Гидравлика и аэродинамика» рассмотрены основные вопросы механики жидкости. В ней Альтшуль А.Д. описывает физические свойства жидкостей, общие законы движения жидкостей, гидравлические сопротивления, движение жидкости по трубам и истечение их из отверстий, моделирование гидроаэродинамических явлений. [21]

Описание следующего устройства размыва можно найти в научной работе «Анализ устройств для предотвращения и размыва донных осадков в нефтяных резервуарах» под авторством Кононова О.В, Галиакбарова В.Ф. и Коробкова Г.Е. Система носит название «Струйный гидравлический смеситель» (рисунок – 2), и работает за счёт создаваемого направленного потока жидкости, который размывает донные отложения. Результатом научной работы стал сравнительный анализ энергетических затрат проведенного для струйного гидравлического смесителя и электромеханических мешалок в резервуаре объемом 5000 м³. [22]

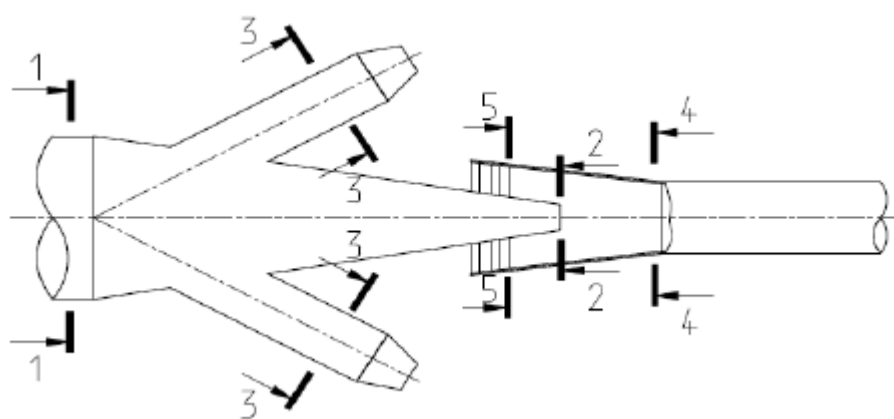


Рисунок 2 – Схема струйного гидравлического смесителя:
1 – подводящий патрубок; 2 – сопло центральное; 3 – сопла боковые; 4 – вход в камеру смешения; 5 – конфузур

В диссертации «Развитие технологий и технических средств для борьбы с отложениями в нефтяных емкостях» Кононов О.В. проводит анализ причин образования и накопления отложений в нефтяных емкостях; проводит всеобъемлющий анализ существующих устройств для борьбы с накоплением донных отложений и анализ технологий удаления уже выпавшего осадка.

Достоинством работы можно назвать то, что проводился анализ не только отечественного рынка, но и зарубежного. Автором были приведены достоинства и недостатки обзореваемых технических устройств.

Данный научный труд внёс большой вклад в направление работы над магистерской диссертацией. Исследования, в которых приводилась зависимость скорости потока от дальности его действия для струйных гидравлических систем и электромеханических мешалок (Рисунок 3), позволили сделать вывод о условиях размещения рассматриваемых технических устройств, при которых мы сможем добиться максимальной производительности, ресурсоэффективности и экономической выгоды. [23]

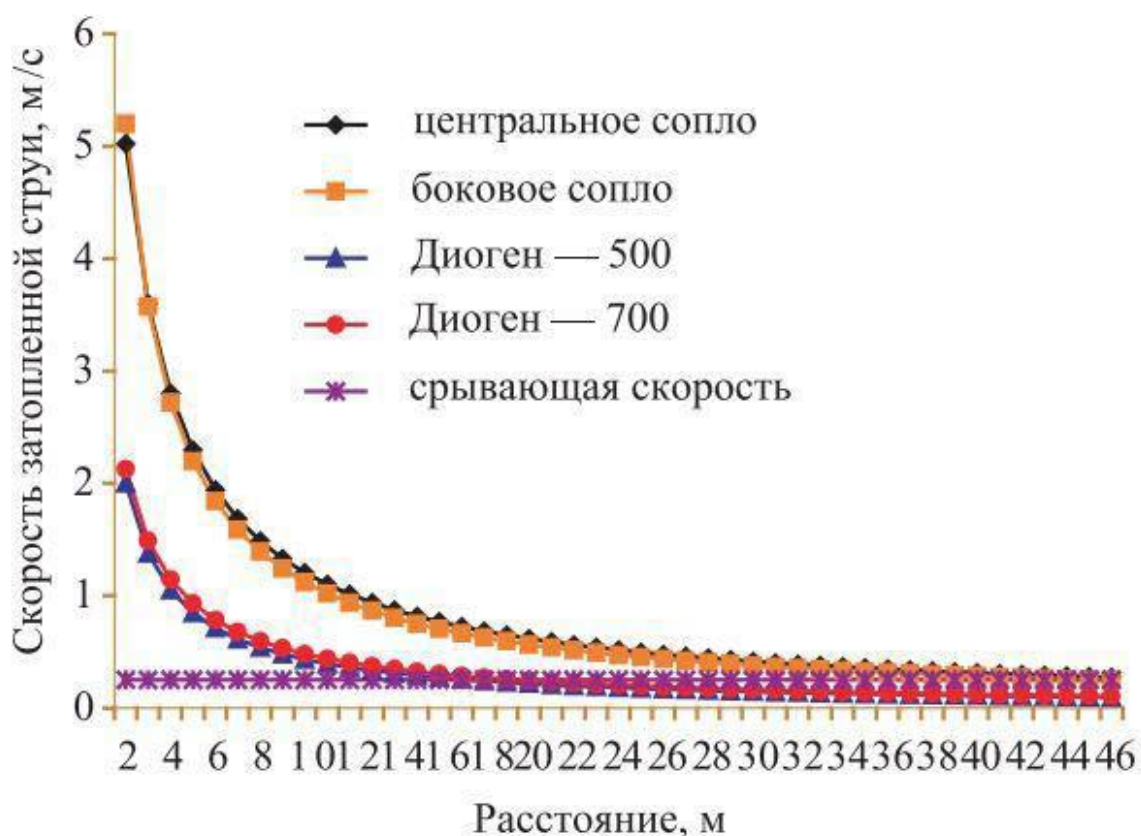


Рисунок 3 – График зависимости скорости струи для смесителя СГС и электромеханических мешалок «Диоген».

При написании статьи «Особенности совместной работы резервуара и устройств размыва донных отложений винтового типа», авторы Чепур П.В и Тарасенко А.А. рассматривают внедрение технических устройств в резервуары хранения нефти для размыва нефтешлама. Для расчетов, авторами были рассмотрены отечественные установки, среди которых «Диоген-500», «Диоген-700», «Тайфун-24». Для проведения расчетов, с помощью пакета ANSYS, были построены модели установок размыва и модель резервуара вертикального стального, объем которого составляет 20000 м³. Для созданных моделей были рассмотрены наиболее неблагоприятные режимы работы, негативно влияющие на общее напряженно деформированное состояние стенки (максимальная реактивная сила вала, максимальная высота налива нефти). В качестве результата

исследования были представлены результаты расчетов для каждого из рассмотренных вариантов. Для установки типа «Диоген-700», помимо представленного результата численного эксперимента, приводятся результаты, полученные в работе. Работа позволяет сделать вывод о важности подбора оптимальных параметров эксплуатации систем размыва донных отложений. Так же при установке винтовых систем размыва, следует прибегать к усилению стенок нижнего пояса резервуара ведь это место подвергается самым высоким величинам напряжения. [24]

Основные законы, используемые в механике жидкости, — те же, что и в механике твердых тел. Однако применение этих законов к задачам механики жидкости отличается некоторыми особенностями благодаря наличию разницы между свойствами жидкостей и твердых тел. Поэтому изучение механики жидкости целесообразно начать с определения и оценки основных свойств жидкостей.

2. Донные отложения в нефтяных резервуарах – современное состояние, предпосылки и методы решения.

Для современного периода развития нефтяной промышленности характерно осложнение условий разработки нефтяных месторождений, что связано с ухудшением структуры запасов и увеличением доли трудно извлекаемых запасов.

Такое положение – результат двух процессов: вступления большого числа высокопродуктивных залежей и месторождений в позднюю стадию разработки, (с резким снижением добычи нефти и ростом обводнённости), и неблагоприятными качественными характеристиками запасов нефти в залежах, вновь вводимых в разработку.

Современные проблемы эксплуатации нефтепромысловых систем с осложненными условиями добычи имеют многофакторную природу, и включают вопросы:

- систематизации и классификации факторов затруднения добычи;
- анализа, исследования и разработки научно-технических и научно-методических решений повышения эффективности нефтедобычи;
- ресурсосбережения, разработки экологических моделей и др.

Осложненные условия добычи – группы факторов различной природы, промыслово – геологических особенностей залежи, физико–химические свойства нефти, эксплуатационные и др., способные оказывать отрицательное влияние на эксплуатационные характеристики нефтедобычи.

В число принципиальных факторов, осложняющих добычу, входят:

- трудно извлекаемые запасы;
- солеотложение;
- нефти с аномальными свойствами;
- тяжелые нефти;
- высокие концентрации абразивных частиц;
- большое содержание свободного газа и др.

Приведенные виды факторов не имеют четко обозначенных границ и на

практике может иметь место сочетание нескольких факторов.

2.1 Предпосылки проблемы донных отложений в нефтяных резервуарах

Разделение нефти на фракции и образование отложений сопровождается нефтедобычу, транспортировку и хранение нефти на протяжении всей истории.

Проблема донных отложений в нефтяных резервуарах будет предметом рассмотрения несколько позднее, но, как будет показано, эта проблема достаточно сложна по ряду причин, в частности, из-за масштабного фактора.

В связи с этим представляется целесообразным в предварительном порядке изучить близкие по содержанию вопросы отложений в тяжелой нефти.

Эти вопросы достаточно хорошо отработаны в отношении таких позиций как экспериментально установленные факторы отложений, методы предупреждения отложений и ряда иных вопросов.

Также представляет интерес теоретические положения, касающиеся природы и механизмов возникновения отложений как оснований для выработки способов управления отложениями.

В качестве примера тяжелой нефти с характерными признаками отложений может служить парафинистая нефть.

Проблема отложений при транспортировке и хранении нефти обусловлена многокомпонентным составом нефти, в которой присутствуют составляющие с различными характеристиками осаждения.

Так, при добыче парафинистой нефти значительной проблемой, вызывающей осложнения в работе скважин, нефтепромыслового оборудования и трубопроводных систем, становится образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), появление которых приводит к заметной потере производительности системы и качественных показателей работы насосных установок [25].

Значимость проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений связана с тем, что эти отложения различаются по составу, и могут быть описаны как сложные системы, содержащие такие компоненты как нефть, вода, неорганические соединения и механические примеси, при этом соотношение компонентов может меняться в широких пределах.

Высокомолекулярные парафиновые углеводороды, присутствующие в составе асфальтосмолопарафиновых отложений, характеризуются высокой температурой застывания, имеют склонность к формированию высоковязких отложений при нормальных условиях, иногда переходя в твердое состояние [26].

Существенно, что парафины в нефти в пластовых условиях находятся в растворенном состоянии, и их выделение имеет место уже при изменении физических условий: температуры, давления и др.

Образование отложений означает, что нефть перестает быть гомогенной средой и переходит в гетерогенное состояние.

При этом условие перехода нефти в многофазную систему оказывается определяющим фактором для понимания закономерностей отложения как сложного физико-химического процесса.

В этой связи интерес вызывает обсуждение вопросов природы и механизмов образования отложений.

На первом этапе можно рассмотреть данные по зависимости отложений от различных параметров и характеристик.

В монографии [25] приведены данные по факторам, влияющим на парафиноотложение:

- снижение давления в области забоя и связанное с этим нарушение гидродинамического равновесия газожидкофазной среды;
- изменение скорости движения газожидкофазной среды;
- интенсивное газовыделение;
- снижение температуры в стволе скважины;
- состав углеводородов в каждой фазе смеси;

- соотношение объёмов фаз.

Из перечисленных факторов особое сильное влияние на образование парафинов оказывают давление и температура, а также разгазирование нефти.

На рис.1 представлена зависимость интенсивности I асфальтосмолопарафиновых отложения от скорости движения нефти и вида поверхности.

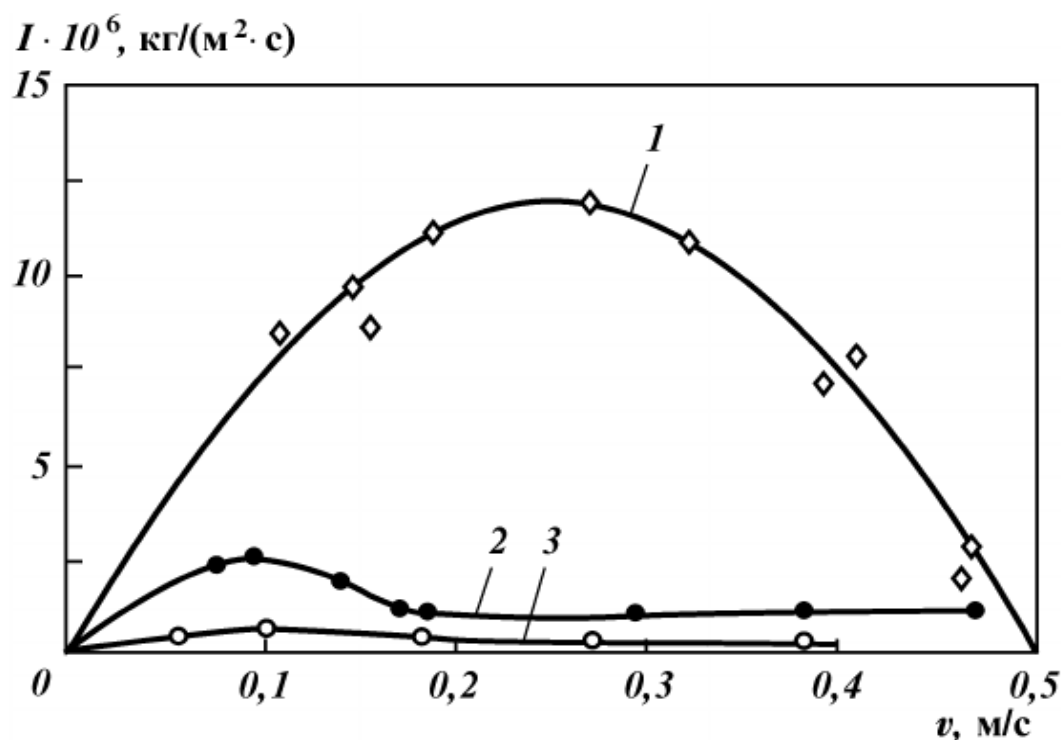


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности I асфальтосмолопарафиновых отложения от скорости движения нефти и вида поверхности: 1- сталь; 2- эпоксидная смола 3-стекло.

Как следует из рис.1, отмечается сильная зависимость интенсивности отложений от вида поверхности, наиболее высокая мощность отложений зафиксирована на стали.

Также значимая зависимость интенсивности отложений от скорости потока, когда на начальных скоростях отмечается линейная зависимость интенсивности от скорости, что связывают с нарастанием турбулентности.

Постепенно прирост интенсивности по мере роста скорости начинает падать и выходить на локальный максимум, после которого начинается

плавное снижение интенсивности с постепенным ускорением падения. При скорости 0,5 м/с отложения не происходит по причине срыва осадка быстрым потоком.

В точке локального экстремума имеет место равновесное состояние, когда скорость процессов формирования осадка отвечает скорости распада формирующегося осадка.

Также интерес представляет зависимость интенсивности отложения от шероховатости поверхности, рис.2.

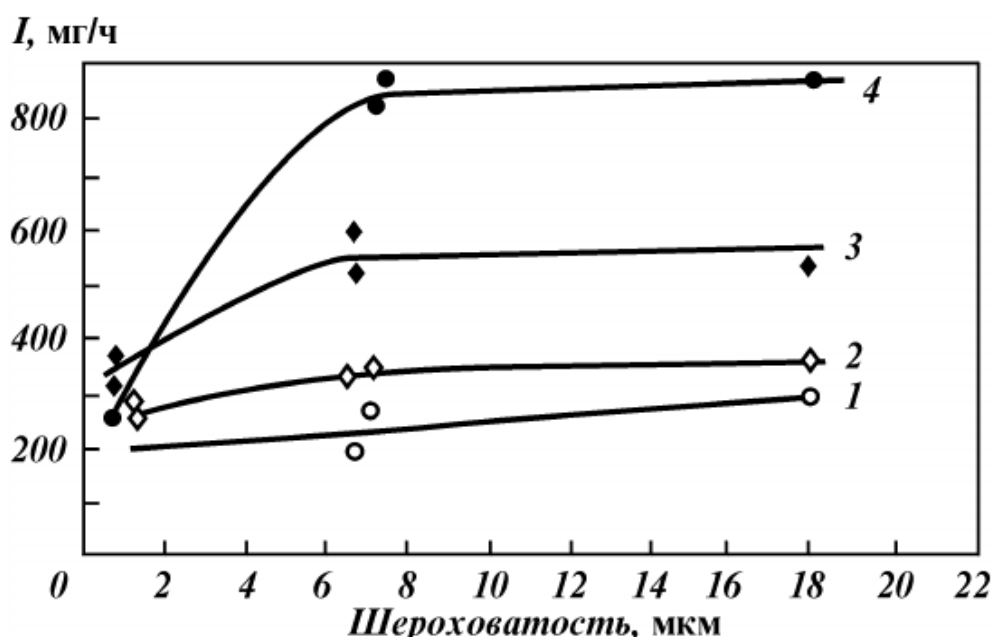


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности отложения от шероховатости поверхности при различных дебитах скважины, т/сут:1-23;2-43;3-61;4-76

Выступы на поверхности замедляют скорость и инициируют осаждение.

Кроме указанных факторов, на процесс отложения оказывают физико-химический состав нефти, а также ряд иных факторов.

Таким образом, на основании представленных данных по факторам асфальтосмолопарафиновых отложений можно отметить, что отложения характеризуются как сложное многофакторное проявление, природа которого еще недостаточно исследована.

В диссертационном исследовании [26,27] приведены данные по природе и механизмам образования отложений.

Отмечено, что осуществление контрольных процедур образования асфальтосмолопарафиновых отложений – сложная инженерная проблема, что обусловлено чрезвычайно сложностью формирования осадений.

При описании процессов отложений необходимо принять во внимание такие факторы как физические и химические воздействия, конденсация механически взвешенных частиц, сборка и осаждение дисперсных компонентов, насыщение молекулярно-растворенных компонентов и формирование кристаллических фаз, адсорбция компонентов системы и т.д.

К указанным факторам необходимо добавить ранее приведенные факторы по данным источника [25].

В результате образуется многоуровневое пространство факторов отложений АСПО.

Разнообразие физических, химических и физико-химических процессов объясняется количеством факторов, влияющих на процесс формирования АСПО.

Наличие в нефти частиц песка, глины и других механических примесей в нефти облегчает формирование АСПО, при этом инородные примеси могут выполнять функцию центров зарождения парафинового осадка.

Существенно, что характер отложений может быть различным даже у нефти одного месторождения при одинаковых условиях.

При этом различию могут быть предопределены содержанием асфальтенов, смол и твердых углеводородов. Существенная особенность процесса осаждения состоит в неравномерном распределении парафина в массе отложений по всему поперечному сечению слоя.

Максимальное количество парафина принадлежит слою, непосредственно примыкающего к стене, что может быть связано с тем, что в процессе приращения осадка во внутренних слоях парафины проходят стадию структуризации с понижением пористости и ростом плотности.

Прямая связь между содержанием парафина и интенсивностью его отложений не прослеживается, что по-видимому вызвано тем, что

особенности образования осадка парафинов в основном зависят не только от абсолютного количества твердых углеводородов, но и от их состава- содержание углеводородов с разветвленными структурами.

В реальности отложения могут быть описаны как многокомпонентная смесь из АСПО, стабилизированных водных глобул, механических примесей и минеральных солей.

При этом основной материал конденсата представлен парафином, но смолы и асфальтены действуют как цементирующее вещество.

Механизм парафинообразования представляет собой совокупность процессов различного уровня, приводящих к постепенному приращению твердой органической фазы на поверхности оборудования.

Преимущественно понятие парафины относится ко всей углеводородной части отложений.

В итоге вышесказанного сделаны предположения о механизме образования отложений парафинов на оборудовании скважин с выделением осадочно-объемной и кристаллизующейся модели.

В первом случае принимается, что в объеме движущейся нефти формируются кристаллы парафина, которые постепенно конденсируются на поверхности металла и прикрепляются к нему, формируя слой осадка из органических отложений.

По второй модели механизма кристаллы парафина образуются непосредственно на поверхности металла и постепенно превращаются в комплексы.

Согласно смешанному механизму имеет место сочетание особенностей первых двух.

При этом состояние поверхности и ее структура существенно влияют на процесс формирования парафиновых отложений.

Для формирования парафиновых осадков необходимо выполнение условий:

- присутствие в нефти высокомолекулярных углеводородных

соединений, преимущественно парафинов;

- понижение давления в пласте до уровня насыщения;
- понижение температуры потока до величин, при которых имеет место конденсация твердой фазы;
- присутствие слоя с пониженной температурой, на который осуществляется высадка высокомолекулярных углеводородов на поверхность с прочной адгезией к поверхности, не допускающей возможности отторжения отложений гидродинамическим воздействием потока жидкой газовой смеси или нефти с заданным технологическим режимом.

Можно отметить, что вопросы механизмов возникновения отложений все еще остаются не вполне проясненными с точки зрения природы осаждения парафинов на поверхности.

Если имеет место термодинамически предопределенный фазовый распад гомогенной системы с образованием новой фазы с более высокой плотностью по сравнению с материнской основой, то тогда осаждение имеет седиментационный характер и этот процесс может быть описан методами физической и коллоидной химии [27,28].

Если же контролирующий механизм отложения связан с взаимодействием компонентов нефти с подложкой, то в этом случае необходимо рассматривать межфазные взаимодействия на границе раздела активные компоненты нефти- подложка.

Неопределенность с механизмом отложения создает определенные сложности с обоснованием методов управления отложениями.

2.2 Методы управления асфальтосмолопарафиновыми отложениями

К настоящему времени разработано и практически используется большое число методов управления с асфальтосмолопарафиновыми отложениями, рис.3 [26,29-31].

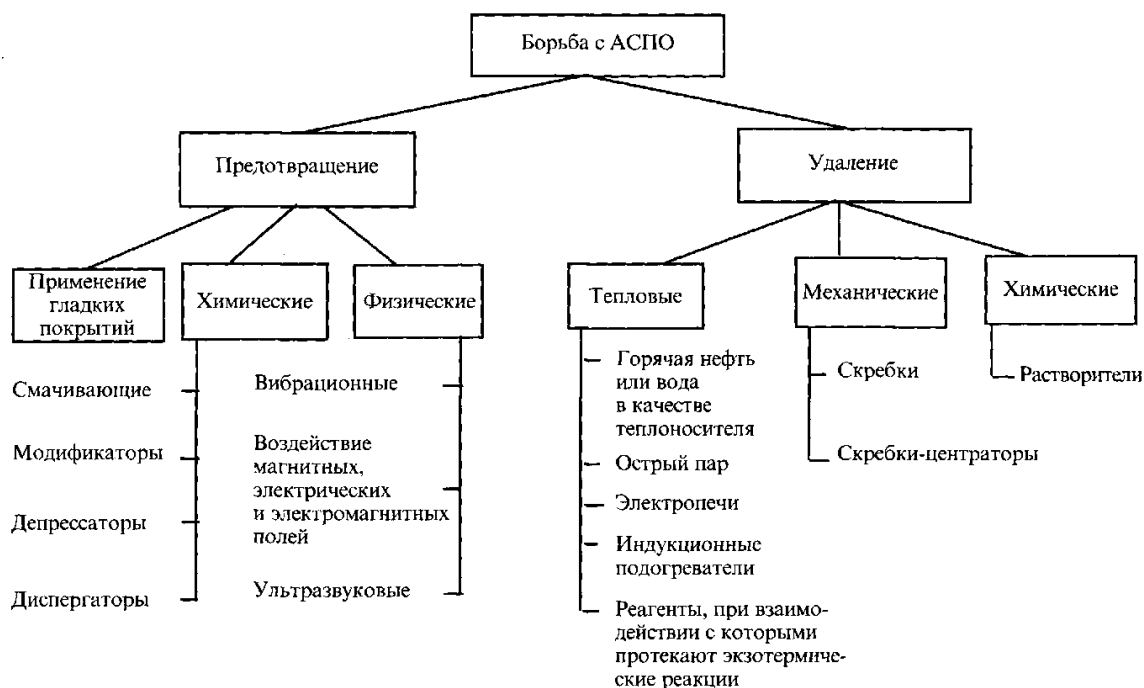


Рисунок 3 – Структура методов управления с асфальтосмолопарафиновыми отложениями

С позиции времени осуществления методов управления отложениями вся совокупность методов делится на предупредительные и устраняемые. Предупредительные методы имеют целью недопущение возникновения органического осадка, тогда как устраняемые методы представляют собой технические решения по удалению уже имеющегося осадка [29-31].

Методы устранения асфальтосмолопарафиновых отложений.

Механические методы удаления органических отложений основаны на устранении оформившихся отложений на поверхности труб специальными устройствами (скребками) во всём протяжении отложений.

Физические методы воздействия на нефть (магнитные, электромагнитные поля и иные методы) имеют целью воздействие на нефть, направленное на разрушение ассоциатов микрообразований нефти, отвечающих составу парафиновых углеводородов.

С помощью физических обработок решается задача улучшения свойств нефти при низких температурах.

Химические методы устранения асфальтосмолопарафиновых отложений.

При воздействии на асфальтены органическими растворителями, в частности, простыми и сложными эфирами, кетоны и карбоновые кислоты, отмечаются эффекты растворения асфальтенов в зависимости от потенциала ионизации растворителя, рис.4.

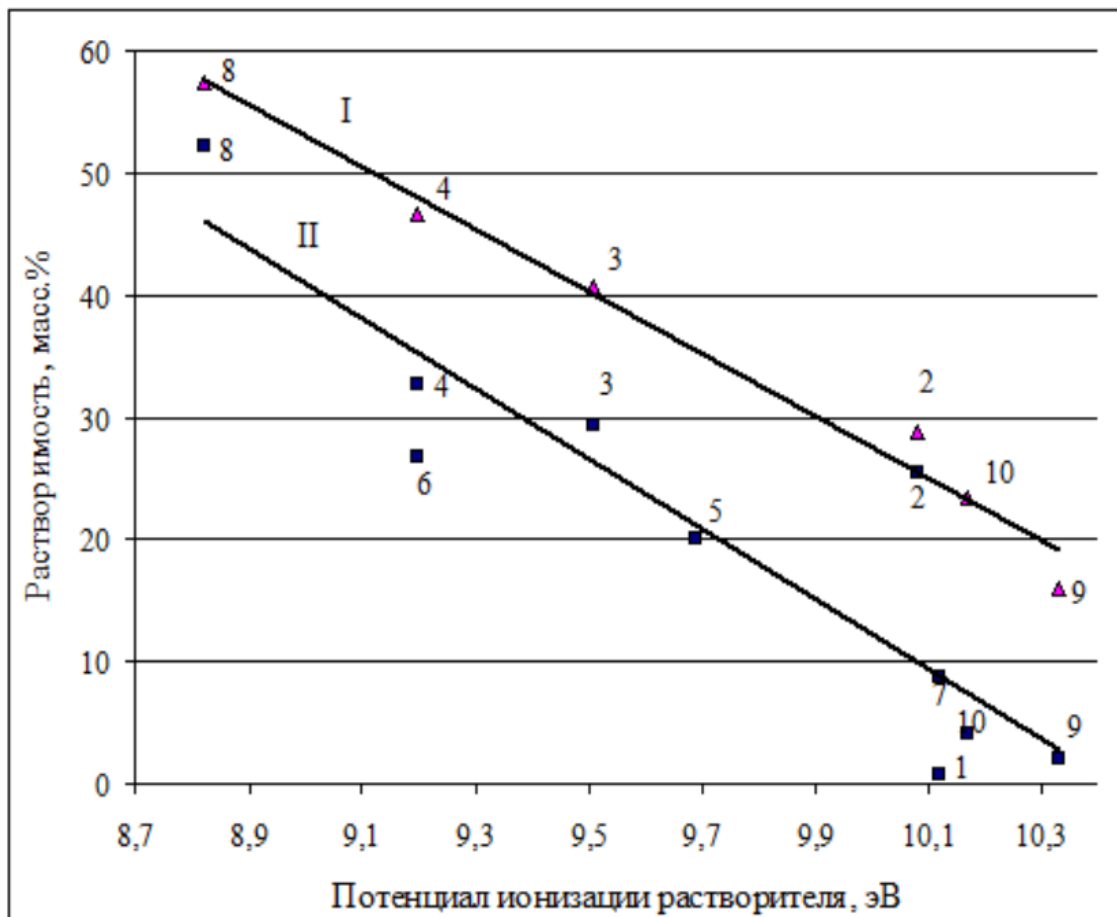


Рисунок 4- Функциональная зависимость растворимости асфальтенов от потенциала ионизации растворителей: 1 – спирт изопропиловый; 2- этилацетат; 3- метилэтилкетон; 4 – эфир диизопропиловый; 5 – ацетон; 6 – эфир этиловый; 7 - 2-метилпентан; 8 – н-октен-1; 9 – н-пентен; 10 – н-гексан

Аналитическая запись зависимости имеет вид:

$$C_S = A_1 \exp(-BJ_S), \quad (1.1)$$

где J_S - ионизации потенциал, эВ;

C_S –растворимости степень, % масс.;

A_1 и B – коэффициенты, значение которых определяются происхождением асфальтенов и температурой реакции растворения.

Следует отметить, что химические методы в силу практически неограниченного выбора химических реагентов и их композиций обладают значительным потенциалом в решении обсуждаемой проблемы методов управления отложениями.

Так, в исследовании [31] показано, что эффективным средством для удаления отложений парафинового типа во внутрискважинном оборудовании является композиция неионогенного ПАВ, представляющего собой смесь эмульгатора Ялан Э-2 и поливинилацетата с молекулярной массой 500-100000 или полиалкилакрилата.

На рис.5 приведена структура методов предупреждения асфальтосмолопарафиновых отложений.

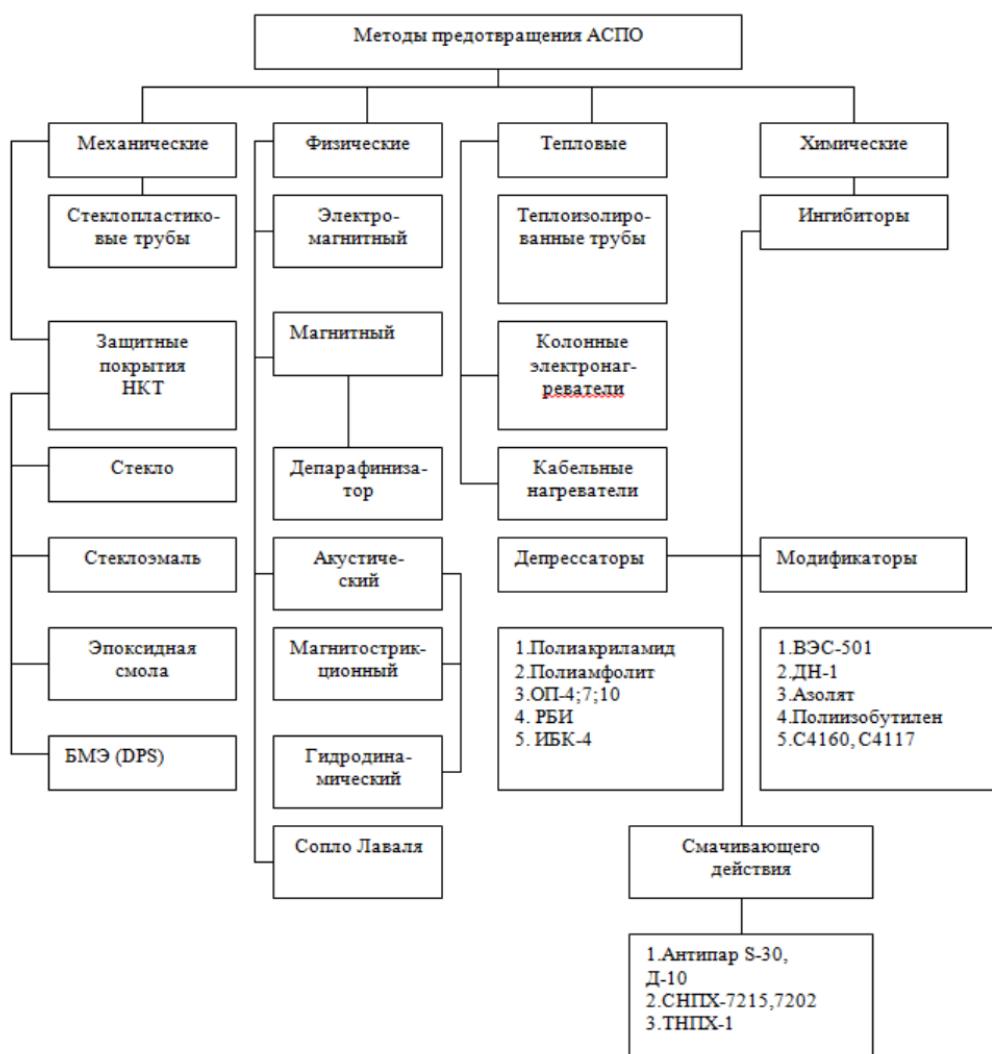


Рисунок 5 – Структура методов предупреждения асфальтосмолопарафиновых отложений

К числу механических методов отнесены, в частности, такие решения как снижение шероховатости и нанесение покрытий из эмали, стекла, стеклоэмали. Эти решения согласуются с ранее выполненными обсуждениями зависимостями интенсивности асфальтосмолопарафиновых отложения от скорости движения нефти и вида поверхности (рис.1) и зависимости интенсивности отложения от шероховатости поверхности (рис.2).

Значительную роль в обосновании упомянутых выше механических методов играют физико-химические факторы, определяющие взаимодействие оседающих компонентов нефти с поверхностью подложки.

На рис.6 приведены методы предупреждения и устранения асфальтосмолопарафиновых отложений различных типов.

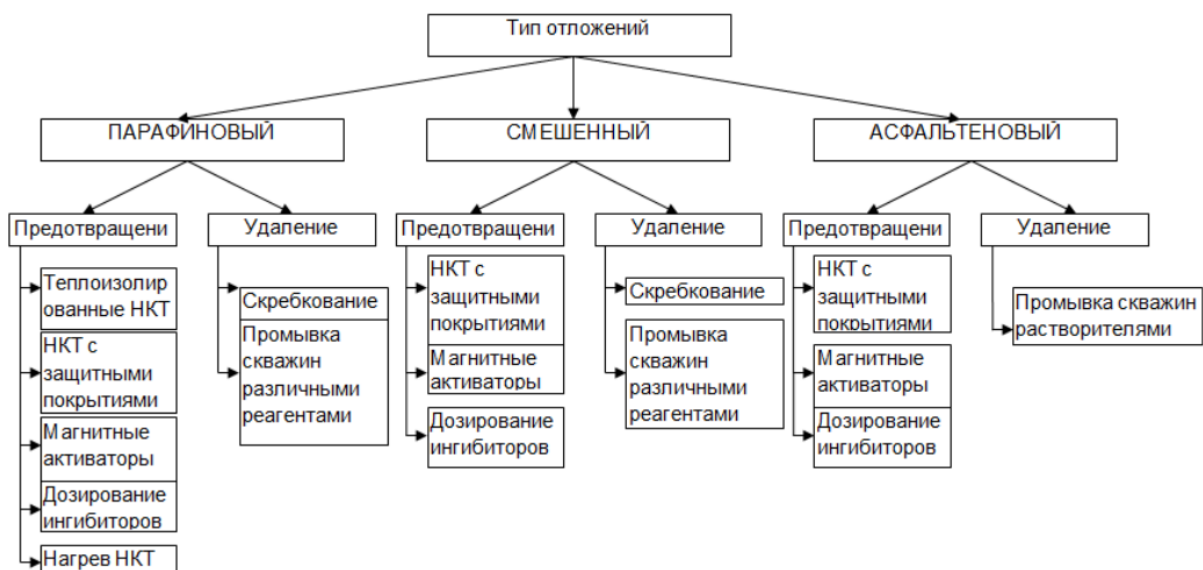


Рисунок 6 – Способы предупреждения и устранения
асфальтосмолопарафиновых отложений различных типов

Как видно из рис.6, в отношении осадков различной природы находят применение индивидуальные решения по каждому типу осадка.

На основании анализа представленных выше данных по методам управления асфальтосмолопарафиновыми отложениями можно сделать **ВЫВОДЫ:**

- методы управления отложениями делится на предупредительные и устраняемые. Предупредительные методы имеют целью недопущение возникновения органического осадка, тогда как устраняемые методы представляют собой технические решения по удалению уже имеющегося осадка;

- разработано значительное число методов управления отложениями-механические, физические, химические, тепловые- показавшие свою пригодность для решения задач назначения;

- в то же время при наличии широкого круга методов во многом нерешенной остается задача выбора оптимального решения применительно к конкретному месторождению.

2.3 Особенности донных отложений в нефтяных резервуарах

Проблема отложений в нефтяных резервуарах имеет как общие стороны, так и существенные различия в сравнении с ранее рассмотренной задачей асфальтосмолопарафиновых отложений.

Как в том, так и в другом случае имеет место отложение на поверхности компонентов нефти. Отличие же заключается в масштабах и во времени:

- в случае асфальтосмолопарафиновых отложений процесс образования осадка происходит в большинстве случаев в сравнительно короткие интервалы времени на ограниченных участках оборудования;

- в случае отложений в нефтяных резервуарах длительность процессов осаждения много выше, также и велики масштабы резервуаров.

Таким образом, при длительном нахождении нефти в резервуарах процессы осаждения могут иметь выраженный характер и в результате этого может образовываться значительный объем осадка.

Как отмечено в [33], отложение осадка имеет место во всех видах добываемой нефти в процессе транспортировки и хранения.

Наращение осадка в резервуаре происходит распределяются

неравномерно по площади основания. На рис. 7 показано распределение осадка по площади основания и характерные зоны по уровню коррозионного поражения нижнего пояса стенки резервуара РВСПК-50000.

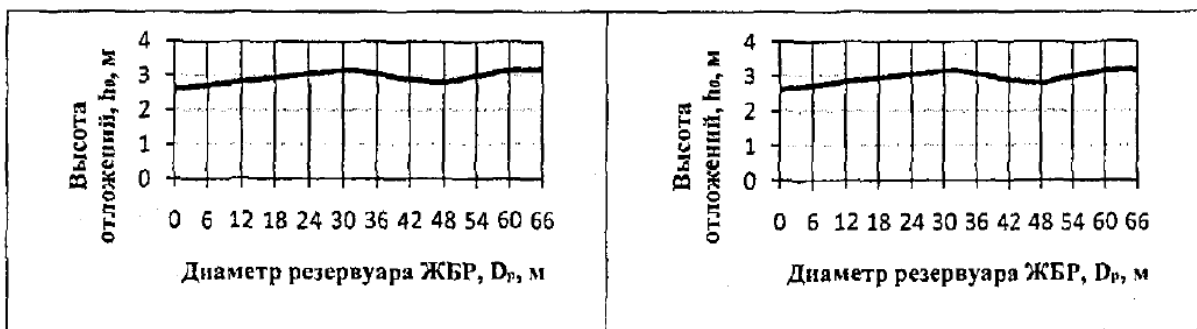
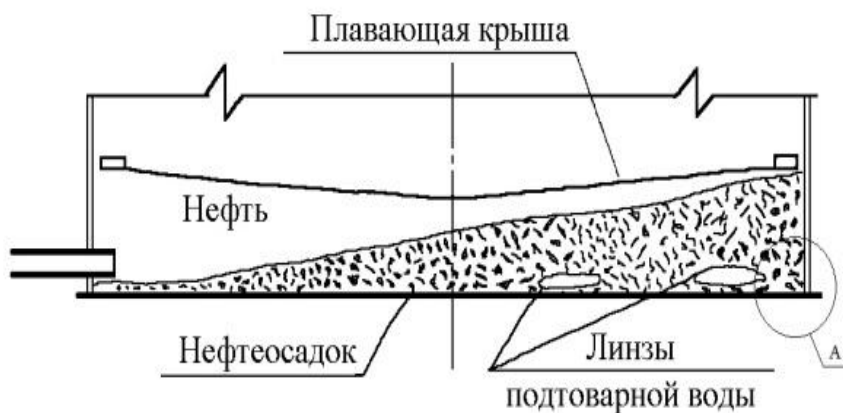


Рисунок 7- Распределение донных отложений по днущу в резервуарах: а - высота отложений по днущу резервуара типа РВС; б, в - высота отложений по днущу резервуара типа ЖБР

Как видно из рис.7, отмечается значительная вариация по высоте отложений при высокой общей мощности осадка.

На рис.8 приведено общее содержание смоло-парафиновой взвеси в нефти разных месторождений в зависимости от температуры.

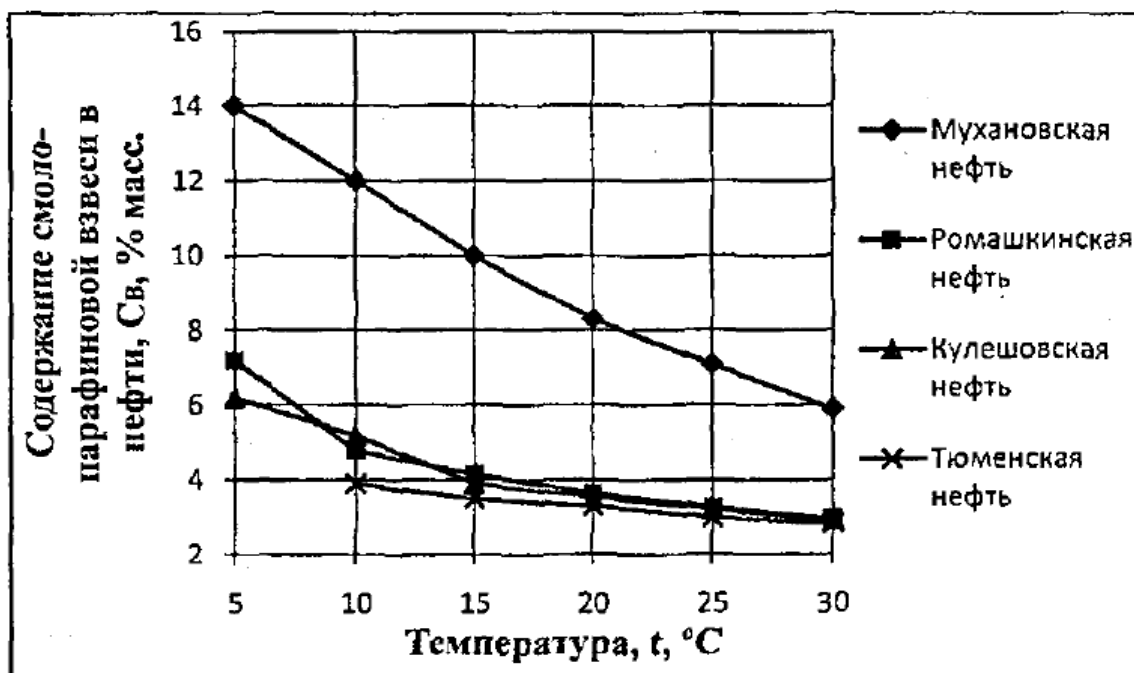


Рисунок 8 -Общее содержание смоло-парафиновой взвеси в нефти в нефти разных месторождений в зависимости от температуры

Из данных на рис.8 видно, что с ростом температуры отмечается снижение смоло-парафиновой взвеси в нефти за счет растворения определенной доли дисперсной фазы.

В случае охлаждения будет иметь место обратное превращение-выпадение из жидкой фазы частиц парафина – основного компонента образовавшегося осадка. Таким образом, при понижении температуры происходит дополнительная кристаллизация парафина, что, в свою очередь, приводит к адсорбции асфальто – смолистых веществ на них.

В то же время другие компоненты нефти – механические примеси и вода, практически не влияют на общее содержание взвеси при понижении температуры.

Кроме того, необходимо отметить, что содержание смоло-парафиновой взвеси нефти разных месторождений значительно различаются друг от друга.

В табл.1 приведены данные по характеристикам отложений при хранении нефти.

Таблица 1 – Характеристики отложений при хранении нефтей (Республика Татарстан)

№п.п.	Параметры	Значение
1	Содержание нефтепродуктов	14-42%
2	Содержание механических примесей	52-88%
3	Состав осадка:	
	Асфальтены	6-25%
	Смолы	7-20%
	Парафины	1-4%
	Масла	70-80%
	Вода	0,3-8%
	Водорастворимые соли	0,2-1%
4	Хлористые соли	33-1100 мг/л
5	Сера	1,5-5,3%
6	Содержание металлов:	
	Ванадий	$1,4 \cdot 10^{-2} - 9,5 \cdot 10^{-2} \%$
	Никель	$2,4 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-3} \%$
7	Плотность жидкой фазы	940-950 кг/м ³

Как следует из табл. 1, содержание механических примесей в осадках составляет 52-88%, а углеводородов 12-42%.

На основании обсуждения данных настоящего раздела по особенностям донных отложений в нефтяных резервуарах можно отметить следующие существенные положения:

- отложения в нефтяных резервуарах могут быть описаны как относительно равновесные среды, имея в виду достаточный срок для протекания процессов осаждения;
- существенно, что отложения в нефтяных резервуарах характеризуются как высоко неоднородные среды по химическому составу, физико- химическим параметрам и иным показателям;
- значимым фактором кинетики осаждения выступает температура, от которой сильно зависят переход парафина их раствора в дисперсное состояние и обратно;
- приведенные обстоятельства могут служить основанием для

заклучения, согласно которому выбор методов для устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах должен исходить из применения индивидуализированных решений в соответствии с характеристикой отложений как высоко неоднородных сред по химическому составу, физико-химическим параметрам и иным показателям. По составу отложения представляют собой сочетание асфальтенов, парафинов, масел и воды. В случае присутствия в отложениях солей хлора и серы, происходит инициация коррозии днища и нижнего пояса стенки резервуара.

В [33] отмечено, что по данным многих исследований шламов нефти резервуарного происхождения соотношение нефтепродуктов, воды и механических примесей (частицы песка, глины, ржавчины и т.д.) характеризуется как высоко изменчивое- углеводороды укладываются в диапазон составляют 5 -90 %, вода 1 -52 %, примеси твердые 0.8-65%.

В результате столь широких диапазонов состава шламов нефти, неоднородность физико-химических характеристик так же высока.

Указано, что шламы нефти могут включать четыре слоя:

- верхний слой-обводненный нефтепродукт с содержанием до пяти процентов тонкодисперсных механических частиц и относится к классу эмульсий вода в масле. Состав - до 80% масел, до 25 % асфальтенов;
- второй, относительно небольшой по объему слой, - эмульсия масло в воде;
- третий слой представлен минерализованной водой;
- четвертый, придонный слой - твердая фаза, содержащая до сорока пяти процентов органики, до 88% твердых механических примесей, включая окислы железа.

На основании обсуждения данных настоящего раздела по особенностям донных отложений в нефтяных резервуарах можно отметить следующие существенные положения:

- отложения в нефтяных резервуарах могут быть описаны как относительно равновесные среды, имея в виду достаточный срок для

протекания процессов осаждения;

- существенно, что отложения в нефтяных резервуарах характеризуются как высоко неоднородные среды по химическому составу, физико-химическим параметрам и иным показателям;

- значимым фактором кинетики осаждения выступает температура, от которой сильно зависят переход парафина из раствора в дисперсное состояние и обратно;

- приведенные обстоятельства могут служить основанием для заключения, согласно которому выбор методов для устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах должен исходить из применения индивидуализированных решений в соответствии с характеристикой отложений как высоко неоднородных сред по химическому составу, физико-химическим параметрам и иным показателям.

2.4 Методы устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах

В источниках [34-38] приведены данные по ряду практических решений управления отложениями в нефтяных резервуарах.

В [33] отмечено, что в числе способов борьбы с отложениями можно выделить на два базовых направления:

- очистка с определенной периодичностью с остановкой эксплуатации;
- предупреждение образования осадка с использованием различных методов и аппаратурных решений в ходе эксплуатации емкости.

Исторически наиболее распространенным в начале прошлого века был ручной способ зачистки. Однако достаточно быстро обнаружилось, что этот способ трудоемок и вреден, и от него отказались.

Позднее получил распространение механический способ зачистки нефтяных емкостей с помощью различных переносных технических средств, мини тракторов, бульдозеров. Использовался преимущественно для

устранения тяжелых мазутных отложений из резервуаров высокой емкости.

Этот решение существенно сократило время на производство работ, но по причине больших капитальных затрат при низком качестве очистки днища и ряда иных отрицательных качеств признано не перспективным.

В конце прошлого века были опробованы роботизированные решения, рис.9.

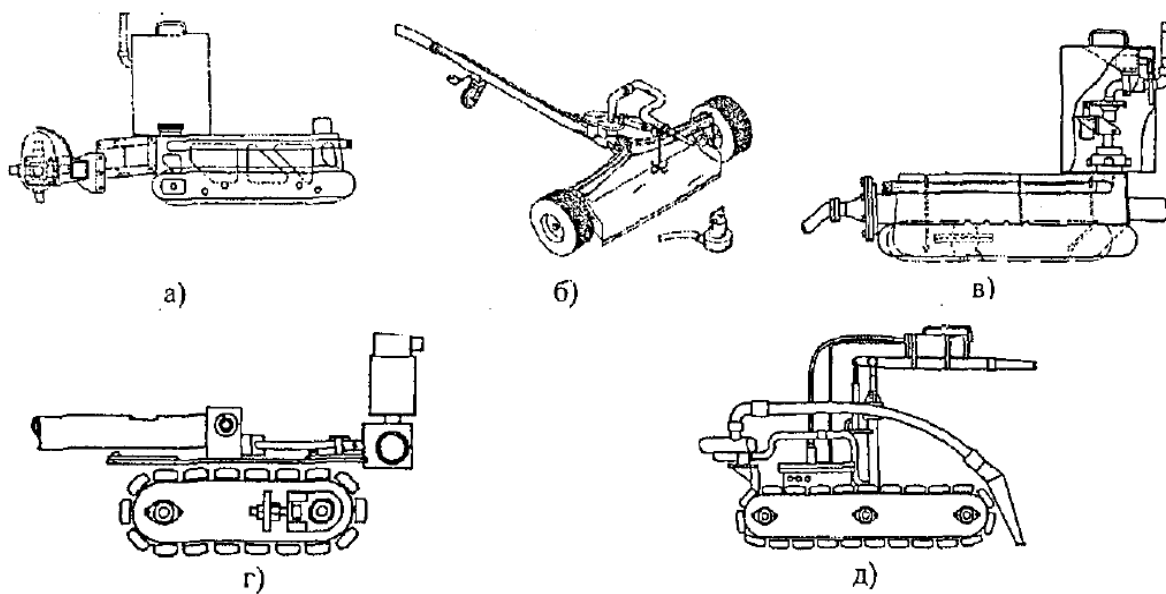


Рисунок 1.9 – Роботы

Роботы имеют очевидные достоинства при решении задачи очистки нефтяных емкостей- возможность задавать требуемую программу, производительность, устойчивость к действию негативных факторов и др.

К негативным сторонам роботов можно отнести высокую стоимость, сложность в обслуживании, значительные габариты и массу, сложность управления при высоком уровне осадка, а также ряд иных ограничений.

По данным [35] ручная очистка резервуаров остается самым распространенным в нашей стране и ряде других государств.

Вручную без применения специализированного оборудования выполняются такие операции как разжижение шлама, его перекачка в емкости и устранение твердых остатков.

Преимущество указанного метода -отсутствия затрат на приобретения оборудования и химических реагентов. Недостаток- невысокая

производительность и связанные с этим длительные простои резервуаров, затраты на утилизацию шламов, а также сложные условия для работы персонала.

Таким образом, применение данного метода удаления донных отложений должно быть сведено к минимуму.

В табл. 2 приведены методы управления донными отложениями.

Таблица 2 – Методы управления донными отложениями

Методы управления донными отложениями		
1	Методы устранения осадка	Методы предупреждения образования осадка
2	Ручная очистка	Гидравлические системы размыва
3	Мобильные очистные комплексы <i>МКО</i>	Электромеханические мешалки «Тайфун»
4	Системы <i>BLABO</i>	Электромеханические мешалки «Диоген»
5	Комплекс <i>MegaMACS</i>	

Рассмотрим группу методов устранения осадка, которые представляют собой достаточно радикальные решения, необходимость которых обусловлена задачами извлечения осадка, выпадение которого ранее не было выполнено.

Мобильные очистные комплексы МКО (рис. 10)

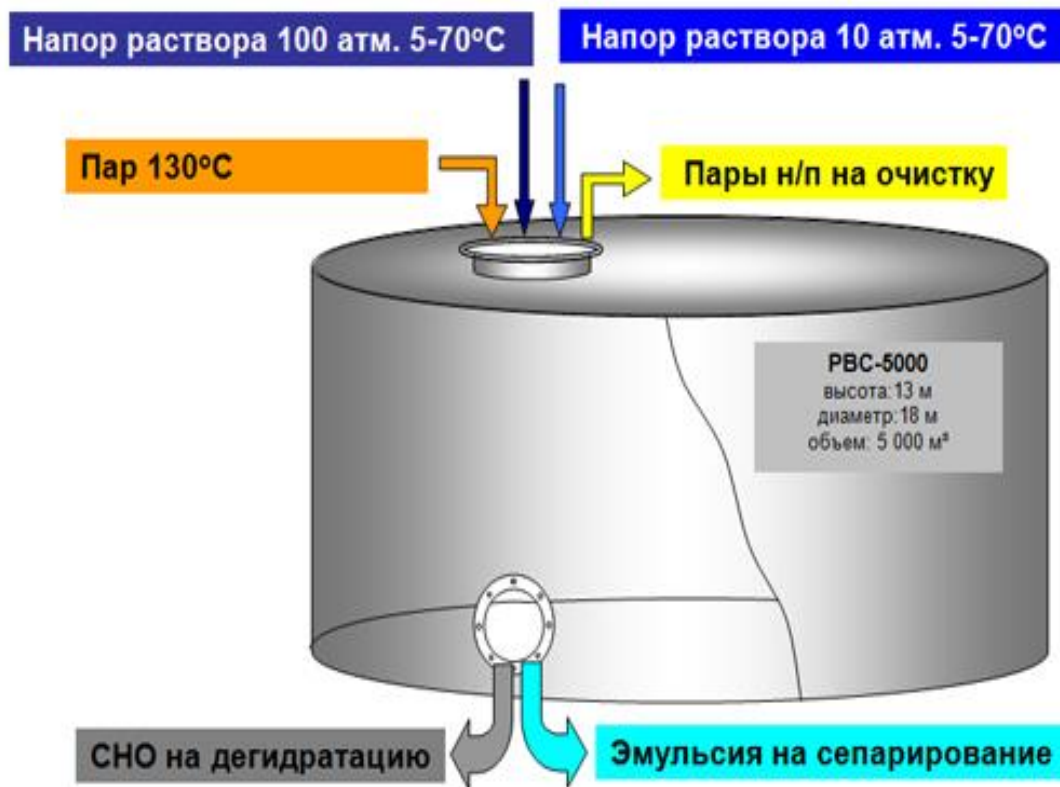


Рисунок 10 – Мобильные очистные комплексы МКО

Установки МКО – Технология мойки резервуаров наиболее распространенным оборудованием отечественного изготовления. Включают четыре технических узла – емкости раствора моющего, отделение машинное, емкости для сбора механических примесей и емкости отмытой эмульсии.

Системы *BLABO* (рис.11)

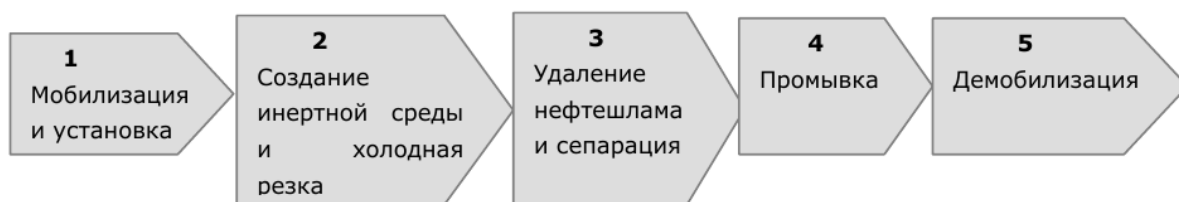


Рисунок 11– Поэтапная схема системы *BLABO*

Система *BLABO* относится к числу наиболее сложных аппаратурных решений западных систем.

Схема рис.11 демонстрирует поэтапную технологию обработки нефтяного шлама.

Выполнение очистки резервуара - поэтапной технологии обработки нефтяного шлама- осуществляется за счет попеременного размывания осадков инжекторными устройствами, расположенными на крыше резервуара.

В связи со сравнительной сложностью устройства, система ВЛAVO обладает высокой стоимостью и зависит от дорогостоящих импортных комплектующих.

Комплекс MegaMACS (рис.12)



Рисунок 12 – Комплекс MegaMACS

Комплекс MegaMACS -зарубежный аналог МКO. Комплекс автономен по отношению к внешним энергоносителям – необходимость в подводе электроэнергии, горячей воды, пара и т.п.

В табл. 3 приведены достоинства и негативные стороны методов устранения донных отложений.

Таблица 3- Методы устранения донных отложений-достоинства и негативные стороны

	Наименование метода	Достоинства	Негативные стороны
1	Ручная очистка		
2	Мобильные очистные комплексы МКO	Доступная стоимость комплекса; обеспеченность отечественными комплектующими	Необходимость в оборудовании по разделению водонефтяной эмульсии; потребность в прогреве нагрева моющего раствора в холодный период; невысокая мощность установки
3	Системы ВЛAVO	Высокие показатели продуктивности очистки резервуаров и уровня разделения воды, механических примесей и углеводородов без привлечения в дополнительном систем	Установка, эксплуатация и обслуживание требуют высокой квалификации персонала. Проблемная эффективность системы на резервуарах без плавающей крыши

4	Комплекс <i>MegaMACS</i>	Высокие показатели устранения донных отложений, очистки углеводородов; энергонезависимость; короткие сроки разворачивания/сворачивания	Разрушение трубопроводов обвязки, засорение подвижных элементов сопел, падение показателей размыва
---	-----------------------------	--	--

Методы предупреждения образования осадка – гидравлические системы размыва.

Получили признание технические решения по размыву донного осадка, выполняемые без вывода резервуара из эксплуатации, основанные на использовании сопел и форсунок различных видов.

В качестве примера может быть приведена система, созданная во ВНИИСПТнефть и внедренная в резервуарах многих нефтеперекачивающих станций и нефтебаз, включает группу веерных сопел, формирующих струи нефти перемежающиеся вдоль днища и срывающие осадок.

Взамен кольцевых веерных сопел может быть использована компактная струя с медленно вращающимся соплом, за счет чего достигается высокая степень перемешивания осадка с нефтью.

Уязвимое место таких устройств- разрушающиеся трубопроводы обвязки, а также засоряющиеся подвижные элементы сопел, что ведет в заметную потерю эффективности размыва.

Электромеханические мешалки «Тайфун».

В устройстве «Тайфун» (рис. 34) гребным винтом генерируется узконаправленная затопленная струя жидкости.

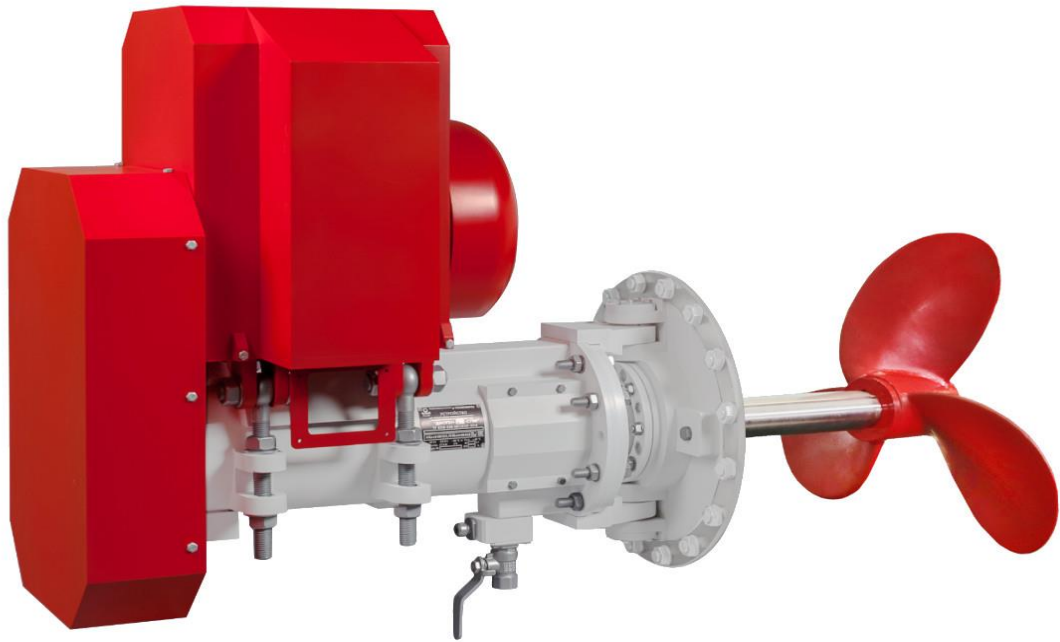


Рисунок 13 – Устройство «Тайфун»

За счет автоматического привода устройство перемещается вдоль дна, и при этом винт создает мощную струю, размывающую тяжелые парафинистые осадки и механические примеси.

На рис.14 приведена схема размыва донных отложений с помощью устройства «Тайфун».

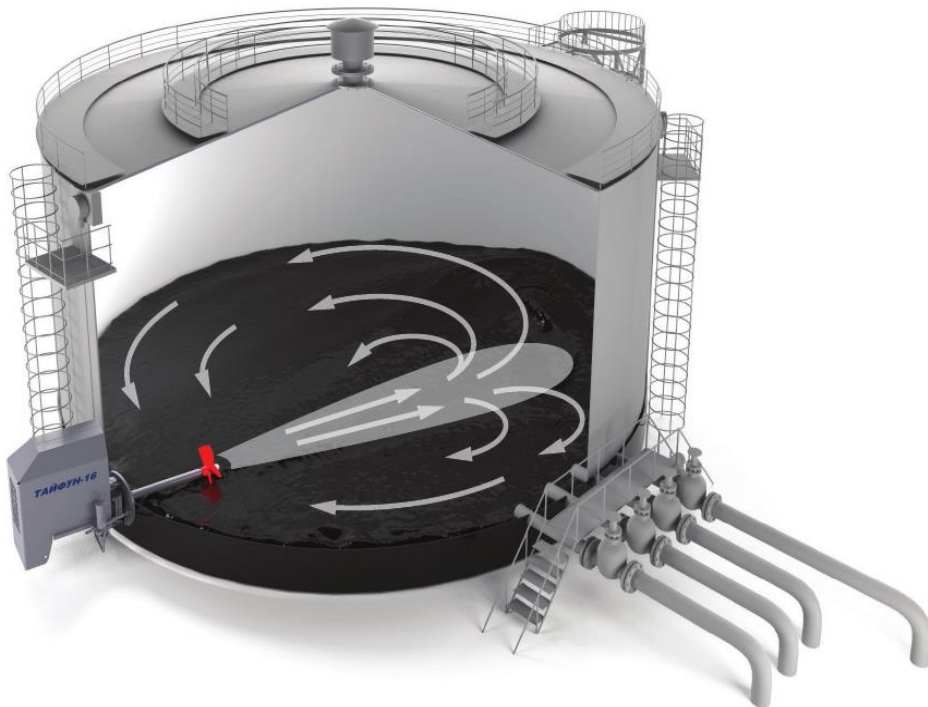


Рисунок 14 – Схема размыва донных отложений с помощью устройства «Тайфун»

В соответствии со схемой на рис.14 размыв осадка выполняется за счет организации гидродинамических потоков, генерированных устройства «Тайфун».

Устройства обеспечивают гидродинамические потоки с охватом всего объема осадка, что предупреждает разделение жидкостей на тяжелые и легкие фракции. По сравнению с аналогами «Тайфун» имеет малые габариты и массу, а также снабжен автоматическим приводом поворота.

В то же время расположение устройства непосредственно у стенки приводит к постепенному снижению качества размыва по направлению к центральной оси резервуара, что создает сложности при использовании устройства на резервуарах большой. Кроме того, при работе устройства «Тайфун» возникают вибрации, формирующие нагрузки опасные для поясов резервуара, особенно при одновременной работе нескольких устройств.

Электромеханических мешалки «Диоген», рис.15



Рисунок 15 – Устройства «Диоген»

Устройства «Диоген» используют метод размыва донных отложений, построенный на совместном перемешивании продуктов нефти направленной струей при организации кругового перемещения массы хранимого в

резервуаре продукта.

В то же время имеется несколько нерешенных задач:

- сложность организации равномерного движения продукта по объему резервуара с исключением застойных зон;
- указанная выше опасность появления застойных зон обусловлена, в частности, ограничением внутреннего угла расширения турбулентной струи равным $22-25^\circ$;
- провоцирование застойных зон может привести к локальному по этим зонам выпадению осадка.

Наряду с приведенными выше методами управления донными отложениями существует еще достаточно много решений, которые имеют перспективу улучшить качественные и количественные показатели управления осадком с акцентом на предупредительные решения [37-38].

К подобным решениям могут быть отнесены физические, химические, физико- химические, ультразвуковые, электромагнитные, тепловые методы и целый ряд решений, приведенных на рис.16.

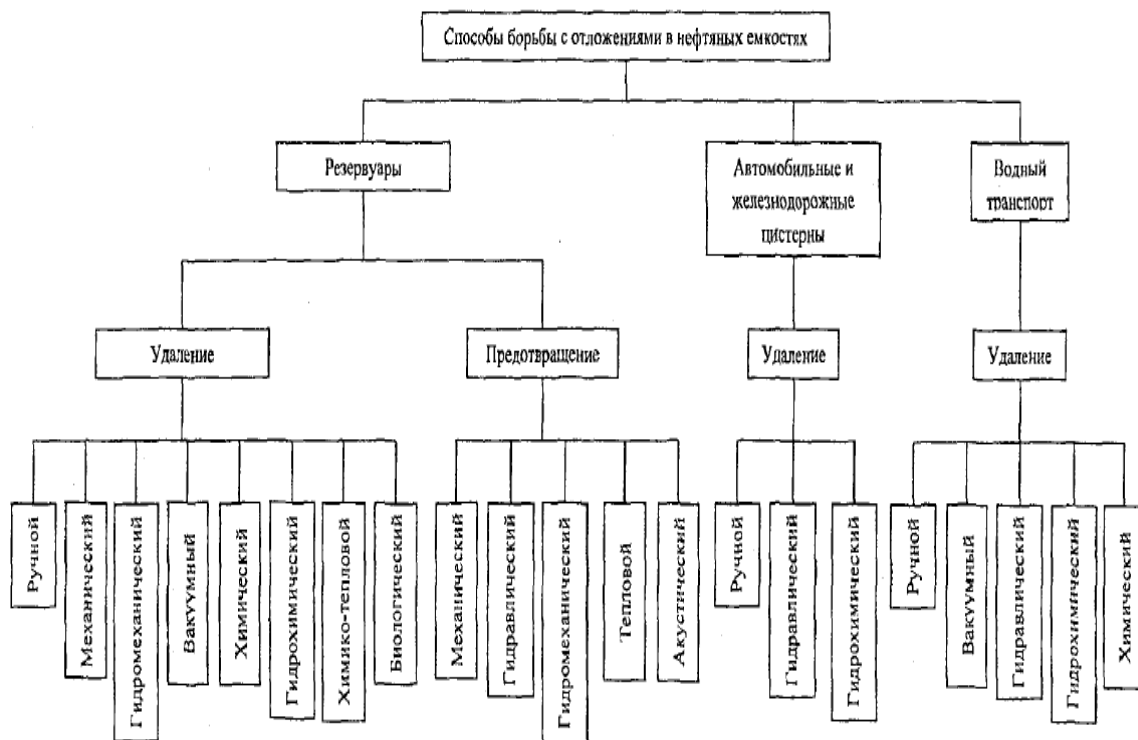


Рисунок 16 – Структура методов управления отложениями в резервуарах и иных системах

Можно отметить, что перечисленные методы практически точно воспроизводят методологию управления асфальтосмолопарафиновыми отложениями на внутрискважинном оборудовании, тем самым подтверждается схожесть признаков микро и макроотложений.

По результатам обсуждения методов устранения и предупреждения отложений в нефтяной резервуар можно сделать выводы:

- методы управления отложениями делится на предупредительные и устраняемые. Предупредительные методы имеют целью недопущение возникновения органического осадка, тогда как устраняемые методы представляют собой технические решения по удалению уже имеющегося осадка;

- при этом перспектива гидравлических методов ограничена задачами обеспечения равномерного распространения энергии по всему объему продукта и недопущения возникновения локальных застойных зон.

На основании анализа данных по методам управления асфальтосмолопарафиновыми отложениями можно сделать выводы:

- методы управления отложениями делится на предупредительные и устраняемые. Предупредительные методы имеют целью недопущение возникновения органического осадка, тогда как устраняемые методы представляют собой технические решения по удалению уже имеющегося осадка;

- разработано значительное число методов управления отложениями: механические, физические, химические, тепловые, показавшие свою пригодность для решения задач назначения;

- в то же время при наличии широкого круга методов во многом нерешенной остается задача выбора оптимального решения применительно к конкретному месторождению.

2. На основании обсуждения данных по особенностям донных отложений в нефтяных резервуарах можно отметить следующие существенные положения:

- отложения в нефтяных резервуарах могут быть описаны как относительно равновесные среды, имея в виду достаточный срок для протекания процессов осаждения;

- существенно, что отложения в нефтяных резервуарах характеризуются как высоко неоднородные среды по химическому составу, физико-химическим параметрам и иным показателям;

- значимым фактором кинетики осаждения выступает температура, от которой сильно зависят переход парафина из раствора в дисперсное состояние и обратно;

- приведенные обстоятельства могут служить основанием для заключения, согласно которому выбор методов для устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах должен исходить из применения индивидуализированных решений в соответствии с характеристикой отложений как высоко неоднородных сред по химическому составу, физико-химическим параметрам и иным показателям.

3. По результатам обсуждения методов устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах можно сделать выводы:

- методы управления донными отложениями представлены предупредительными решениями и методами устранения осадка, при этом первая группа методов основана преимущественно на использовании механизированных установок, а вторая группа – на гидравлических подходах;

- перспектива гидравлических методов ограничена задачами обеспечения равномерного распространения энергии по всему объему продукта и недопущения возникновения локальных застойных зон.

2.5 Постановка цели и задач работы

Цель работы- моделирование струйного размыва донных отложений в нефтяных резервуарах.

Задачи работы:

- донные отложения в нефтяных резервуарах- современное состояние, предпосылки и методы решения;

- проблема вязкости. Гидродинамические характеристики турбулентного течения отложений. Обоснование программных решений;

- практическая задача-расчет гидродинамической струи в резервуаре нефти.

3. Методы вычислительной гидродинамики при решении проблемы донных отложений

В этой главе рассмотрены вопросы:

- донные отложения -обобщенные представления;
- методы вычислительной гидродинамики - виды и особенности;

3.1 Донные отложения – обобщенные представления

Постановка задачи для гидродинамических расчетов предполагает достаточно ясное понимание таких вопросов как природа донных отложений и эффективность методов противодействия этим проявлениям, а также знание методов вычислительной гидродинамики - видов и особенностей, назначения и областей применения.

Донные отложения с точки зрения моделирования процессов размыва донных отложений с использованием электромеханических мешалок «Диоген» могут быть описаны как высоко неоднородные среды по химическому составу, физико-химическим параметрам и иным показателям (глава 1).

Задача рассмотрения гидродинамических процессов, сопровождающих взаимодействие затопленной струи с нефтяным осадком, предполагает использование инструментов и методов вычислительной гидродинамики.

В предварительном плане моделирование размыва осадка массива нефтяного отложения с использованием электромеханических мешалок «Диоген» должно учитывать протекание таких процессов как:

- результат воздействия лопастей мешалки на нефтяной осадок- образование новой динамической среды-нефтяной струи;
- формирование нефтяной струи с определением ее характеристик- физический и химический состав, плотность, давление, вязкость, скорость и иные показатели;
- описание воздействия нефтяной струи на пассивный массив

отложений с вероятными последствиями- потерей энергии струи и поступлением этой энергии в соприкасающиеся со струей сектора пассивного потока с организацией движения вторичных потоков в пределах пассивного массива.

Поскольку первичный источник энергии в системе массив отложений- мешалка- лопасти мешалки, то можно ожидать, что наиболее выраженные эффекты изменения состояния отложений будут иметь место в момент соприкосновения лопастей с отложениями с переходом последних в диспергированное активированное динамическое состояние с последующим рассеянием энергии при контакте струи с пассивными отложениями.

Представляется, что решение подобной задачи потребует привлечения современных методов вычислительной гидродинамики.

3.2 Методы вычислительной гидродинамики – виды и особенности

3.2.1 Современный этап развития представлений о турбулентности

Развитие идей по природе турбулентности на современном этапе характеризуется применением группы методов, куда входят математические методы, моделирование и компьютерное программирование. Между этими компонентами не всегда можно установить четкие границы, и скорее следует говорить об их взаимопроникновении и взаимозависимости. Совокупность этих подходов позволяет сделать качественный скачок в развитии представлений о природе турбулентности.

Одним из плодотворных подходов к описанию турбулентности стал метод, основанный на теории динамических систем [39].

Позднее представления в середине прошлого века были пересмотрены. В частности, выявлено неупорядоченные проявления в нелинейных средах с весьма малым числом степеней свободы [40].

Также, установили наличие определённой упорядоченности в развитом турбулентном потоке.

Отдельно надо указать на прорывные подходы и методы академика АН РФ Белоцерковского О. М., разработавшего принципиальные основы численного моделирования для задач механики сплошной среды (газовая динамика и др.) [41].

Как отметил академик Белоцерковский О.М., уравнения, описывающие механику сплошной среды, представляют собой исключительно сложную систему интегральных и дифференциальных уравнений в частных производных.

В общем случае это - нелинейная система смешанного типа с неизвестной формой поверхности перехода и “подвижными границами”: граничные условия ставятся на поверхностях или линиях, которые сами определяются в процессе вычислений.

Для решения подобных задач предложен алгоритм: математическая модель- экспертная система- САПР (система автоматического проектирования).

Более подробно подходы Белоцерковского О.М. будут обсуждены в последующих разделах.

3.2.2 Методы математического моделирования в задачах турбулентных течений

Основным инструментом исследования природы турбулентности является моделирование. К настоящему времени накоплен обширный опыт моделирования, обобщенный в ряде работ с существенно отличающимися подходами к систематизации.

На наш взгляд, к наиболее полным и последовательным обзорам можно отнести работы [42,43,44,45,46]. Монография Моница А.С., Яглома А.М. [42,43] представляет собой фундаментальный труд по статистическим методам в гидродинамике. Необходимо упомянуть и подход к изложению структуры моделей, предложенный Фриком П. Г. [44,45]. Эта работа взята за основу в

данном разделе.

Эта схема представляет собой алгоритм совершенствования моделей, построенных на основе сочетания аналитических и опытных данных.

Иной подход к построению системы моделирования развивает идеи теории динамических систем [39]. Эти идеи представляются нам весьма перспективными, и взяты за основу при описании моделей, как изложено ниже.

Последовательное рассмотрение структуры “дерева” моделей опирается на систему основных уравнений гидродинамики.

Уравнение движения вязкой жидкости [44]

$$\rho \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k} \eta \left(\left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \frac{\partial v_k}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ik} \operatorname{div} \vec{v} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\xi \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right) \quad (2.1), \text{ где}$$

η - сдвиговая вязкость; ξ - объемная вязкость.

Если коэффициенты вязкости мало зависят от температуры и давления, то уравнение Навье – Стокса может быть записано в виде:

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \nabla) \vec{v} \right] = - \nabla p + \eta \Delta \vec{v} + \left(\xi + \frac{\eta}{3} \right) \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{v} \quad (2.2).$$

3.2.3 Развитая турбулентность – подходы Белоцерковского О.М.

Ранее рассматривались некоторые методологические идеи академика Белоцерковского О.М. по математическому моделированию турбулентных течений.

Значительный интерес представляют взгляды этого автора на роль крупных масштабов в турбулентности [41], где сформулирован критический взгляд на методы усреднения параметров потока из линеаризованных уравнений.

Это же относится к числу Рейнольдса Re , хотя в статистической теории турбулентности оно используется как параметр задачи.

В соответствии с подходами О.М. Белоцерковского модель развития турбулентности допускается, что в случае, если вязкость не может обеспечить профиль сдвигового течения по причине развития неустойчивостей типа Рэлей – Тейлора, в течении появляются крупномасштабные вихри.

На наш взгляд, предложенная О.М. Белоцерковским теория турбулентности, исключительно перспективна, и способна послужить основанием для развития качественного нового этапа в исследованиях природы турбулентности.

В этой связи особое значение имеет дискуссия о соприкосновении и столкновении традиционного подхода (статистическая теория турбулентности) и новых идей.

Вместе с тем, представляет интерес продолжение изучение развития идей моделирования на основе статистических подходов, поскольку это направление остается актуальным.

3.2.4 Модели мелкомасштабной турбулентности на основе теории А. Н. Колмогорова [47]

В традиционном подходе ключевым моментом теории мелкомасштабной турбулентности является положение, согласно которому процессы возбуждения течения, нелинейных взаимодействий вихрей и вязкой диссипации, сосуществующие в физическом пространстве, строго разнесены в пространстве масштабов.

Систематическое изучение мелкомасштабной турбулентности стало возможным благодаря работам А. Н. Колмогорова, предложившего две принципиальные идеи:

- инвариантность статистических характеристик в инерционном и диссипативном диапазоне в отношении схемы возбуждения турбулентности и назначаются скоростью диссипации энергии ε , кинематической вязкостью ν и масштабом l ;

- всеобщность статистических характеристик турбулентности в диапазоне инерции и исключительно зависят от диссипации скорости энергии ε и масштаба l .

Для аналитической записи временного интервала энергии диссипации за единицу времени на единицу массы равна ε , использовано:

$$\delta v_i \approx (\varepsilon l)^{1/3}, \quad (2.3)$$

которое называют законом Колмогорова-Обухова.

Использование соображений размерности приводит к закону Колмогорова:

$$E(k) = C \varepsilon^{2/3} k^{-5/3} \quad (2.4)$$

В развитии идей работ Колмогорова А.Н. 1941 г., обоснованы оценки, с использованием которых на качественном уровне охарактеризовано представление о корреляции скорости в двух точках изотропного однородного течения, отдаленных друг от друга на расстоянии l .

Для двухточечного корреляционного тензора второго ранга можно записать:

$$B_{ik} = \langle (\mathbf{v}_{2i} - \mathbf{v}_{1i})(\mathbf{v}_{2k} - \mathbf{v}_{1k}) \rangle, \quad (2.5)$$

где \vec{v}_1 и \vec{v}_2 – скорости в двух точках, отстоящих друг от друга на расстоянии l .

Корреляционный тензор третьего ранга

$$B_{ikm} = \langle (\mathbf{v}_{2i} - \mathbf{v}_{1i})(\mathbf{v}_{2k} - \mathbf{v}_{1k})(\mathbf{v}_{2l} - \mathbf{v}_{1m}) \rangle \quad (2.6)$$

Связь между тензорами второго и третьего рангов выражается через уравнение Колмогорова

$$B_{iii} = \frac{4}{5} \varepsilon l + 6\nu B_{ii} \quad (2.7)$$

При решении уравнения (2.7) вновь возникает проблема замыкания.

В 1942 г. Л. Ландау указал на то, что скорость диссипации энергии ε не может считаться постоянной, а характеризуется как величина случайная.

По ряду оценок энергетический спектр однородной турбулентности

подчиняется степенному закону

$$E(k) \approx K^{-\alpha} \quad (2.9)$$

С показателем степени $\alpha = 1.71 \pm 0.02$.

Показано, что при сравнительно небольших порядках структурных функций локальные изменчивости скорости диссипации не отвечают колмогоровским подходам однородной турбулентности, что согласуется с представлениями Л. Ландау.

3.2.5 Двумерная турбулентность [45]

При решении сложных физических задач в теоретических и численных проекциях разумным подходом оказывается снижение размерности пространства.

Однако, в отношении турбулентности такой метод не всегда оправдан, поскольку турбулентность принципиально пространственный феномен.

Вводя $\vec{\omega} = \text{rot} \vec{v}$ обозначение, уравнение для эволюции общей энергии движения жидкости может быть представлено в виде.

$$d_t \hat{A} = -\nu \int_V |\vec{\omega}|^2 dV = -2\nu\Omega \quad (2.10)$$

где величина

$$\Omega = \frac{1}{2} \int_V |\vec{\omega}|^2 dV, \quad (2.11)$$

определяется как энстрофия.

Существенно отметить, что совершенствование инструментов и методов численного изучения турбулентности позволяет ставить и решать задачи принципиального характера, в значительной степени определяющих общий прогресс в понимании природы турбулентности.

3.2.6 Прямое численное моделирование (DNS)

На основе сопоставления ранее приведенных данных можно сделать заключение, что определённые несовершенства метода Рейнольдса, стали побудительной причиной разработки методов прямого численного моделирования турбулентных течений.

Вместе с тем, обнаружались проблемы при подсчете сеточных узлов и временных периодов, требуемых для достижения достоверности DNS.

Так, по данным Ф.Спаларт, 2000, [46]) лишь к 2080 году DNS станет действенным инструментом решения практических задач высокого масштаба.

Численные методы для прямого моделирования турбулентности должны точно воспроизводить развитие потока по широкому диапазону масштабов. Значимым вопросом является определение предельного масштаба, при котором должно быть выполнено решение. В качестве такого параметра обычно принимают колмогоровский масштаб длины. Спектральные DNS в целом ряде случаев показывают очень хорошее согласие с экспериментом, даже, если не достигается колмогоровский масштаб длины.

В настоящее время в расчетах обычно используются конечно-разностные схемы, или сочетание спектральных и конечно-разностных схема, тогда как ранее применялись только спектральные алгоритмы. Спектральные методы обладают высокой точностью, однако не позволяют решать задачи с высокими градиентами V и P .

Эти изменения в течение последнего десятилетия сопровождалось значительным расширением возможностей компьютерных комплексов.

Показано, что на данный момент пределы применимости DNS ограничены задачами фундаментального направления, в то время как в отношении практических задач должны быть созданы более совершенные инструменты.

3.2.7 Принципы и решения задач в модели динамики больших вихрей (LES) и методов отрывных вихрей (DES)

Моделирование крупных вихрей (LES – Large Eddy Simulation).

Как было установлено, совокупность методов прямого численного моделирования турбулентных течений (DNS) имела целый ряд несовершенств, что потребовало метода создания нового решения-моделирования крупных вихрей- расчет крупных вихрей в то время как мельчайшие вихри подсеточного масштаба моделируются.

Инвариантность мелкомасштабных вихрей по энергетическому спектру описана в [48].

Фильтрация

В методе LES для формального математического разделения крупных и мелких структур применяется фильтрация, которая в определенном смысле является операцией сглаживания и позволяет не выполнять вычисления до колмогоровского масштаба, а только до инвариантного размера в спектре. Дирдорфом [49] предложил простейший тип — осредненный по объему коробочный фильтр.

Также заслуживают упоминания такие решения в области фильтрации как:

- обобщенный фильтр, как интеграл свертки, Леонарда [50];
- сокращенный Фурье- фильтр Орзага [51];
- фильтр Гаусса (Ферзигер, [52]), популярный в LES исследованиях.

В исследованиях [53-59] предложены интересные решения в обсуждаемой области.

3.2.8 Моделирование отрывных вихрей (DES – Detached Eddy Simulation)

Существуют физические пределы современной вычислительных систем, что делает неосуществимым выполнение методов DNS и LES для

описания турбулентных сред при больших числах Рейнольдса.

Для решения такого рода задач перспективным оказался подход М.Х. Стрельца, Ф. Спаларта и др. (1997) [60] - метод моделирования отрывных вихрей (DES).

Базой для этого подхода стали идеи замыкания уравнений Рейнольдса модифицированной дифференциальной модели турбулентной вязкости Спаларта-Аллмараса [61].

В рамках статистической теории турбулентности разработано большое число моделей, развитие которых связано в значительной степени с применением и совершенствованием численных методов, а также теории динамических систем и других подходов.

Вместе с тем, ряд новых идей, предложенных Белоцерковским О. М., ставят под сомнение сам подход на основе расчета усредненных характеристик потока из линеаризованных уравнений

3.2.9 Особенности численных методов для решения задач турбулентного течения сжимаемой и несжимаемой жидкости

Литература по численным методам обширна и разнообразна, в настоящей работе определенный акцент сделан на [62-65].

Процесс получения вычислительного результата состоит из двух этапов:

- дискретизация, при которой дифференциальные уравнения в частных производных (ДУЧП) преобразуются в систему алгебраических уравнений;
- разработка алгоритма решения, пригодного для данной системы алгебраических уравнений.

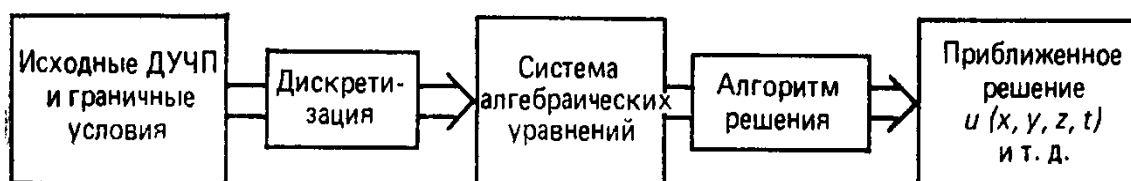


Рисунок 18 – Схема процесса построения вычислительного решения
На этапе дискретизации используются методы: конечно – разностной;

конечно-объемный; конечно-элементный и спектральный.

Конечно – разностной метод

Для описания идеи конечно – разностного метода рассмотрим уравнение:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2}, \quad (2.12)$$

которое выполняется в случае нестационарного процесса теплопроводности в одном измерении. T - температура, α - коэффициент теплопроводности. Черта сверху означает точное решение.

Граничные и начальные условия, соответствующие уравнению (2.12) имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{T}(0, t) &= b, & \bar{T}(1, t) &= d, \\ \bar{T}(x, 0) &= T_0(x), & 0 \leq x &\leq 1. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Наиболее простой путь дискретизации состоит в замене производных конечно – разностными выражениями. Так, например, используя (2.13), можно записать:

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \frac{\alpha (T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n)}{\Delta x^2}. \quad (2.14)$$

Дискретизация (2.14) может быть выполнена с помощью разложения в ряды Тейлора.

$$\bar{T}_{j+1}^n = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\Delta x^m}{m!} \left[\frac{\partial^m \bar{T}}{\partial x^m} \right]_j^n, \quad (2.15)$$

$$\bar{T}_i^{n+1} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\Delta t^m}{m!} \left[\frac{\partial^m \bar{T}}{\partial t^m} \right]_i^n. \quad (2.16)$$

Эти ряды могут быть оборваны после любого числа членов, при этом формируется ошибка аппроксимации, зависящая в основном от следующего члена разложения, с условиями, что в (46) $\Delta x \ll 1$ и в (47) $\Delta t \ll 1$.

Тогда можно записать:

$$\bar{T}_{j+1}^n = \bar{T}_j^n + \Delta x \left[\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right]_j^n + \frac{\Delta x^2}{2} \left[\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} \right]_j^n + O(\Delta x^3). \quad (2.17)$$

Используя (2.17), можно получить конечно – разностное представление (2.12):

$$\left[\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right]_j^n = (T_{j+1}^n - T_j^n)/\Delta x - 0.5 \Delta x \left[\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} \right]_j^n + \dots \quad (2.18)$$

Конечно – разностная подстановка:

$$\left[\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right]_j^n \approx \frac{T_{j+1}^n - T_j^n}{\Delta x} \quad (2.19)$$

обеспечивает точность $O(\Delta x)$.

Дополнительные члены в правой части уравнения (2.19) называются ошибкой аппроксимации. Выражение в правой части (2.19) называется аппроксимацией с разностью вперед.

$$\left[\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right]_j^n \approx \frac{T_j^n - T_{j-1}^n}{\Delta x}. \quad (2.20)$$

Аналогичным образом может быть получено выражение для аппроксимации с разностью назад.

В случае аппроксимации общего вида:

$$\left[\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right]_j^n \approx a \bar{T}_j^n + b \bar{T}_{j+1}^n + c \bar{T}_{j+2}^n + d \bar{T}_{j+3}^n + e \bar{T}_{j+4}^n, \quad (2.21)$$

Исследование ошибок аппроксимации показало, что в случае грубой сетки формулы высокого порядка обладают сравнительно небольшим преимуществом в точности перед формулами низкого порядка, тогда как на мелкой сетке это преимущество становится значительно больше.

Гладкость точного решения может оказывать существенное влияние на уровень ошибок аппроксимации.

Так, в случае сверхзвукового течения невязкой жидкости решения могут содержать разрывы, и при этом формулы высокого порядка не будут давать существенно более высокую точность.

Для задач о течении вязкой жидкости при больших числах Рейнольдса

могут возникать очень высокие градиенты, и при этом в случае грубой сетки схемы высокого порядка не приносят преимуществ.

Метод конечных объемов (МКО)

Основная идея метода конечных объемов (МКО), называемого также методом контрольных объемов, балансным методом, и т.п. [66,67], состоит в разбиении расчетной области на элементарные объемы, и замене дифференциальных аналитических записей в краевой задаче заменяется интегральными балансными соотношениями для каждого элементарных объемов.

Уравнение первого порядка в общем виде

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{G}}{\partial y} = 0, \quad (2.22)$$

может представлять различные уравнения движения.

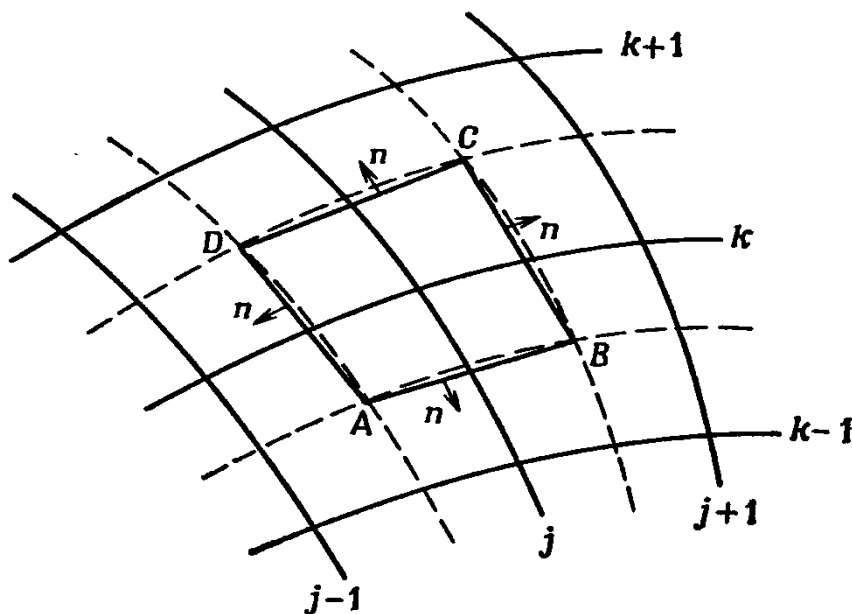


Рисунок 19 – Двумерный конечный объем

От (2.22) для области, находящейся внутри конечного объема ABCD (рис. 3), можно перейти к соотношению:

$$\int_{ABCD} 1 \left(\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{G}}{\partial y} \right) dx dy = 0, \quad (2.23)$$

Анализ уравнения (2.23), а также соотношений, получаемых на основе этого уравнения, показывает, что, если глобальная сетка (j,k) является

нерегулярной, то может быть обеспечена дискретизация в декартовых координатах, без необходимости использования обобщенных координат. В случае, если глобальная сетка является однородной, то появляется соотношение, совпадающее с аппроксимацией, полученной при представлении пространственных производных в (3.23) с помощью центральных разностей.

Метод конечных объемов применяется для описания течений как сжимаемой, так и несжимаемой жидкости. К достоинствам метода можно отнести то, что он обладает хорошими консервативными свойствами (сохранение массы и т. п.).

Уравнения, содержащие вторые производные.

Некоторые особенности применения метода конечных объемов в случае уравнений со вторыми производными могут быть продемонстрированы в применении к решению уравнений Лапласа с использованием компьютерной программы FIVOL.

Программа FIVOL считывает и выдает исходные управляющие параметры. Задается сетка, рассчитывается начальное решение, а также точное решение. Для обеспечения сходимости процесса решения применяется итерационная процедура с применением последовательной верхней релаксации (ПВР).

В результате установлено, что по мере измельчения сетки точность возрастает, однако при этом для достижения сходимости требуется проводить большое число итераций по схеме ПВР.

В случае однородной прямоугольной сетки формируется конечно – разностная схема, обладающая сходимостью второго порядка, что означает, что при введении в два раза более мелкой сетки ошибка уменьшается в 4 раза.

Метод конечных элементов.

В методе взвешенных невязок некоторое приближенное решение может записано в виде

$$T(x, y, z, t) = T_0(x, y, z, t) + \sum_{j=1}^J a_j(t) \phi_j(x, y, z), \quad (2.24)$$

где функция $T(x, y, z, t)$ выбирается так, чтобы задать граничные начальные условия, по возможности, точно, а $\phi_j(x, y, z)$ – аппроксимирующие (пробные) функции.

Решение при некотором упрощении (2.24) можно записать в виде:

$$T = \sum_{j=1}^J T_j \phi_j(x, y, z) \quad (2.25)$$

Выражение (2.25) можно интерпретировать как интерполяцию по отношению к локальному решению в узловой точке T_j .

В сопоставлении с принятым методом Галеркина метод конечных элементов характеризуется существенными особенностями:

- упрощается решение вследствие устранения одного уровня вычислений, а решение в узле приобретает прямой физический смысл;
- становится более очевидной интерпретация метода конечных элементов в качестве средства дискретизации исходного дифференциального уравнения.

Аппроксимирующие функции $\phi_j(x, y, z)$ в математической в математической литературе называются пробными или интерполяционными. В методе конечных элементов они выбираются из числа кусочно-линейных полиномов низкого порядка, что приводит к более экономичным решениям.

В методе конечных элементов дискретизация происходит в два этапа:

- кусочно-линейная интерполяция вводится по дискретным элементам для связывания локального решения с узловыми значениями;
- производится построение со взвешенными невязками для организации связки между узловыми значениями решения.

Исследование ошибок решения задачи Штурма – Лиувилля [68] показало, что:

- в случае применения грубой сетки интерполяция высокого порядка (квадратичная) оказывается лишь немного более точной, чем

интерполяция низкого порядка (линейная);

- при измельчении сетки точность интерполяции высокого порядка возрастает с большей скоростью, чем для интерполяции низкого порядка:

- теоретические скорости сходимости оказались приблизительно достигнутыми (пропорционально Δx в случае линейной интерполяции и пропорционально Δx^2 в случае квадратичной интерполяции).

При применении метода конечных элементов аппроксимирующие и весовые функции отличны от нуля лишь внутри малой области, окружающей рассматриваемый узел.

Тем самым, метод конечных элементов описывается как локальный метод. Аналогично конечно-разностному методу, аналитические записи, имеющие место при использовании метода конечных элементов, связывают между собой узловые значения неизвестных лишь внутри малой области. Однако при решении многомерных задач число охватываемых таким образом узлов для метода конечных элементов существенно больше, чем для метода конечных разностей.

Для рассмотрения вопросов турбулентных течений сжимаемой и несжимаемой жидкости большое значение имеют аспекты моделирования сложных геометрических форм.

В случае моделирования сложных вычислительных областей могут быть перспективны деформированные прямоугольные элементы. Предпочтение, отдаваемое прямоугольным элементам по сравнению с треугольными, объясняется тем, что первые легче приспособить к взаимодействию с программами формирования сеток, особенно в трехмерных случаях. Наряду с этим, в работе [69] разработана эффективная процедура, базирующаяся на введении тетраэдральных элементов с целью моделирования области, внешней по отношению к целому самолету.

Таким образом, сопоставление возможностей конечно – разностного, конечно – объемного, конечно – элементного, спектрального и псевдоспектрального методов для решения задач динамики жидкости

показало, что наиболее перспективен конечно – объемный метод, поскольку он обладает хорошими консервативными свойствами и допускает дискретизацию сложных вычислительных областей в более простой форме, чем в случае иных методов.

Периферийные методы

Существует группа методов, которые до настоящего времени не получили не широкого распространения. К их числу относятся бессточные вихревые методы, методы граничных элементов и др.

В лагранжевых (бессеточных) вихревых методах иногда применяются упрощенные модели турбулентности, так в работе [70] для этих целей использовался метод случайных блужданий.

Метод граничных элементов

Хотя в последние годы предпринимаются определенные попытки расширить диапазон приложения указанных методов, тем не менее, при решении актуальных задач турбулентного течения возможности этих методов не велики.

Это связано с тем обстоятельством, что эти методы основаны на задаче “столкновения N тел”, при решении которой затраты составляют $O(N^2)$ [71], что для большого количества выпускаемых частиц или элементов неразрешимо в обозримое время.

3.2.10 Типы и особенности сеток

Как следует из вышесказанного, вопросы сеточной архитектуры играют значительную роль в развитии численных методов, применяемых для решения задач турбулентного течения.

Виды сеток: структурированные, неструктурированные, гибридные.
[55,72]

3.2.11 Методы параллельного вычисления для задач моделирования турбулентных течений

Как следует из рассмотренных ранее задач, возможность преодоления трудностей по поиску решений при исследовании турбулентных течений находится в непосредственной зависимости от уровня развития вычислительных комплексов и технологий. Метод параллельного вычисления - один из распространенных приемов рационализации технологии сложных вычислений - широко распространен в различных областях современной науки и техники [73].

В практике изучения турбулентных течений этот метод применяется наряду с такими инструментами, как, сеточные методы, технологии расщепления, схемы дискретизации и др.

На примере ряда исследований можно проследить за характерными особенностями применения параллельных технологий.

В работе [74] технология параллельного вычисления использована при поиске численного решения уравнений Навье - Стокса для несжимаемой жидкости.

Отмечено, что решение задач со сложной геометрией при высоких числах Рейнольдса связано с жесткими требованиями к пространственным сеткам. Для пограничных течений характерно усложнение потока, тогда как в остальных зонах движение остается относительно сглаженным. С использованием многосеточных методов адаптивного уточнения изучаются области, где для решения уравнений необходима развитая архитектура сеточного пространства. Для решения уравнений Навье - Стокса использовали технологию распараллеливания многосеточных метода адаптивного уточнения.

В работе [75] представлены результаты исследования применения двух технологий распараллеливания, использованных для схем дискретизации в комбинированном методе, сочетающим спектральные и конечно- элементные подходы.

В одном из подходов распараллеливание используется для разделения в Фурье – пространстве фаз решения, где одновременно возможны множественные решения.

Второй подход состоит в разделении в физическом пространстве всех фаз алгоритма и находит множественные последовательные отклики в параллельном решении.

Сравнение методов распараллеливания в Фурье и физическом пространстве показали явные преимущества разделения в пространстве Фурье.

С точки зрения затрат процессорного времени технология сглаживания в алгебраическом многосеточном методе и одноуровневые ILUT- решения хорошо подходят для обоих подходов распараллеливания.

На основе представленных данных можно заключить, что задача моделирования и расчета процессов размыва донных нефтяных отложений как высоко неоднородных сред представляет собой крайне сложную динамическую систему.

На основе представленных данных по методам вычислительной гидродинамики можно отметить следующие обстоятельства:

- современный этап развития представлений о турбулентности характеризуется использованием таких инструментов как теория динамических систем; математического моделирования; интеллектуальных экспертных систем и передовых методов решения сложных дифференциальных уравнений в частных производных с применением суперкомпьютеров;

- в рамках статистической теории турбулентности разработано большое число моделей, развитие которых связано в значительной степени с применением и совершенствованием численных методов, а также теории динамических систем и других подходов. Вместе с тем, ряд новых идей, предложенных Белоцерковским О. М., ставят под сомнение сам подход на основе расчета усредненных характеристик потока из линеаризованных

уравнений;

- для решения сложных задач турбулентности получают развитие комплексные методы, сочетающие многосеточные технологии, параллельные вычисления, модели динамики больших вихрей (LES) и отрывных вихрей (DES), прямое численное моделирование (DNS) и др. инструменты.

Отмечено, что моделирование размыва осадка массива нефтяного отложения с использованием электромеханических мешалок «Диоген» должно учитывать протекание таких процессов как:

- результат воздействия лопастей мешалки на нефтяной осадок- образование новой динамической среды- – нефтяной струи;
- формирование нефтяной струи с определением ее характеристик- физический и химический состав, плотность, давление, вязкость, скорость и иные показатели;
- описание воздействия нефтяной струи на пассивный массив отложений с вероятными последствиями- потерей энергии струи и поступлением этой энергии в соприкасающиеся со струей сектора пассивного потока с организацией движения вторичных потоков в пределах пассивного массива.

4. Методы вычислительной гидродинамики и программные продукты при решении практических задач размыва донных отложений

Решение практических задач размыва донных отложений предполагает выстраивание определенной логической последовательности действий, в фундамент которых могут быть заложены результаты исследований предшествующих глав настоящей работы.

4.1 Предпосылки моделирования и построения алгоритмов расчетных решений размыва донных отложений

Предмет исследования настоящей главы-методология решения практических задач размыва донных отложений с использованием электромеханических мешалок.

Ранее было показано, что отложения в нефтяных резервуарах характеризуются как высоко неоднородные среды по химическому составу, физико-химическим параметрам и иным показателям.

Также были сделаны предварительные замечания относительно подходов к моделированию размыва осадка массива нефтяного отложения с использованием электромеханических мешалок «Диоген». Отмечено, что при построении схем моделирования должно учитываться такие процессы как:

- результат воздействия лопастей мешалки на нефтяной осадок- образование новой динамической среды-нефтяной струи;
- формирование нефтяной струи с определением ее характеристик- физический и химический состав, плотность, давление, вязкость, скорость и иные показатели;
- описание воздействия нефтяной струи на пассивный массив отложений с вероятными последствиями- потерей энергии струи и поступлением этой энергии в соприкасающиеся со струей сектора пассивного потока с

организацией движения вторичных потоков в пределах пассивного массива.

Как еще одно принципиальное обстоятельство состоит в том, что практически отсутствуют исследования и экспериментальные данные по состоянию и характеристикам донных отложений при хранении в статическом состоянии.

Переход на принципиально более сложный динамический уровень, осуществляемый с использованием электромеханических мешалок, делает решение описания процессов размыва мало перспективным занятием.

Более разумных в этих обстоятельствах представляется постановка некоторых упрощенных задач, при этом степень упрощения достаточно сложно сформулировать.

В этом отношении нижеследующие примеры решения задач практической направленности представляет интерес с точки зрения анализа попыток преодолеть имеющиеся ограничения.

4.2 Методология решения практических задач размыва донных отложений

В исследовании [76] с использованием оболочечной конечно – элементной модели решали задачу изучения поведения конструкции резервуара при возникающих в процессе размыва нагрузках, инициируемых электромеханическими мешалками.

Актуальность указанной задачи была продиктована необходимостью оценки опасности эксплуатации резервуара в случае применения электромеханических мешалок, работа которых сопровождается возникновением дополнительных нагрузок на конструкции резервуара.

При этом указано, что решить поставленную задача оценки дополнительных конструктивных воздействий с опорой исключительно на аналитические методы, либо композицию известных решений, не представляется возможным.

Такое положение продиктовано сложностью описания работы устройства динамической активации, а также тем, что возникающее в резервуаре динамическая среда приводит к образованию существенно двухфазной системы, физические свойства которой (вязкость и плотность) характеризуются изменчивостью не только во времени, но и в пространстве.

Отмечено, что ранее уже были сделаны определенные шаги в направлении решения указанной задачи с опорой на методы численного моделирования [77].

Были использованы ресурсы программы инженерного анализа ANSYS в комплексе с модулем FLOTRAN.

Цель моделирования и расчетов – воздействия, инициируемые средством активации движения потоков, а также сопутствующее этому напряженное состояние конструкции.

Обозначены достоинства и недочеты обсуждаемого исследования.

Достоинства – использование для определения напряженного состояния резервуара программного комплекса ANSYS.

В качестве отрицательных сторон отмечены:

- ограниченные возможности модуля FLOTRAN для моделирования сложных гидродинамических систем, а также нагрузок на стенки резервуара;
- слабая адаптация модуля FLOTRAN для моделирования сложных гидродинамических систем, а также нагрузок на стенки резервуара;
- в случае частично заполненного резервуара FLOTRAN не имеет ресурсов для описания проявлений волнообразования на границе раздела сред нефть-воздух;
- еще один недостаток FLOTRAN состоит в невозможности учета принципиально отличающихся реологических свойств неосажденной нефти и осадка, что закрывает вопрос оценки гидродинамических нагрузок на конструкцию резервуара;
- кроме того, FLOTRAN не позволяет обеспечить описание хода размыва во времени, и тем самым, распределение нагрузок на стенки

резервуара на различных его временных этапах.

Для обхода уязвимостей FLOTTRAN использовали программный комплекс FlowVision, при помощи которого выполняли гидродинамические расчеты для исследования характеристик течения при работе винтового устройства.

По результатам исследования благодаря объединению возможностей программ ANSYS и FlowVision, а также с привлечением упрощенной гидродинамической модели, реализован способ корректного решения задачи об исследовании поведения конструкции резервуара при возникающих в процессе размыва нагрузках.

Следует отметить, что в отсутствии экспериментальных подтверждений описанных методов моделирования и расчетов невозможно установить достоверность результатов исследования.

В исследовании [20] приведен алгоритм расчета гидродинамических характеристик турбулентной затопленной струи в резервуаре при вариации температур нефти.

Отмечено, что при вращении лопастей гребного винта устройство размыва, создается направленная затопленная турбулентная струя жидкости, инициирующая определенные схемы потоков нефти в резервуаре.

Выполнение расчетов пространственной задачи привлекли метод конечных объемов с программным комплексом ANSYS CFX.

С использованием указанных средств выполнены конечно-объемные модели [78], описывающие геометрические очертания рассматриваемых расчетных областей и обеспечивающие возможность выполнения расчеты с учетом пространственного турбулентного характера течения.

Аналитическая запись неразрывности для осредненных по времени величин:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k) = 0. \quad (3.1)$$

Аналитическая запись сохранения импульса:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_i u_k) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial \tau_{ik}}{\partial x_k} \quad (3.2),$$

где g_i – сила массовая в i -ом направлении, $g_1=g_2=0$, $g_3=\rho g$,

g – ускорение силы тяжести.

Аналитическая запись для тензора вязких напряжений без учета влияния градиентов давления:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \quad (3.3),$$

где μ – вязкости коэффициент, функция от температуры; δ_{ij} – символ

Кронекера.

Аналитическая запись для энергии турбулентного перемешивания:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i \tau_{ij}) - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((\mu + \sigma^* \mu_T) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) \quad (3.4)$$

Соотношение для удельной скорости диссипации:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \omega) &= \frac{\gamma \omega}{k} \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i \tau_{ij}) - \\ &- \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((\mu + \sigma^* \mu_T) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right). \end{aligned} \quad (3.5),$$

где k – турбулентности кинетическая энергия; ω – частота турбулентных пульсаций.

Применительно к одному из главных расчетных параметров модели – вязкости нефти, принималось, что при температурах ниже 20 °С нефть имеет неньютоновские свойства с привлечением модели вязкости Бингама–Шведова.

На рис. 19 продемонстрирована связь между скоростью размыва до удаленности винта для вариаций температур и отвечающих им показателям вязкости нефти.

На рис. 19 показаны результаты моделирования турбулентной струи использованием в полной пространственной модели винта при высоких температурах нефти.

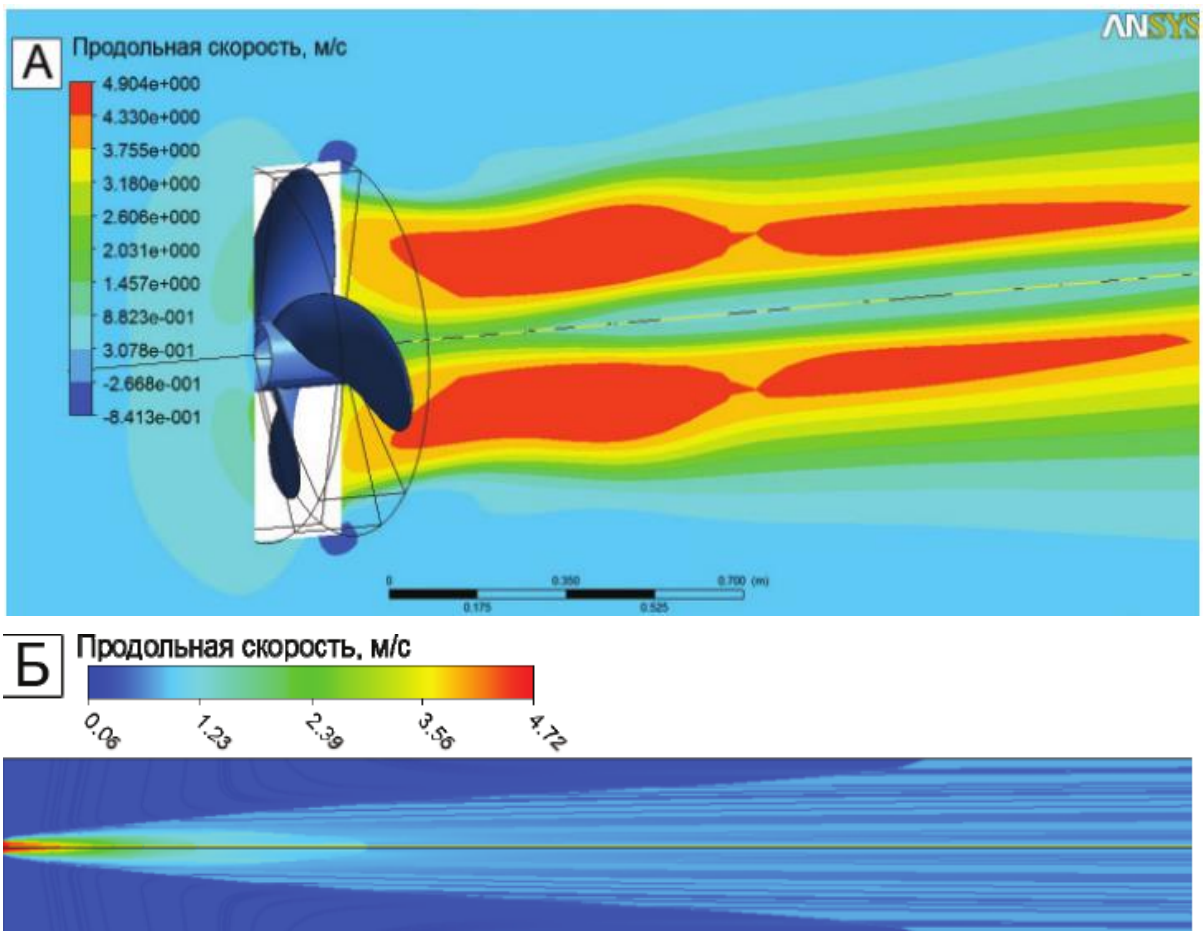


Рисунок 19– при воздействии винта с 460 об/мин в нефти, отвечающей закону Ньютона в области температур выше 20 °С: А – вблизи винта; Б – в бесконечном пространстве

Как видно из рис.19, при скорости винта 460 об/мин продольная скорость сразу же за винтом составляет до 4,9 м/с.

В диапазоне низких температур (менее 15 °С) нефть обладает неньютоновскими свойствами, профили продольной скорости приведены на рис. 20.

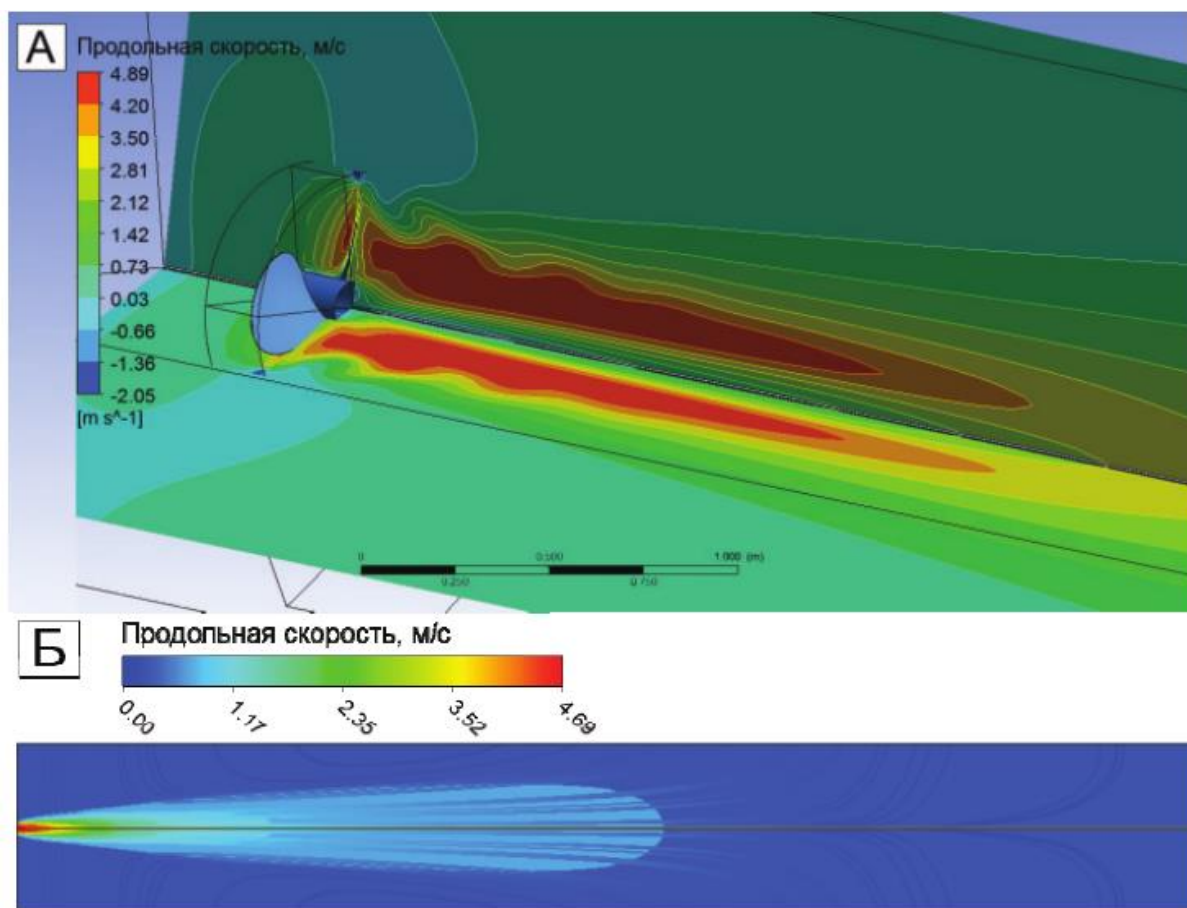


Рисунок 20 – Профили продольной скорости при воздействии винта 460 об/мин; неньютоновская нефть, температура 10 °С: А- вблизи винта; Б - в бесконечном пространстве

Как видно из рис.20, различие между случаями ньютоновской и неньютоновской нефти проявляется в том, что в первом варианте имеются прерывания скорости потока вблизи винта, что не отмечается для неньютоновской нефти.

На рис. 21 приведена зависимость скорости размыва от расстояния до винта в диапазоне температур и отвечающих им вязкостям.

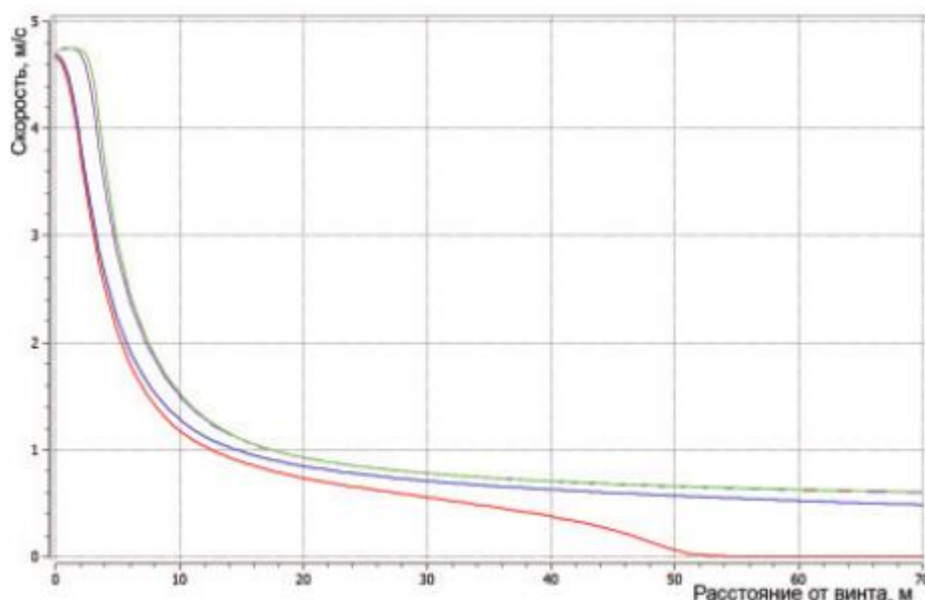


Рисунок 21– График функциональной зависимости скорости размыва от расстояния до винта в диапазоне температур и отвечающих им вязкостям:

- ньютоновская модель -сиреневый цвет, 20 °С или вязкость 30 сСт;
- ньютоновская модель- зеленый цвет, 40 °С или вязкость 9 сСт;
- неньютоновская модель- синий цвет, 15 °С или вязкость 50 сСт;
- неньютоновская модель- красный цвет, 10 °С или вязкость 100 сСт.

Как видно из рис.21, что для ньютоновской жидкости и бесконечного пространства скорость размыва на удалении 60,7 м от винта будет составлять 0,6 м/с при вязкости 30 сСт.

На рис. 22 показаны результаты определения зон размыва при различных температурах и отвечающих им вязкостям.

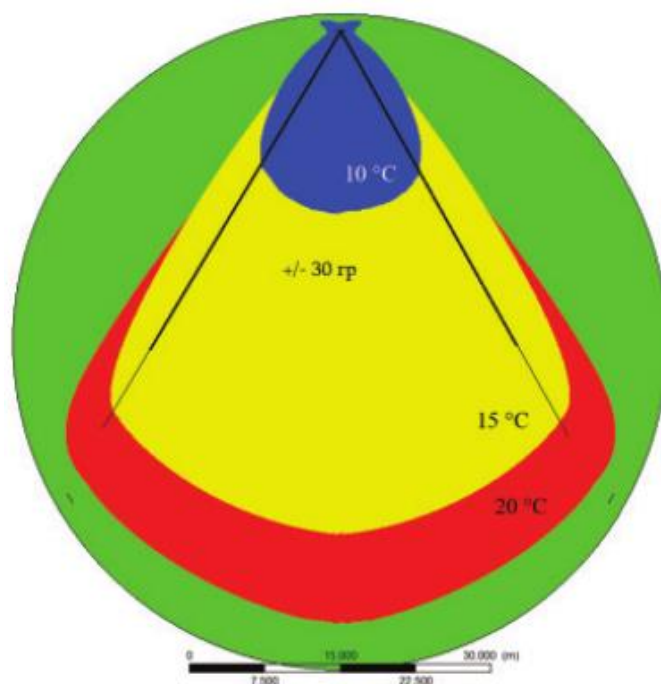


Рисунок 22 – Расположение зон размыва при вариации от температур (20, 15 и 10 °С)

Как следует из данных рис.22, отмечается резкая зависимость площадей зон от температуры.

На рис.23 приведены данные по скорости размыва при разных удаленностях и вязкостях.

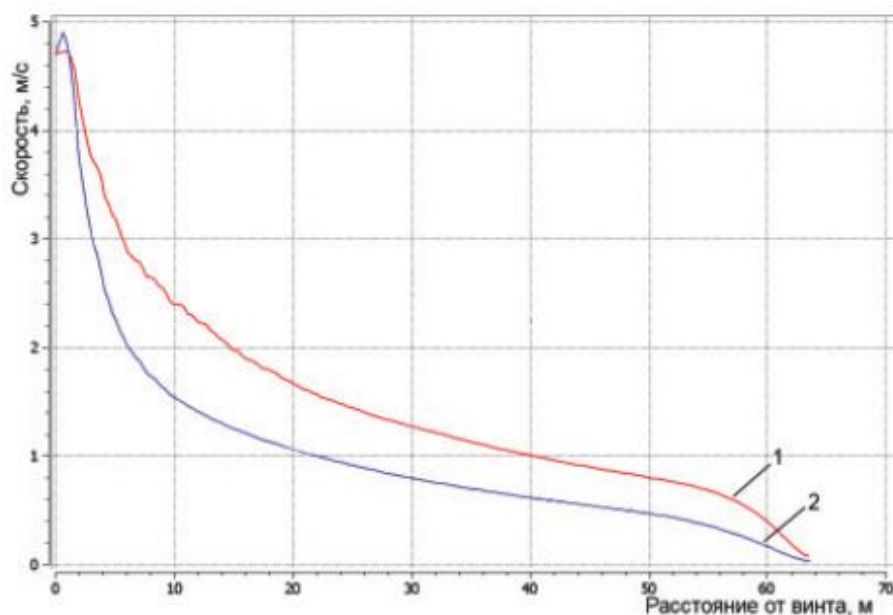


Рисунок 23 – График функциональной зависимости скорости размыва при разных удаленностях и вязкостях: 1 – вязкость 30 сСт (ньютоновская модель); 2 – вязкость 50 сСт (неньютоновская модель)

В [79] решали задачу безопасного исключения накопления осадка в нефтяных резервуарах и использованием струйных гидравлических смесителей, рис.24.

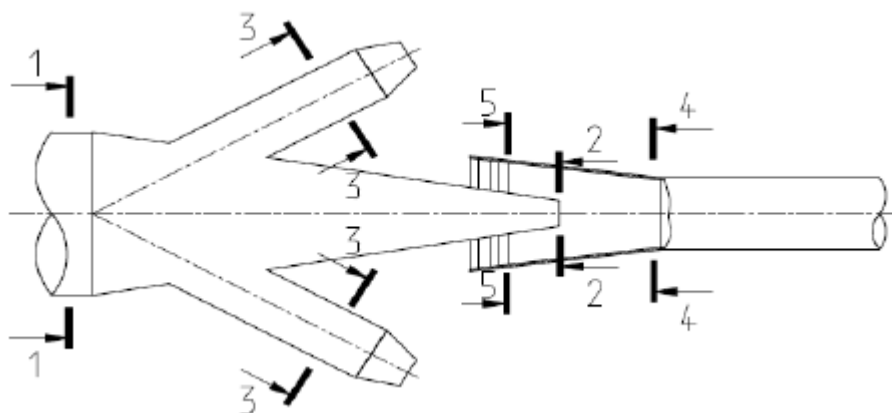


Рисунок 24 – Схема струйного гидравлического смесителя для расчетов: 1 – подходящий патрубков; 2 – сопло центральное; 3 – сопла боковые; 4 – вход в камеру смешения; 5 – конфузор

Отмечено, по имеющимся нормативным требованиям [6, скорость потока на выходе из смесителя не должна превышать 20 – 25 м/с в связи с опасностью накопления статического электричества.

Выходной расход жидкости:

$$Q_0 = V_0 \cdot F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_0, \quad (3.6)$$

где d – диаметр сопла, м; V_0 – скорость потока жидкости на выходе, м/с.

Для определения расхода жидкости, выходящей из сопла, использовано соотношение:

$$Q_x = 2.2 \cdot Q_0 \cdot \left(\frac{a \cdot x}{r_0} + 0.29 \right) \quad (3.7)$$

где, a – коэффициент турбулентности, зависящий от формы насадки и других геометрических параметров; r_0 – радиус сопла, м; x – расстояние от среза сопла, в сечение которого находится расход, м;

Q_x – расход жидкости на удалении x (м) от сопла, м³/с;

Q_0 – расход жидкости на удалении 0 (м) от сопла, м³/с.

Максимальная скорость на удалении x (м) от среза сопла:

$$V_{\max} = \frac{0,96 \cdot V_0}{\left(\frac{a \cdot x}{r_0} + 0,29\right)} \quad (3.8)$$

Радиус струи:

$$R = \left(\frac{3,14 \cdot a \cdot x}{r_0} + 1\right) \cdot r_0 \quad (3.9)$$

На рис. 25 представлены графики зависимости максимальной скорости струи нефти из смесителя СГС вдоль оси распространения.

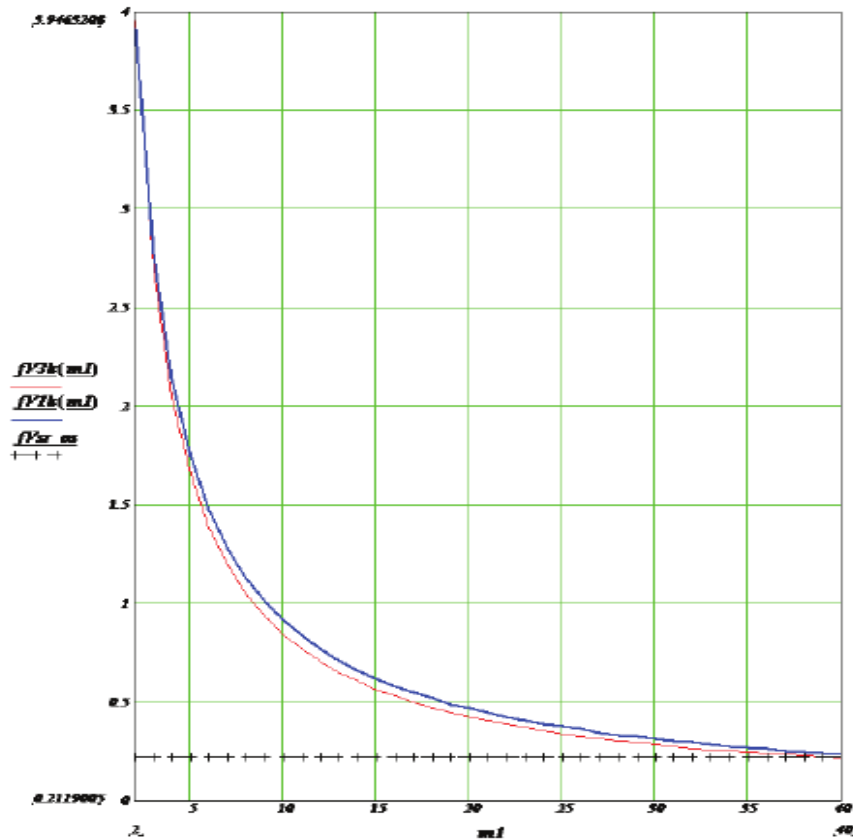


Рисунок 25 – Зависимость максимальной скорости от удаления x (м) от среза сопла в резервуаре (— от боковых сопел; — от центрального сопла, -+-+ срывающая скорость осадка)

На рис.26 приведены сектора распространения струй, исходящих из сопел смесителя СГС в резервуаре.

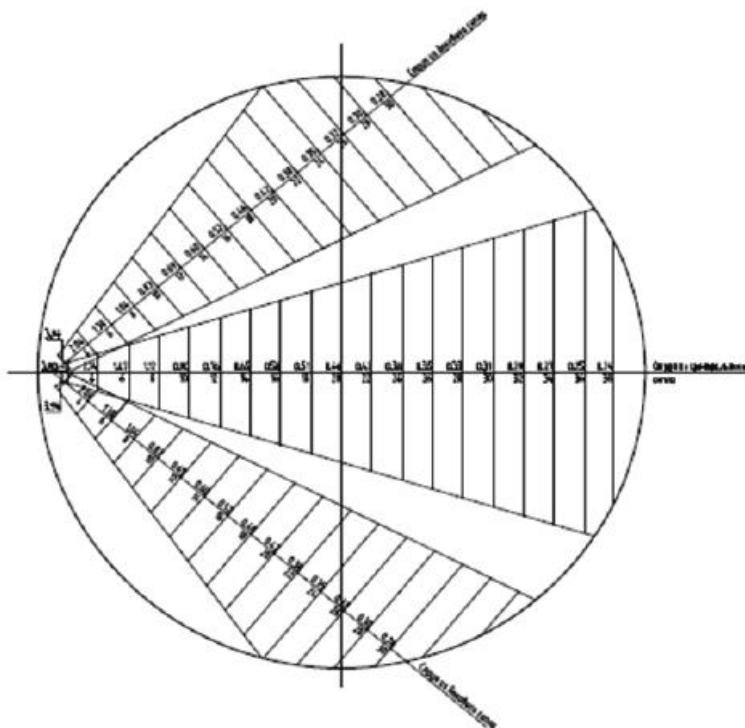


Рисунок 26 – Сектора распространения струй, исходящих из сопел струйного гидравлического смесителя

Как следует из рис. 26, струйный гидравлический смеситель эффективно обрабатывает площадь и объем осадка.

Выводы:

1. Методология решения практических задач размыва донных отложений включает такие подходы как использование программных продуктов и средств вычислительной гидродинамики.

2. Существенным ограничением при выборе программных продуктов становится необходимость описания нефтяного массива как многофазной системы, в которой фазы имеют различные реологические свойства.

3. Следует отметить, что в отсутствии экспериментальных подтверждений описанных методов моделирования и расчетов невозможно установить достоверность результатов исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была поставлена цель изучить принципы моделирования и расчета струйного размыва донных отложений в нефтяных резервуарах.

Также стояла задача рассмотреть методы устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах

Выполнены исследования:

1. Показано, что принципы моделирования и расчета струйного размыва донных отложений в нефтяных резервуарах включает такие подходы как использование программных продуктов и средств вычислительной гидродинамики.

2. По результатам обсуждения методов устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах можно сделать выводы:

- методы управления донными отложениями представлены предупредительными решениями и методами устранения осадка, при этом первая группа методов основана преимущественно на использовании механизированных установок, а вторая группа – на гидравлических подходах;

- перспектива гидравлических методов ограничена задачами обеспечения равномерного распространения энергии по всему объему продукта и недопущения возникновения локальных застойных зон.

3. На основании обсуждения данных по особенностям донных отложений в нефтяных резервуарах можно отметить следующие существенные положения:

- отложения в нефтяных резервуарах могут быть описаны как относительно равновесные среды, имея в виду достаточный срок для протекания процессов осаждения;

- существенно, что отложения в нефтяных резервуарах характеризуются как высоко неоднородные среды по химическому составу, физико- химическим параметрам и иным показателям;

- значимым фактором кинетики осаждения выступает температура, от которой сильно зависят переход парафина из раствора в дисперсное состояние

и обратно;

- приведенные обстоятельства могут служить основанием для заключения, согласно которому при выборе методов для устранения и предупреждения отложений в нефтяных резервуарах следует исходить из применения индивидуализированных решений в соответствии с характеристикой отложений как высоко неоднородных сред по химическому составу, физико-химическим параметрам и иным показателям.

4. Отмечено, что с точки зрения моделирования и расчета процессов размыва донных нефтяных отложений как высоко неоднородных сред представляет собой крайне сложную динамическую систему.

5. Следует отметить, что в отсутствии экспериментальных подтверждений описанных методов моделирования и расчетов невозможно установить достоверность результатов исследования.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ95	Варибрусу Андрею Владимировичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль <u>«Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»</u>

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>В данном разделе ВКР представлен: график выполнения работ, в соответствии с ВКР; трудоёмкость выполнения операций; нормативно-правовая база, используемая для расчётов; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценка эффективности нововведений и др.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочников Единых норм времени (ЕНВ) и др.</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 20% Коэффициент, учитывающий отчисления во внебюджетные фонды 30%.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Расчет капитальных и текущих затрат и финансового результата реализации проекта</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ) 1. Структура работ в рамках научного исследования. 2. Определение трудоёмкости выполнения работ. 3. Разработка графика проведения научного исследования. 4. Бюджет научно-технического исследования. 5. Основная заработная плата исполнительской темы. 6. Дополнительная заработная плата исполнительской темы. 7. Отчисление во внебюджетные фонды. 8. Накладные ресурсы. 9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>1. Определение интегрального показателя эффективности научного исследования. 2. Расчет показателей ресурсоэффективности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Организационная структура управления
Линейный календарный график выполнения работ
Графики динамики и сравнения показателей

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.03.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОДН	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		27.03.2021г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ95	Варибрусу Андрею Владимировичу		27.03.2021г

Экономически выгодная эксплуатация резервуара не может быть обеспечена без должного наблюдения за техническим состоянием и своевременным устранением неполадок. Нарушение прочности и герметичности в резервуарах в большинстве случаев вызывается совокупностью различных неблагоприятных воздействий на конструкции. Элементы резервуара в эксплуатационных условиях испытывают значительные быстроменяющиеся температурные режимы, повышение давления, вакуум, вибрацию, неравномерные осадки и коррозию.

Научное исследование данной диссертации заключается в исследовании процессов размыва донных отложений в резервуарах хранения нефти, с целью продления сроков их эксплуатации. В данной главе проведена оценка перспективности и успешности научно-исследовательской работы.

Для достижения цели необходимо решить задачи такие как:

- анализ конкурентных технических решений
- планирование научно-исследовательских работ;
- расчет бюджета затрат;
- определение ресурсной эффективности исследования.

Таким образом, целью данного раздела является обоснование целесообразности выпускной квалификационной работы, которая отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются коммерческие организации, специализирующиеся в нефтегазовой отрасли, в частности – нефтедобывающие компании. Для данных предприятий модернизируется работа установки по размыву донных отложений РВС,

эксплуатируемых в резервуарных парках хранения нефти.

В таблице 4 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности.

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка

Размер компании	Направление деятельности		
	Проектирование строительства	Выполнение проектов строительства	Разработка вспомогательного оборудования
Мелкая	-	-	+
Средняя	+	+	+
Крупная	+	+	+

Проектирование и разработка вспомогательного оборудования играет не мало важную роль для эксплуатации РВС, так как от правильно подобранного оборудования и его рабочих параметров, зависит срок службы резервуара и эффективность его работы.

5.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта SWOT-анализ применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться. Эти дополнительные сведения затем используются для того, чтобы сделать осознанный выбор относительно областей широкого спектра действия, который учитывает конкурентное и коммерческое преимущества проекта и увеличивает вероятность достижения его целей и задач. SWOT-анализ проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для

реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 5- Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экономичность и энергоэффективность проекта;</p> <p>С2. Индивидуальность проекта;</p> <p>С3. Более низкая стоимость;</p> <p>С4. Актуальность разработки;</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Частая разбалансировка гребного винта;</p> <p>Сл2. Создание дополнительной нагрузки на стенку резервуара;</p> <p>Сл3. Не эффективная работа с вязкими жидкостями;</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность экспортировать;</p> <p>В2. Обеспечение занятости населения;</p> <p>В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Большой потенциал применения обуславливается модернизацией существующей системы, мало распространенной на территории других стран и находящейся на уровне лучших зарубежных аналогов.</p> <p>Использование существующего программного обеспечения позволяет</p>	<p>Санкции, наложенные на РФ, трудности проникновения на конкурентно заполненный рынок.</p> <p>Принятие на работу квалифицированного специалиста.</p> <p>Переподготовка имеющихся специалистов.</p>

	не тратить время и деньги на создание уникального ПО.	
Угрозы: У1. Высокая конкуренция в отрасли; У2. Отсутствие широкого спроса на разработки;	Отсутствие спроса на новые технологии производства.	Медленный ввод данной системы в эксплуатацию позволит переждать возможных скачков на рынке спроса.

С помощью этих данных представляется возможным выявить проблемы стоящие перед разработкой проекта, а так же определить направление использования существующего потенциала для их разрешения. С учетом слабых и сильных сторон проекта, можно сказать, что современные высокие технологии позволяют выполнять разработку и модернизацию подобных технологий с учетом всех нюансов, однако для этого нужен квалифицированный персонал.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ.

Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- обозначение структуры работ в рамках научного исследования;
- установление участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для проведения научных исследования на тему выпускной квалификационной работы формируется перечень основных этапов и работ, проводится распределение исполнителей, в состав которых входят руководитель и инженер. Порядок составления этапов и работ, распределение

исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Этапы работы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовка технического задания	1	Выбор темы исследования	Научный руководитель
	2	Составление и утверждение технического задания	инженер
Выбор направления технического проектирования	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Изучение объекта исследования	Инженер
	5	Календарное планирование работ	Научный руководитель, инженер
	6	Описание условий эксплуатации	Инженер
	7	Описание условий эксплуатации	Инженер
	8	Разработка схемы	Инженер
	9	Проектирование модели и проведение экспериментов	Научный руководитель, инженер

	10	Расчет показателей эффективности	Научный руководитель, инженер
	11	Анализ наработанного материала	Научный руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
Оформление отчета по исследовательской работе	13	Составление пояснительной записки	Инженер
	14	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = (3t_{mini} + 2t_{maxi})/5$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = t_{ожи} / Ч_i$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Для наиболее удобной и наглядной реализации данного проекта строится ленточный график исполнения научных работ в виде диаграммы Ганта.

Для более удобного построения графика, длительность каждого из этапов работ переводится из рабочих дней в календарные. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = T_{\text{кал}} / (T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}})$$

где $T_{\text{кал}}=365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}=53$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}=15$ – количество праздничных дней в году.

Тогда длительность первой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
Выбор темы исследования	1	2	1,4	Руков., инженер.	0,7	0,86
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	Руков., инженер.	0,7	0,86
Подбор и изучение материалов по теме	6	8	6,8	Инжен.	6,8	8,36
Изучение объекта исследования	7	9	7,8	Инжен.	7,8	9,59
Календарное планирование работ	1	2	1,4	Руков., инженер.	0,7	0,86
Описание условий эксплуатации	3	5	3,8	Инжен.	3,8	4,67
Изучение имеющихся вариантов	2	3	2,4	Инжен.	2,4	2,95
Разработка схемы	3	5	3,8	Инжен.	3,8	4,67

Проектирование модели и проведение экспериментов	6	12	8,4	Руков., инжен.	4,2	5,17
Расчет показателей эффективности	5	8	6,2	Руков., инжен.	3,1	3,81
Анализ наработанного материала	3	5	3,8	Руков., инжен.	1,9	2,34
Оценка эффективности полученных результатов	3	4	3,4	Руков., инжен.	1,7	2,09
Составление пояснительной записки	2	3	2,4	Инжен.	2,4	2,95
Проверка выпускной квалификационной работы	2	3	2,4	Руков., инжен.	1,2	1,48
Итого	45	71	55,4	Итого	41,2	50,66

На основании таблицы 7 строим календарный план-график, представленный в таблице 8.

Для упорядочения и систематизации технических работ был разработан график занятости для научного руководителя и инженера, а также была составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая более качественно оценить и спланировать время работы исполнителей проекта.

5.4 Бюджет научно-технического исследования

Основная заработная плата исполнителей темы

В процессе планирования бюджета НТИ в полной мере должны быть рассчитаны все виды расходов, связанные с его выполнением. При формировании бюджета НТИ используются следующие затраты по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на амортизацию оборудования;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат

В материальные затраты включается стоимость приобретаемого сырья и материалов, запасные части для ремонта оборудования и другие быстроизнашивающиеся предметы, необходимые для разработки проекта. Все материальные затраты определяются по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к

использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м и т.д.)

k_T – (коэффициент) транспортно-заготовительные расходы.

$$Z_M = (1+0,2) \cdot ((12 \cdot 51) + (22 \cdot 4) + (270 \cdot 3)) = 1812 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизацию оборудования

В данной статье рассчитываются затраты, связанные с приобретением специального ПО, который необходим для проведения работ по исследовательской теме. Расчет бюджета затрат на приобретение ПО для научных работ представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет амортизации оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб
1	Программное электронное устройство (компьютер)	1	30000	30000
Итого				30000

В связи с длительностью использования, учитывается данная стоимость с помощью амортизации:

$$A = C_m \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{T_{\text{кал.инж.}}}{T_{\text{кал.}}} = 3000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{51}{365} = 2096 \text{ руб.}$$

Полная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Величина основной зарплаты исполнителей рассчитывается из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов.

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-15 % от $Z_{\text{осн}}$).

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = T_p + Z_{\text{дн}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Месячная зарплата научно-технического работника определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{\text{окл}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_p$$

где $Z_{\text{окл}}$ - заработная плата по тарифной ставке; $k_{\text{пр}}$ - премиальный коэффициент, равный 0,3; k_p - районный коэффициент, для наших исследуемых зон возьмем усредненный 1,3.

Находим основную заработную плату руководителя НИИ:

$$Z_M = Z_{\text{окл}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_p = 25000 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 42250 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M}{T_{k \text{ окл}}} = \frac{42250}{26} = 1625 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = T_p + Z_{\text{дн}} = 1625 \cdot 9 = 14625 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot 0,15 = 14625 \cdot 0,15 = 2194 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 14625 + 2194 = 16819 \text{ руб.}$$

По аналогии рассчитаем заработную плату инженера за данную исследовательскую работу:

$$Z_M = Z_{\text{окл}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_p = 18000 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 30420 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M}{T_{k \text{ окл}}} = \frac{30420}{26} = 1170 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = T_p + Z_{\text{дн}} = 1170 \cdot 42 = 49140 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot 0,15 = 49140 \cdot 0,15 = 7371 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 49140 + 7371 = 56511 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Страховые отчисления рассчитываются по установленным законодательством Российской Федерации нормам органами государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,30 * (63765 + 9565) = 21999 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

В соответствии с Федеральным законом от 01.01.2017 гл.34 НК РФ размер страховых взносов равен 30%.

Таблица 10 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	14625	2194
Инженер	49140	7371
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Отчисления во внебюджетные фонды		
Руководитель	5046	
Инженер	16953	

Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя другие затраты, не включенные в предыдущие статьи расходов. Они определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot Z_{\text{проч}} = 0,16 * (63765 + 9565 + 21999 + 2096) = 15588 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы равный 16%.

Формирование бюджета затрат НИИ

Бюджет затрат проекта защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно- технической продукции, который основывается на величине затрат научно-технического исследования.

В таблице 11 приведен бюджет затрат на научно-техническое

исследование по каждому варианту исполнения.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля в %
1. Материальные затраты	1812	1,6
2. Затраты на основную заработную плату исполнителей темы	637656	55,5
3. Затраты на дополнительную заработную плату исполнителей темы	9565	8,3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	21999	19,2
5. Амортизация	2096	1,8
6. Накладные расходы	15588	13,6
Итого бюджет затрат НИИ	114825	100

Определение ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность научной разработки можно определить по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, определяется экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик разработки

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Срок службы	0,12	4
2. Надежность	0,09	5
3. Простота эксплуатации	0,09	5

4. Ремонтпригодность	0,18	5
5. Удобство эксплуатации	0,06	5
6. Уровень шума	0,07	4
7. Повышение производительности	0,23	5
8. Безопасность	0,16	5
Итого	1	38

Интегральный показатель ресурсоэффективности для исследуемой разработки:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i = 4,81$$

Рассчитанная оценка ресурсоэффективности разработки является достаточно высокой (4,81), что говорит об эффективности реализуемой разработки с позиции ресурсной эффективности.

В итоге была доказана конкурентоспособность данной установки для модернизации, по сравнению с другими аналогичными установками, был разработан график занятости, который ограничил выполнение работы в 51 дня. Также был посчитан бюджет НТИ равный 114825 руб, большая часть которого тратится на зарплаты исполнителей проекта. Все, вышеперечисленные технико-экономические показатели проекта, позволяют сделать вывод о том, что выполнение данного проекта и его реализация является значимой и эффективной задачей, ведь моделирование и анализ гидродинамических процессов размыва донных отложений позволит увеличить коэффициент полезного действия установки, и, как следствие, повысит экономическую эффективность всего резервуарного парка.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ95	Варибрус Андрей Владимирович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело

Тема ВКР:

Моделирование струйного размыва донных отложений в нефтяных резервуарах	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объект исследования: резервуар вертикальный стальной для хранения нефти Область применения: резервуарный парк</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс РФ:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ст. 117 ТК РФ; - ст. 147 ТК РФ; - ст. 297 ТК РФ. <p>ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности».</p>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<p>При эксплуатации резервуаров возможно наличие вредных и опасных производственных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> -повышенный уровень шума; -загазованность воздуха рабочей зоны; -повышенный уровень статического электричества; -повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; -повышенная или пониженная влажность воздуха; -выполнение работ на высоте; -повышенная или пониженная подвижность воздуха; -недостаточная освещенность на рабочем месте;

	<p>-наличие в жидких и газообразных фракциях углеводородов, их соединений и других вредных веществ;</p> <p>-воздействие на организм человека электрического тока;</p> <p>-образование взрывоопасной среды;</p> <p>-повышенный уровень рабочей зоны по высоте и глубине.</p>
3. Экологическая безопасность:	<p>Атмосфера: выброс вредных и токсичных веществ.</p> <p>Гидросфера: загрязнение поверхностных водных источников и подземных вод.</p> <p>Литосфера: утечка или разлив вредных и токсичных веществ.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные чрезвычайные ситуации могут возникнуть в результате внезапного выброса токсичных веществ в атмосферу, разгерметизации оборудования приводящих к возникновению взрыва и развитию пожара.</p> <p>Наиболее вероятные ЧС: взрыв газо-воздушной смеси.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Сечин Александр Иванович	д-р.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ95	Варибрус Андрей Владимирович		

6. Социальная ответственность

Введение

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию процессов размыва донных отложений в резервуарах вертикальных стальных.

За рабочую зону принимается резервуарный парк хранения нефти, режим работы объекта - непрерывный круглосуточный. Климат - континентальный, что проявляется в больших месячных и годовых колебаниях температуры воздуха.

Согласно Федеральному закону ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [81] резервуары относят к опасным производственным объектам. Опасность объекта связана с используемыми в процессе производства опасными веществами, пожаро- и взрывоопасностью оборудования.

В разделе рассматривается возможное влияние используемого оборудования, сырья, энергии, продукции и условий работы на человека и окружающую среду; техника безопасности при работе с оборудованием и действия при чрезвычайных ситуациях.

Исследование позволит модернизировать систему размыва осадка, что в некоторой мере решит проблему утилизации сырья и его негативного влияния на окружающую среду, здоровье работников, обслуживающих резервуарные парки.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства

При эксплуатации резервуара требования по охране труда определяются законом «Закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов», «Об основах охраны труда в РФ».

Согласно ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [82] производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих.

Так как место работы находится на значительном удалении от места постоянного проживания работников, применяется вахтовый метода работы. Работники, привлекаемые к работам вахтовым методом, в период нахождения на объекте производства работ обеспечены проживанием в специально создаваемых работодателем вахтовых поселках, представляющих собой комплекс зданий и сооружений, предназначенных для обеспечения жизнедеятельности указанных работников во время выполнения ими работ и междусменного отдыха, либо в приспособленных для этих целей и оплачиваемых за счет работодателя общежитиях, иных жилых помещениях.

Государственные гарантии и компенсации лицам, работающим в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, устанавливаются настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Для работников, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях предоставляется ежегодный

дополнительный оплачиваемый отпуск для лиц, постоянно работающих: в районах крайнего Севера – 24 календарных дня, в местностях, приравненных к районам крайнего севера, - 16 календарных дней.

Работники подлежат обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, и имеют право на бесплатное обучение безопасным методам и приемам работы без отрыва от производства, а также с отрывом от производства в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации, с сохранением среднего заработка и оплатой командировочных расходов;

Пенсия в связи с работой на Крайнем Севере устанавливается: мужчинам - по достижении 55 лет и женщинам - по достижении 50 лет, если они проработали не менее 15 календарных лет в районах Крайнего Севера либо не менее 20 календарных лет в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, и имеют общий трудовой стаж соответственно не менее 25 и 20 лет.

Гражданам, работавшим как в районах Крайнего Севера, так и в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, пенсия устанавливается за 15 календарных лет работы на Крайнем Севере. При этом каждый календарный год работы в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, считается за девять месяцев работы в районах Крайнего Севера.

Так же существуют дополнительные выплаты для лиц, которые задействованы на опасных или вредных предприятиях. Такие перечисления называются пенсией за вредность. Назначается она лицам до общепринятого срока выхода на пенсию.

Дополнительные гарантии и компенсации указанным лицам могут устанавливаться законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления, коллективными договорами,

соглашениями, локальными нормативными актами исходя из финансовых возможностей соответствующих субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и работодателей.

Обработка персональных данных работника подразумевает соблюдение определенных правил. В целях обеспечения прав и свобод человека и гражданина работодатель и его представители при обработке персональных данных работника обязаны соблюдать общие требования, изложенные в 14 главе Трудового Кодекса РФ.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Персонал допускается к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ. Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов. Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается. Рабочая зона обеспечивается первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам. Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и сооружений, доступа к противопожарному оборудованию.

6.2 Производственная безопасности

Выполнение работ на опасных производственных объектах, включающих резервуарные парки хранения нефти, сопровождается вредными и опасными факторами согласно [83], приведенными в таблице 13.

Таблица 13 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (Гост 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу	-	+	+	Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005-88 [84]. Требования к СИЗ не накапливающих статическое электричество ГОСТ 12.4.124-83 [85]. Для выполнения работ на высоте необходимо предусмотреть наличие исправных оградительных средств по ГОСТ 12.4.059 [86] и защитных приспособлений по ГОСТ 26887 [87], ГОСТ 27321 [88], ГОСТ 27372 [89]. Требования к освещению устанавливаются СНиП 23-05-95 [90]. Требования электробезопасности регламентируются ГОСТ 12.1.038-82 [91]; Уровень шума должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003-83[92]; Требования к вибрационной безопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.012-90[93];
Повышенный уровень шума	+	+	+	
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	-	
Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны, рабочей зоны	+	+	+	
Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны	+	+	+	
Опасность поражения электрическим током	+	+	+	
Опасность механических повреждений	+	+	+	

6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Обслуживание резервуара является работой повышенной опасности, при эксплуатации которой возможны опасные и вредные производственные факторы.

Рассмотрим вредные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при обслуживании резервуарного парка.

Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу

Главным источником формирования данного фактора является возможная разгерметизация трубопроводов или оборудования в процессе работы, что может вызвать отравление парами углеводородов.

Взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, продуктов, готовой продукции и отходов производства приведены в таблице 14 [94].

Таблица 14 – Взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, продуктов, готовой продукции и отходов производства

№	Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов производства	Агрегатное состояние	Класс опасности	Температура, °С			Концент р. пределы распространения пламени, % об.		Характеристика токсичности	ПДК в воздухе рабочей зоны про изв. помещений, мг/м3
				Вспышки	Воспламенения	Самовоспламенения	Нижний	Верхний		
1	Природный газ	Газ	4	-188	–	550	3	15	Наркотическое воздействие, удушье	300
2	Нестабильный газовый конденсат	ж	4	-44	–	286	2,5	5,2	Наркотическое воздействие	300
3	Стабильный газовый конденсат	ж	4	-23	–	233	4,9	5,2	Наркотическое воздействие	300
4	Метанол	ж	3	6	13	440	7,3	36	Опьянение, потеря зрения	5
5	Нефть	ж	4	-18	20	233	1,4	6,5	Головная боль, головокружение	300

В целях достижения безопасности персонала необходимо соблюдать требования:

– допуска персонала, имеющего специальную подготовку, определенную требованиями норм и правил и квалификацию;

- безопасных приемов и методов труда;
- мер газовой и пожарной безопасности;
- по применению средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения с отработкой приемов их использования;

Повышенный уровень шума

Высокий уровень шума негативно влияет на нервную систему работника, сокращает среднюю продолжительность жизни, становится причиной возникновения многих опасных болезней. При этом чем длительнее воздействие шума на человека, тем серьезнее последствия.

Допустимый уровень шума составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА.

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся совершенствование технологии ремонта и своевременное обслуживание оборудования; использование средств звукоизоляции. Также необходимо использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

В качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки-вкладыши, заглушающая способность которых составляет 6 дБА. В случаях более высокого превышения уровней шума следует использовать наушники, надеваемые на ушную раковину. Наушники могут быть независимыми либо встроенными в головной убор или в другое защитное устройство;

Превышение уровней вибрации.

Среди профессиональных заболеваний вибрационная болезнь занимает одно из ведущих мест. Этиологическим фактором развития заболевания является производственная вибрация.

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей

вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116 дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6–9 Гц.

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены организационно-техническими мероприятиями; применением вибробезопасного оборудования и инструмента; применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения;

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Продолжительная работа при недостаточном освещении приводит к снижению производительности и безопасности труда. Поэтому для резервуарных парков необходимо предусматривать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна быть не менее 2 лк независимо от применяемых источников света. При подъеме или перемещении грузов должна быть освещенность места работ не менее 5 лк при работе вручную и не менее 10 лк при работе с помощью машин и механизмов [95].

Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны

В настоящее время для оценки допустимости проведения работ и их нормирования на открытом воздухе в условиях крайнего севера (а также в районах, приравненных к районам крайнего Севера) используется понятие предельной жесткости погоды (эквивалентная температура, численно равная сумме отрицательной температуре воздуха в градусах Цельсия и удвоенной скорости ветра в м/с), устанавливаемая для каждого района решением местных региональных органов управления.

Предельная жесткость погоды, ниже которой не могут выполняться работы на открытом воздухе, колеблется в пределах от -40 до -45 °С.

При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже -25 °С работающим на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых

помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-разгрузочных работах, и другим работникам, ежедневно должен быть обеспечен обогрев в помещении, где необходимо поддерживать температуру около $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены в зимнее время спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица.

Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию доврачебной помощи.

В рабочих зонах помещения и площадки обслуживания температура воздуха различна в теплый и холодный периоды года.

Интенсивность теплового облучения от работающих агрегатов и от нагретых поверхностей не должна превышать 35 Вт/м^2 при облучении 50% поверхности тела, 70 Вт/м^2 при облучении 25-50% поверхности тела и 100 Вт/м^2 при облучении менее 25%. Максимальная температура при этом 28°C (301 K).

Для поддержания микроклимата предусматриваются приточная и вытяжная вентиляции, нагреватели и кондиционеры.

Профилактика перегревания работников осуществляется организацией рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха, использования средств индивидуальной защиты.

Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны

Контроль воздушной среды должен проводиться с периодичностью 1 раз в 30 мин; по первому требованию ответственного лица за проведение работ; по первому требованию исполнителей работ по наряду-допуску; после перерыва в работе 1 час.

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не

должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). ПДК пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м³, для природного газа ПДК 300 мг/м³.

Нефть по санитарным нормам относится к 4-му классу опасности.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

При работе с вредными веществами должно быть обеспечено регулярное обезвреживание и дезодорирование СИЗ.

Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны.

Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах, защитных очках и комбинезонах. При загазованности траншеи или котлована в результате утечки газа необходимо прекратить работу и вывести людей, запретив курить, зажигать спички или пользоваться открытым огнем.

Опасность поражения электрическим током

Опасность воздействия электрического тока на организм человека зависит от электрического сопротивления тела и приложенного к нему напряжения, силы тока, длительности его воздействия, путей прохождения тока через человека, рода и частоты тока, индивидуальных особенностей человека, окружающей среды и ряда других факторов.

Таблица 15 – Степени воздействие тока на человека

Сила тока, мА	Воздействие на человека	
	Переменный ток	Постоянный ток
	50-60 Гц	
0,5–1,5	начало ощущения, лёгкое дрожание пальцев рук	не ощущается

2–3	сильное дрожание пальцев рук	не ощущается
5–7	судороги в руках	зуд, ощущение нагрева
8–10	трудно оторвать руки от электродов, сильные боли в пальцах, кистях рук и предплечьях	усиление нагрева
20–25	паралич рук, оторвать их от электрода невозможно, сильные боли, дыхание затруднено	ещё большее усиление нагрева
50–80	остановка дыхания, начало фибрилляции сердца	сильное ощущение нагрева, сокращение мышц рук, судороги, затруднение дыхания
90–100	остановка дыхания, при длительном воздействии - 3 сек. и более следует остановка сердца	остановка дыхания

Существенное влияние на исход действия электрического тока оказывает путь прохождения тока в теле человека: чем больше жизненно важных органов подвержено действию тока, тем тяжелее исход поражения.

Для максимальной защиты персонала необходимо изолировать токоведущие части оборудования; заземлять точки с источника питания или искусственной нейтральной точки; применять СИЗ, не проводящие токи; устанавливать знаки предостережения в местах повышенной опасности.

Опасность механических повреждений

При работе с РВС обслуживающий персонал подвергается опасности получения механических повреждений. Для предотвращения повреждений необходимо соблюдать технику безопасности.

В целях достижения безопасности персонала необходимо соблюдать требования:

- оформлять наряд-допуск на проведение работ повышенной опасности;

– места прохода и доступа к техническим устройствам, на которых требуется подъем обслуживающего персонала на высоту до 0,75 м, оборудуются ступенями, а на высоту выше 0,75 м - лестницами с перилами;

– в местах прохода людей над трубопроводами, расположенными на высоте 0,25 м и выше от поверхности земли, площадки или пола, должны быть устроены переходные мостики, которые оборудуются перилами, если высота расположения трубопровода более 0,75 м;

– рабочие площадки и площадки обслуживания, расположенные на высоте, должны иметь настил, выполненный из металлических листов с поверхностью, исключающей возможность скольжения, или досок толщиной не менее 0,04 м, и, начиная с высоты 0,75 м, перила высотой 1,25 м с продольными планками, расположенными на расстоянии не более 0,4 м друг от друга, и борт высотой не менее 0,15 м, образующий с настилом зазор не более 0,01 м для стока жидкости;

– работы, связанные с опасностью падения работающего с высоты, должны проводиться с применением предохранительного пояса;

– узлы, детали, приспособления и элементы технических устройств, которые могут служить источником опасности для работающих, а также поверхности оградительных и защитных устройств должны быть окрашены в сигнальные цвета;

– открытые движущиеся и вращающиеся части технических устройств ограждаются или заключаются в кожухи; такие технические устройства должны быть оснащены системами блокировки с пусковыми устройствами, исключающими пуск их в работу при отсутствующем или открытом ограждении;

– снятие кожухов, ограждений, ремонт технических устройств проводится только после отключения электроэнергии, сброса давления, остановки движущихся частей и принятия мер, предотвращающих случайное приведение их в движение вследствие ошибочного или

самопроизвольного включения аппаратов, под действием силы тяжести или других факторов; на штурвалах задвижек, шиберов, вентилей должны быть вывешены плакаты "Не открывать! Работают люди", на пусковом устройстве обязательно вывешивается плакат: "Не включать, работают люди".

6.4 Экологическая безопасность

Проведение природоохранных мероприятий должно обеспечивать возможность сохранения существующего до начала эксплуатации и потенциально достижимого при эксплуатации:

- уровня загрязнения природной среды;
- локализацию и уменьшение активности опасных природных процессов

Основными типами антропогенных воздействий на природу являются:

- загрязнение окружающей среды промышленными и бытовыми отходами; развитие отрицательных физико – геологических процессов в зоне строительства и эксплуатации объектов;
- загрязнение окружающей среды нефтью и конденсатом вследствие несовершенства технологии, аварийных разливов и несоблюдение природоохранных требований;
- Основными мерами по охране окружающей среды являются: – сокращение потерь нефти и конденсата, повышение герметичности и надежности промыслового оборудования;
- оптимизация процессов сжигания топлива, снижение образования токсичных продуктов сгорания.

Защита атмосферного воздуха от загрязнения

При хранении нефтепродуктов в резервуаре образовывается газовоздушная смесь, которая через дыхательные клапаны выходит в атмосферу, это называется «большие дыхания» резервуара.

Для исключения вредного воздействия на воздушный бассейн природоохранные мероприятия заключаются в поддержании всего транспортного парка в исправном состоянии, осуществлении постоянного контроля на соответствие требованиям нормативов уровня выбросов в атмосферу вредных веществ.

Уменьшение газового пространства, это один из наиболее эффективных методов борьбы с потерями от испарения и выбросом в окружающую среду.

Немаловажным фактором является в целом состояние резервуара. Наличие коррозии и различных видов дефектов также приводит к большим потерям и выбросам.

Защита поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения

Значительное отрицательное воздействие на гидросферу оказывают разливы нефти, которые могут быть связаны с несоблюдением норм технической безопасности, а также в связи со стихийными бедствиями.

Должно проводиться инструктажи обслуживающего персонала по вопросам соблюдения норм и правил экологической безопасности, требований санитарно-эпидемиологической службы, ознакомление его с особым режимом деятельности в водоохраных и санитарно – защитных зонах водотоков и водозаборов с целью минимизации и предупреждения вредного антропогенного воздействия.

При попадании нефти в водоемы на поверхности воды образуется пленка, препятствующая воздушному обмену, вследствие чего приносит значительный ущерб живущим организмам.

Существуют термический, механический, биологический и физико-химический методы локализации разливов нефтепродуктов. Основным методом считается механический. Большая эффективность этого метода достигается в начале разлива, когда толщина нефтяного слоя остается большой.

Защита литосферы от загрязнения

Литосфера – твердая оболочка Земли, включающая земную кору и мантию.

Загрязнение почв нефтью приводит к значительному экологическому и экономическому ущербу: понижается продуктивность лесных ресурсов, ухудшается санитарное состояние окружающей среды. Земельные участки, отведенные в постоянное пользование, благоустраиваются с использованием предварительно снятого почвенно-растительного слоя. Земли, передаваемые во временное пользование, подлежат восстановлению (рекультивации). Земельные участки приводятся в пригодное для использования по назначению состояние в ходе работ, а при невозможности этого не позднее, чем в течение года после завершения работ.

С целью минимизации рисков вредного воздействия на почву выполняются следующие природоохранные мероприятия. Приказом по предприятию назначается лицо, ответственное за сбор, временное хранение и организацию своевременного вывоза отходов, образующихся в результате проведения работ. На участке должен проводиться постоянный контроль за состоянием рабочих емкостей и контейнеров с отходами. Места временного хранения и накопления отходов должны соответствовать требованиям техники безопасности, санитарно-гигиеническим нормам и выше перечисленным инструкциям. Места сбора и накопления отходов должны быть оборудованы углекислотными огнетушителями, ящиками с песком, лопатой, войлоком, кошмой или асбестом.

Строительные работы, в связи с требованиями лесного хозяйства, обязаны:

- обеспечить минимальное повреждение почв, травянистой и моховой растительности;
- произвести очистку лесосек и ликвидировать порубочные остатки;
- не допускать повреждения корневых систем и стволов опушечных деревьев.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На объектах для хранения нефти могут произойти различного рода аварии, которые могут привести к чрезвычайным ситуациям. Это и пожары, и взрывы при проведении ремонтных работ с несоблюдением требований безопасности по ремонту и эксплуатации, кроме того при эксплуатации резервуаров и сопутствующего оборудования существует вероятность аварийного разлива нефти, выброса вредных и токсичных веществ в атмосферу.

Основными методами, способствующими уменьшению масштабов ЧС, являются:

- Обучение персонала навыкам поведения в ЧС.
- Усиленный контроль за состоянием объекта.
- Первичная система пожаротушения;
- Во избежание аварийного разлива нефти, каждый резервуар должен быть огражден земляным обвалованием.
- Система оповещения населения, персонала объекта и органов управления для своевременных необходимых мер по защите населения.

Наиболее вероятным ЧС в нефтегазовой сфере является возгорание на производственном объекте, как частный случай техногенной ЧС. Его источником могут быть несчастный случай, халатность работников, неисправность электрооборудования, недостаточная герметичность

объектов на пожароопасных территориях производственного комплекса и другие причины.

В случае обнаружения подобной ЧС основными для работника являются следующие действия:

- если справиться с огнем за несколько секунд не удалось, нужно немедленно сообщить о пожаре по телефону в пожарную охрану;

- вызвать к месту пожара руководителя подразделения;

- принять усиленные меры по эвакуации людей и тушению пожара.

Действия прибывшего к месту пожара руководителя подразделения:

- продублировать сообщение о пожаре в пожарную часть;

- привлечь к тушению добровольную пожарную дружину и поставить в известность администрацию объекта;

- организовать спасение людей;

- при необходимости отключить электроэнергию, остановить работу агрегатов, перекрыть сырьевые, газовые и другие коммуникации;

- прекратить все работы на объекте;

- осуществлять руководство тушением пожара до прибытия подразделения пожарной команды, а затем действовать по указаниям руководителя тушением пожара.

Заключение

На сегодня, Российские компании нефтегазовой отрасли уделяют достаточно внимания социальной ответственности, и развивают различные направления по охране труда. Практическая значимость раздела «Социальная ответственность» важна для организации и ведения безопасной работы на опасных производственных объектах, имеющих резервуарные парки хранения нефти.

Список литературы

1. РД 153-39.4-078-01 – Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз.
2. РД 39-30-587-81 Инструкция по эксплуатации системы размыва и предотвращения накопления парафинистого осадка в нефтяных резервуарах.
3. РД 39-30-498-80 Методика расчета допустимых скоростей истечения нефти в резервуары через системы размыва осадка с учетом образования статического электричества.
4. Безбородов Ю.Н., Шрам В.Г., Кравцова Е.Г., Иванова С.И., Фельдман А.Л. – Учебное пособие. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 110 с.
5. J.E. Pepper and D.F. Clark The Corrosion, Cleaning, Inspection And Repair Of Storage Tanks In Crude Oil Service. Society of Petroleum Engineers, 1979
6. Characterization of the sludge deposits in crude oil storage tanks / I.A. Gopang, H. Mahar, A.S. Jatoi, K.S. Akhtar, M. Omer, M.S. Azeem // Journal of Faculty of Engineering & Technology. – 2016. – V. 23 (1). – P. 57–64.
7. Нежевенко, В.Ф. К вопросу о возможности отстоя нефти от взвешенного парафина на промыслах / В.Ф. Нежевенко, Р.И. Кедрова // Труды КуйбышевНИИНП. -Куйбышев, 1961. - вып.9. - С . 63-71.
8. Сковородников, Ю.А. Борьба с накоплением парафинистых осадков в нефтяных резервуарах / Ю.А. Сковородников, СГ. Едигаров // Транспорт и хранение нефтепродуктов и нефтехимического сырья. - 1967. - №4. - С. 71.
9. Тульская, С. Г., Чуйкин С.В., Петров С.А. Подогрев и вероятная температура нефтепродуктов в резервуарах при хранении // Молодой ученый. — 2016. — № 21 (125). — С. 226-228.

10. Рогачев М.К., Кондрашева Н.К. Реология нефти и нефтепродуктов // Учеб. пособие. — Уфа: УГНТУ, 2000. — 89 с
11. Кесельман Г.С., Махмудбеков Э.А. Защита окружающей среды при добыче, транспорте и хранении нефти и газа - М. : Недра, 1981. - 256 с.
12. Джабаров, С.Г. Устройство для гидромеханической очистки резервуаров от донных осадков нефтепродуктов и нефти // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1964. - № 10. - С. 25-28.
13. Hummer J. S. Method for cleaning an oil tank : пат. 5591272 США. – 1997.
14. Чурикова, Л. А., Конашева, Е.А., Утегалиев А.Т. Обзор современных методов очистки резервуаров от нефтяных остатков // Технические науки в России и за рубежом : материалы V Междунар. науч. конф. (г. Москва, январь 2016 г.). — Москва : Буки-Веди, 2016. — С. 71-75
15. Патент № 2 548 077 RU Способ очистки резервуаров, предназначенных для хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов при отрицательных температурах окружающей среды / Рамазанов Р.Р. – 2015
16. Patent № 4,817,653 US Tank cleaning, water washing robot / R. Krajicek, R. Cradeur. - 1989. - №147,237. - 18 p.
17. S. E. Shaheen, Hesham M. Ibrahim, Parienti Raoul Chemical treatment vs. mechanical operations in tank cleaning: Who won ?, Environmental Science, Engineering – 1999 – 8 p
18. Lawrence Nicholas Kremer, Joe Nguyen On-Line Method for Reducing Sludge Volume in Crude Oil Storage Tanks // NACE International – 2000 – 7 p
19. Патент № 2 500 486 RU Устройство для повышения эксплуатационных свойств вертикальных стальных резервуаров / Некрасов В.О., Левитин Р.Е., Тырылгин И.В., Земенков Ю.Д. – 2015

20. Бутов В.Г., Никульчиков А.В., Никульчиков В.К., Солоненко В.А., Ящук А.А. Исследование процесса струйного размыва донных отложений в нефтяных резервуарах // Известия ТПУ. 2018. №9.

21. Альтшуль А. Д., Животовский Л. С., Иванов Л. П. Гидравлика и аэродинамика: учебник для студентов вузов //М.: Стройиздат. – 1987.

22. Кононов О.В., Галиакбаров Г.Е., Коробков В.Ф. Анализ устройств для предотвращения и размыва осадков в нефтяных резервуарах // Нефтегазовое дело. -2006. - №1. - С. 161-164.

23. Развитие технологий и технических средств для борьбы с отложениями в нефтяных емкостях: диссертация ... кандидата технических наук : 07.00.10, 25.00.19 / Кононов Олег Владимирович; - Уфа, 2010. - 178 с.

24. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Особенности совместной работы резервуара и устройств размыва донных отложений винтового типа // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-8. – С. 1671-1675;

25. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. 653 с.

26. Павлов, Михаил Валентинович. Применение ультразвука для очистки от асфальтосмолистых и парафиновых отложений на объектах транспорта и хранения нефти: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.19 / Павлов Михаил Валентинович; [Место защиты: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т]. - Уфа, 2019. - 24 с.

27. Урьев Н. Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. — М.: Химия, 1988, с. 256.

28. Ребиндер П. А., Физико-химическая механика, М., «Знание», 1958
Гумеров, Рамиль Рустамович. Разработка эффективных ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений асфальтенового типа: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.17.07 / Гумеров Рамиль Рустамович; [Место защиты: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т]. - Уфа, 2018. - 24 с

29. Иванова Л.В., Буров Е.А., Кошелев В.Н. АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ДОБЫЧИ, ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2011, №1

30. Дмитриева, А. Ю. Исследование основных причин образования вязких (аномальных) нефтей / А. Ю. Дмитриева, М. В. Залитова, М. И. Старшов, М. Х. Мусабилов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – С. 254–256.

31. Хайбуллина, Карина Шамильевна. Обоснование комплексной технологии удаления и предупреждения органических отложений в скважинах на поздней стадии разработки нефтяного месторождения: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.17 / Хайбуллина Карина Шамильевна; [Место защиты: С.-Петербур. гос. гор. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2019. - 21 с.

32. Егоров, А. В. Ингибитор парафиноотложения комплексного действия для нефтяных эмульсий и парафинистых нефтей / А. В. Егоров, В. Ф. Николаев, К. И. Сенгатуллин, И. Я. Муратов, Х. Г. Зайнутдинов // Электронный журнал «Нефтегазовое дело». – 2013. – С. 334–348.

33. Кононов, Олег Владимирович. Развитие технологий и технических средств для борьбы с отложениями в нефтяных емкостях: диссертация ... кандидата технических наук: 07.00.10, 25.00.19 / Кононов Олег Владимирович; [Место защиты: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т].- Уфа, 2010.- 178 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/781

34. Свет В.Д., Цысарь С.А. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В БОЛЬШИХ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ. АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. 2014. том 64. №1 с. 112-118

35. Гильмияров Е. А., Груздева И. В. МЕТОДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ РЕЗЕРВУАРОВ ОТ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ. БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. СБОРНИК СТАТЕЙ – 2019

36. Гималетдинов Г.М., Саттарова Д.М. СПОСОБЫ ОЧИСТКИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАКОПЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РЕЗЕРВУАРАХ. Нефтегазовое дело, 2006

37. Чурикова Л.А. Обзор современных методов очистки резервуаров от нефтяных остатков / Л.А. Чурикова, Е.А. Конашева, А.Т. Утегалиев // Технические науки в России и за рубежом: материалы V международной научной конференции. – 2016. – С. 71–75.

38. Шайхутдинова М.Ш., Дудников Ю.В., Ямалетдинова К.Ш., Гоц С.С.К ВОПРОСУ О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ ОБРАЗОВАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РЕЗЕРВУАРАХ. УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. № 4, 2018

39. Кузнецов, С.П. Динамический хаос: Курс лекций: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. специальностям / С.П. Кузнецов. - М.: Физматлит, 2001. - 295 с.: ил.; 22 см. - (Современная теория колебаний и волн).

40. Рюэль Д., Такенс Ф. О природе турбулентности // Странные аттракторы / Под. ред. Я.Г. Синая и Л.П. Шильникова. - М.: Мир, 1981. с. 117-151

41. Белоцерковский О. М., Опарин А. М., Чечеткин В. М. Турбулентность. Новые подходы М, Наука, 2003

42. Монин, Андрей Сергеевич. Статистическая гидромеханика [Текст]: Механика турбулентности: [В 2 ч.]/А.С. Монин, А. М. Яглом. - Москва: Наука, 1965-1967.-2т.;22 см.Ч. 1. - 1965. - 639 с.: ил..

43. Яглом А. М., Монин А. С. Статистическая гидромеханика Часть 2. Механика турбулентности. Наука. 1967. 720 стр.

44. Фрик П. Г. Турбулентность: модели и подходы, часть 1, Пермь, 1998

45. Фрик П. Г. Турбулентность: модели и подходы, часть 2, Пермь, 1999
46. Spalart P.R. Strategies for turbulence modelling and simulation. Intern. Journal of Heat and Fluid Flow, 2000, v. 21, pp. 252-263
47. Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса. - Докл. АН СССР, Т. 30, № 4, С. 299-303
48. Лапин Ю.В. Статистическая теория турбулентности. Научно-технические ведомости 2' 2004
49. Deardorff J.W. A numerical study of three-dimensional turbulent channel flow at large Reynolds numbers. // J. Fluid Mech., 1970, 41, pp. 453-480
50. LEONARD A. 1974 Energy cascade in Large-Eddy Simulations of turbulent fluid flows. Adv. in Geophysics, 18A, 237-248
51. Orszag SA, Patterson GS. 1972. Numerical simulation of three-dimensional homogeneous isotropic turbulence. Phys. Rev. Lett. 28:76–79
52. J. Н. Ferziger and Н. G. Kaper, Mathematical Theory of Transport Processes in Gases (North-Holland, Amsterdam, 1972; Mir, Moscow, 1976).
53. Турбулентные сдвиговые течения. (перев. с англ. под ред. А.С. Гиневского). М., Машиностроение, 1982.
54. Ферцигер Дж. Х. Численное моделирование крупных вихрей для расчета турбулентных течений. Ракетн. техн. и космонавтика 1977, т. 15, № 9, с. 56-66.
55. Smagorinsky J. General circulation experiments with the primitive equations: I. the basic equations. Mon. Weather Rev., 91, 99–164 (1963).
56. Ферцигер Дж. Х. Численное моделирование крупных вихрей для расчета турбулентных течений. Ракетн. техн. и космонавтика 1977, т. 15, № 9, с. 56-66.
57. Samtaney R., Voelkl T., Pullin D.I. Large eddy simulation of strong shock Richtmyer-Meshkov instability // 8-th International Workshop on The Physics of Compressible Turbulent Mixing. US, Pasadena, 2001

58. Youngs D.L., Silvani X., Magnaudet J., Llor A. Preliminary results of DNS and LES simulations of self-similar variable acceleration RT-mixing flows // 8-th International Workshop on The Physics of Compressible Turbulent Mixing. US, Pasadena, 2001

59. Eppler A., Bernert K. Two-stage testing of advanced dynamic subgrid-scale models for large-eddy simulation on parallel computers. Preprint SFB393/99-13, Technische Universitat Chemnitz, 1999

60. Spalart P.R., Jou W.H., Strelets M. and Allmaras S.R. Comments on the feasibility of LES for wings and on a hybrid RANS/LES approach. In Liu C. and Liu Z. (eds) Advances in DNS/LES, Proceedings of 1st AFOSR International Conference on DNS/LES, Ruston, LA, August 4-8, Greyden Press, Columbus, OH, 1997. p. 137-147.

61. Spalart P.R., Allmaras S.R. A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic 34 Flows. AIAA Paper 92-0439, Jan. 1992

62. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Том 1. М.: Мир, 1991. - 504 с

63. К. Флетчер Вычислительные методы в динамике жидкости, т.2 Изво "Мир", М., 1991- 552 с

64. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы: Учеб. пособие для вузов. — М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1989.—432

65. Роуч П. Вычислительная гидродинамика Мир, М., 1980. -618 с.

66. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

67. Cain Z. A theoretical foundation of the finite volume element method // Thes. University of Colorado at Danver, may 1990

68. Курант Р., Гильберт Д., Методы математической физики, пер. с нем., 3 изд., т. 1, М. Л., 1951;

69. Jameson A., Bader T. J. Euler Calculations for a Complete Aircraft. — In: Proc. Tenth Int. Conf. Numerical Methods in Fluid Dynamics, Beijing, Lecture Notes in Physics, 1986 Vol. 264 (Springer, Berlin, Heidelberg), p. 334— 344.

70. Lam, K. Flow around four cylinders in square configuration using surface vorticity method [Text] / K. Lam, R.M.C. So, J.Y. Li // Proceedings of the Second International Conference on Vortex Methods, Sept. 26-28. – Turkey. – 2001. - pp. 235-242.

71. Волков К.Н., Емельянов В. Н. Реализация Лагранжевого подхода к описанию течений газа с частицами на неструктурированных сетках. // Вычислительные методы и программирование, Т9, стр. 19-33, 2008 г

72. Noak R.W., Steinbrenner J.P. A three-dimensional hybrid grid generation technique - в сб. 12th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference, San-Diego, 1995, pp.413-423

73. Patrick Rabenold. Parallel Adaptive Mesh Refinement for the Incompressible Navier-Stokes Equations AMSC663 Project Proposal October 13, 2005

74. Gregory J. Larson. PERFORMANCE OF ALGEBRAIC MULTIGRID FOR PARALLELIZED FINITE ELEMENT DNS/LES SOLVERS. Department of Mechanical Engineering Brigham Young University December 2006

75. Jennie Andersson, Dinis Reis Oliveiraa, Irma Yeginbayevab, Michael Leer-Andersenc, Rickard E. Bensowa. Review and comparison of methods to model ship hull roughness. Applied Ocean Research 99 (2020) 102119

76. Лукьянова И.Э. Шмелев В.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ FLOWVISION И ANSYS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПРИ УДАЛЕНИИ ОТЛОЖЕНИЙ.

https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/flowvision/fv_oil_ugntu1_06.pdf

77. Галиакбаров В.Ф., Салихова Ю.Р. Расчет гидродинамических характеристик процесса перемешивания нефтепродуктов в резервуарах. / Нефтегазовое дело, 2003.– <http://www.ogbus.ru>

78. Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошной среды. Практическое руководство / под ред. проф. А.К. Любимова. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006. – 227 с.

79. Галиакбарова Э. В., Бахтизин Р. Н., Надршин А. С., Галиакбаров В. Ф. БЕЗОПАСНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЕ ИСКЛЮЧЕНИЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ПРИ ХРАНЕНИИ НЕФТИ В РЕЗЕРВУАРНЫХ ЕМКОСТЯХ. Нефтегазовое дело 2015, т. 13, № 4

80. ГОСТ 31385-2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. [//www.StandartGost.ru](http://www.StandartGost.ru) / ГОСТ_31385-2008, дата обращения 22.04.2014.

81. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

82. ГОСТ С. 12.2. 003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» //М.: Издательство стандартов. – 1992.

83. Крепша Н.В. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы бакалавров и магистров Института природных ресурсов. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. - 53 с.

84. ГОСТ 12.1. 005-88 Воздух С. рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. – 1988.

85. ГОСТ 12.4. 124-83 ССБТ Средства защиты от статистического электричества. – 1990.

86. ГОСТ 12.4.059 Ограждения предохранительные инвентарные. – 1990.

87. ГОСТ 26887-86 Площадки и лестницы для строительно-монтажных работ. Общие технические условия. – 1987.

88. ГОСТ 27321-2018 Леса стоечные приставные для строительного монтажных работ. – 1987.
89. ГОСТ 27372-87 Люльки для строительного-монтажных работ. Технические условия. – 1989.
90. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение. – 1996.
91. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Предельно допустимые величины напряжений и токов. Электробезопасность – 1982.
92. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности - М.: Стандартиформ, 1983.
93. ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – 2008.
94. ПБ 08-624-03. Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности. - М.: ПИО ОБТ, 2003. - 167 с.
95. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – 2013.

Приложение А
(справочное)

Modelling of Jet Erosion of Bottom Sediments in Oil Storage Tanks

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ95	Варибрус Андрей Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Светашков Александр Андреевич	д-р. ф.-м.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Утятина Янина Викторовна			

Literature Review

In this work, scientific and methodological literature was used, as well as the analysis of current trends in the development of oil storage facilities, successes in the design and implementation of systems for smelting bottom sediments into reservoir parks, the main operating technologies for sediment erosion in oil storage tanks were reviewed and analysed.

The literature review first drew attention to the following guidance documents: GD 153-39.4-078-01; GD 39-30-587-81; GD 39-30498-80. They set out the basic rules for the maintenance of tanks, instructions for the operation of smelting systems and for the prevention of paraffin sludge in oil storage tanks. It describes the method for calculating permissible oil speeds in tanks produced by smelting systems, taking into account the generation of static electricity. On the basis of the information analysed, the special technical and operational conditions of the reservoir fleet were taken into account. [1,2,3]

The training manual «Reservoirs for the reception, storage and dispensing of petroleum products» by the authors Y.N., Shram V.G. was a source of basic information about the oil reservoirs and their classification. In addition, the manual discusses various designs and options for assembling vertical steel tanks. The manual also provided a brief description of the equipment used to operate oil storage tanks. [4]

The paper «The corrosion, cleaning, inspection and repair of storage tanks in crude oil service» by Pepper J.E. and Clark D.F. Particular attention is paid to history and past mistakes. In particular, the history of the explosion of the 20,000 tank was described, which was followed by a rethinking of the existing methods for testing the quality of the equipment and rethinking of the attitude towards the maintenance of the tanks. [5]

Sludge obtained from the crude oil storage tanks is semi solid waste. It is a complex emulsion of numerous petroleum hydrocarbons, water, and solid

particles. Petroleum sludge is generated during crude oil transportation, storage, refining and production. It includes many poisonous species, xylene, polycyclic aromatic hydrocarbons, benzene, heavy metals, toluene, and ethyl benzene. Gopang. I.A., Mahar A.S. and other authors of the foreign article «Characterization of the sludge deposits in crude oil storage tanks» in their paper investigate physical and chemical characteristics of sludge from oil and gas fields. [6]

In addition to studies of sedimentation in Lerke G.E. and Sviridov V.P. reservoirs, the composition and properties of sediments have been studied, which have a significant impact on the processes of erosion and prevention of accumulation.

The structure of sediments can be divided into two types:

- loose sediments
- compacted sediments.

The loose sediments are settled particles with the inclusion of dispersed media. Long-lasting, densely structured sediments that have undergone ageing are known as compacted sediments.

One of the works of Nezhevenko V.F. in 1961 was devoted to the formation of paraffin precipitation in a small volume tank under conditions of oil field. The main objective of this investigation was to determine the rate of precipitation formation and to recommend whether oil could be separated from the suspended paraffin. The low-density and viscosity oil lag was investigated for 5 days at oil temperatures of between 15.3 and 10.7 °C and ambient air of between 8.2 and minus 2.1 °C. As a result, it was determined that the temperature in the tank is decreasing very slowly and a considerable period of time is required to achieve a temperature equilibrium between the oil and ambient air, even if the ambient temperature is constant. The crystals of the paraffin released by the cooling of the oil settle very slowly. The settled crystals are held firmly in sediment without being liquid, even if the oil subsequently remains at a higher

temperature for a long time, compared to the original. Waste oil has little effect on the total paraffin content of the oil, so the slop to prevent paraffin from falling out during transport makes no sense [7].

The most widespread issues of the formation of deposits in the oil reservoirs in 1967 were reflected in the paper of Edigarov S.G., who considered them for tanks of up to 5,000 m³ [7]. In small volumes, the precipitation intensively accumulates in the first two months, then the precipitation growth rate slows down and stops after the «dead zone» is filled, the incoming jet from the reception does not affect the area in which and distribution pipes. The next step is the dynamic balance of the precipitation in the oil tank.

The oil distribution system, which is the end of the oil industry and links production to consumption, has faced new challenges in the storage of petroleum and petroleum products. Some of them try to analyze the author of the book «Storage of petroleum and petroleum products», Olenev N.M. In this book he outlined the main issues on storage of petroleum and petroleum products. In addition, the author examined various heating devices to make it easier to combat oil sludge in tanks.

For a deeper analysis of the existing structures of the oil storage tank heaters was used the article «Heating and probable temperature of the oil products in the storage tanks» located in the journal «Young scientist» under the authorship of Tula S.G., Chuikin S.V. and Putrova S.A. [9]

In the manual «Rheology of petroleum and petroleum products» under the authorship of Rogachev M.K. and Kondrasheva N.K., devoted to the peculiarities of the rheological properties of oil, the return of water-oil emulsions and the composited petroleum products, the bases of rheology were considered. The composition and main constitutive components of petroleum and composite petroleum products are given. [10]

Answers to questions about environmental protection measures were found in the monograph «Protection of the environment during extraction, transport and

storage of oil and gas» under the editorial of authors Keselman G.S. and Mahmudbekov E.A. In particular, the paper focuses on the specific features of oil production that contribute to the environmental, economic and social impacts of environmental pollution. Methods for controlling the pollution of inland and groundwater bodies, the atmosphere and the lithosphere are also described. Methods for determining economic loss from pollution are described. [11]

In the standard «Instructions on cleaning of reservoirs from residues of oil products», agreed by the Supervision Office in the oil and gas industry of Gosgortech Supervision of Russia from 14.01.2004. It contains information on the organization of work during the cleaning of the reservoirs from the draught, the main technical means for cleaning, the description of the process, quality control, fire safety requirements and requirements for safety and environmental protection.

All the extracted oil, during its storage, accumulates sediments. The formation of these sediments in oil reservoirs reduces the useful volume of the tank, makes it difficult to carry out bottom surveys and, equally importantly, accelerates corrosion fractures. In order to effectively control sediments, it is necessary to understand the nature of the phenomenon as well as to identify the main patterns of the process. Literature will follow, helping to understand many aspects of the phenomena and patterns described above.

In 1964, Mr. Jabarov S.G. published on the development of a hydro mechanical method by All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry for cleaning reservoirs from bottom sediments, which eliminates the need for workers to stay inside the tank. The residue is diluted and liquefied by a hydro monitor and the pulp is removed by a hydro-elevator. [12]

In 1997, Hammer J. proposed the following cleaning scheme for the container. The jet of the dilution agent is fed to the surface of the container via a smelting device then the resulting mixture of blurred deposits is pumped out, and after processing, the smelting agent is returned to the cycle. [13]

The proposed method is based on the use of an oil product stored in a container as a dilution agent sprayed onto the inner surface of the container from above. The smeared residue is pumped out of the tank, cleaned, then passed through the heating chamber and fed to a rotating smelting device. Cleaning of the 50,000-80,000 m tank takes from 24 to 48 hours.

Attention was also drawn to a more modern source, namely «Review of modern methods of cleaning reservoirs from oil residues» from the journal “Young scientist” under the authorship of Churikova L.A., Konasheva K.A. and Utegaliev A.T., in which the authors analyze the current state-of-the-art techniques and techniques for the removal of bottom oil sludge from reservoirs. They describe the advantages and disadvantages of different methods. As a result of their work, the most effective method for controlling the precipitation generated during the operation of vertical steel tanks was proposed. [14]

In order to analyze the efficiency of cleaning reservoirs from bottom sediments at negative environmental temperatures, the patent «the method of cleaning reservoirs intended for storage and transportation of petroleum and petroleum products at negative environmental temperatures» was considered. Despite the efficiency of the proposed device, the analysis of the patent made it possible to note the existing disadvantages of the method of cleaning the reservoirs of bottom sediments, as compared to the method of smelting the sediment in them. [15]

In 1989, Krysek R. and Kryder R. in an effort to facilitate the cleaning of the oil tanks invented a robot that remotely controlled the oil sludge with water. A robot with a hydraulic drive in a disassembled state is delivered to the tank via a hatch-and-slope with the aid of a specially mounted structure. Inside the tank, it's being built for work. And the robot is controlled by a remote control. [16]

The robot moves the frame along the bottom of the tank and cleans it of sediments. The hydraulic system allows the operator, with the aid of a control panel, to move the robot along the bottom of the reservoir and to change the

direction of the jet produced by the disabling device. A stream of water erodes the sediments that are pumped out of the tank. The whole process is controlled by one person who can be in the tank for a long time, because the robot control does not require much physical effort.

Scientific paper «Chemical Treatment vs. Mechanical Operations in Tank Cleaning: Who Won? » by Shaheen S.E., Ibrahim H.M., Raoul P.G. was One of the foreign sources of literature. The title of the paper compares the two main methods of purifying tanks of oil sludge, the chemical method versus the mechanical method. In the process of the research, the authors cite the pros and cons of both methods, but despite all the identified advantages of existing clean-up technologies, the following conclusion emerges. Both the chemical and mechanical types of clean-up fail, as all the benefits are dissipated by comparing them with various smelting techniques to take advantage of the recovered volume of oil, and to avoid harmful effects of the oil sludge on the environment. [17]

The scientific work «On-Line Method for Reducing Sludge Volume in Crude Oil Storage Tanks», authored by Kremer L. and Nguyen J. also presents the disadvantages of the method of cleaning the reservoir from bottom sediments. It is worth mentioning that the work not only mentions deficiencies in the resource efficiency and durability of tanks, but also the negative impact of oil precipitation on people in contact with it. As a result, two alternatives to the method were proposed. One is to pump part of the oil medium out of the tank and compose the remaining oil by adding different solvents. The second method is to avoid high precipitation, by eroding sediments, during the operation of the reservoir. [18]

Further, literature dealing with the bottom sediment smelting systems and facilities was reviewed. It also describes the processes of mechanical cleaning of the tanks, describes the deficiencies of the methods and discusses alternative techniques for sludge control in the tanks, which is to prevent the occurrence of this sludge. Such systems have a number of advantages over techniques for mechanical treatment of oil sludge in tanks.

In the process of the work the patent «Device for increasing the operational properties of vertical steel tanks» was considered, the owner of which is "Tyumen State Oil and Gas University" (Tyumgu). The inventive device is embodied in the form of a common collector in the form of an open, curved pipe arranged on the bottom of the container along the wall thereof and provided with eight pressure pipes. [19]

In the article «Investigation of the process of jet erosion of bottom sediments in oil reservoirs», the authors such as Butut V.G, Nikulnikov A.V., Nikulnikov V.K., Solonenko V.A., Ithauk A., focus on various parameters of oil and its temperature. The hydrodynamic characteristics of the flooded jet produced in a given reservoir are calculated; they determine the rheological parameters of the oil at which it is possible to dilute the sediments at the given parameters. Figure 1 presents the results of the determination of the smelting area at different temperatures and the corresponding viscosity for oil. The screw device for defrosting bottom sediments in the reservoir has been designed and the influence of the main structural and regime characteristics of the screw device on the parameters of the turbulent jet has been analyzed. The process of hydrodynamic oil current produced in a closed reservoir is modelled. Based on the results of the studies and modelling of the process of erosion of sediments in the reservoirs, the authors draw the following conclusions. At oil temperatures above 20 °C and the associated viscosity range, it is possible to form a flow that dilutes the sediment accumulated at the bottom of the tank. The liquid flow will have a velocity of 0.5 m/s, and the smelting distance at such parameters will be as high as 60.7 m. However, at an oil temperature of less than 15 °C, it will not be possible to reach the melting of the sediments, which means that in such a case it will be necessary to introduce heating systems, to increase the temperature of the oil inside the tank. [20]

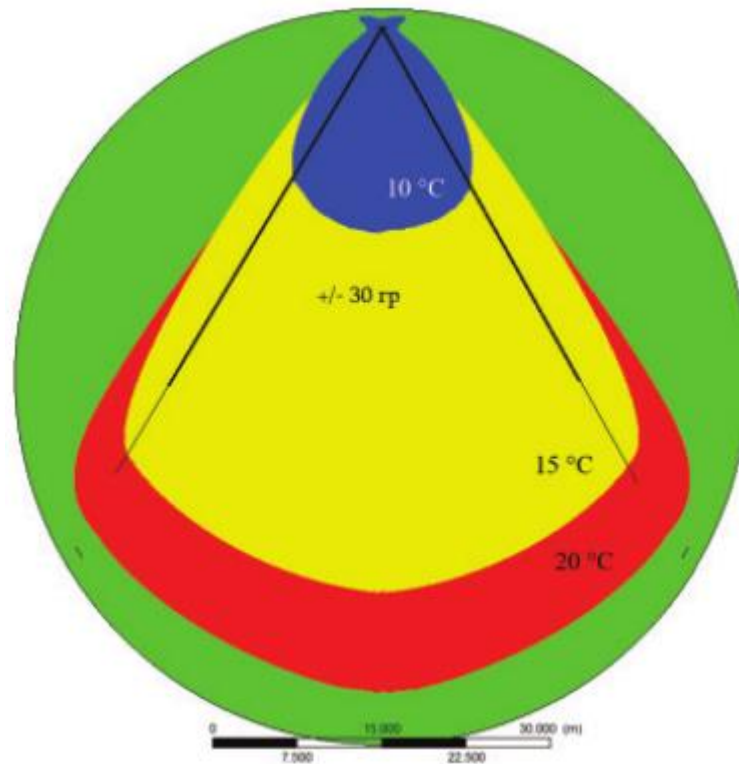


Fig.1 Smelting area depending on temperature (at 10, 15 and 20 °C)

Returning to GD Guidance Document 39-30-587-81, in addition to general instructions on the fumigation of paraffin sediment, the document describes a system consisting of circular fan nozzles submerged at the bottom of the reservoir. Despite the simplicity of the design, such a system has a number of disadvantages, such as the clogging of the movable parts of the nozzles and, as a result, a reduction in the precipitation erosion efficiency. [2]

Liquids (in a broad sense) are distinguished from solids by the light mobility of particles. While it is necessary to apply finite, sometimes very large, forces to a solid to change its shape, even the smallest forces can change the shape of the liquid, if they are present for a long time. Thus, under its own weight, the liquid leaks if possible. The book «Hydraulics and Aerodynamics» addresses the main issues of fluid mechanics. In this book Altshul A.D. describes the physical properties of liquids, the general laws of fluid movement, hydraulic resistance, fluid movement through pipes and their expiration from openings, and the simulation of hydroaerodynamic phenomena. [21]

Description of the next smelting device can be found in scientific work «Analysis of devices for prevention and smelting of bottom sediments in oil reservoirs» under the authorship of Kononova O.V, Galiakbarov V.F. and Korkov G.E. The system is called «Hydraulic jet mixer» (Figure 2) and works by creating a directional flow of fluid that causes the bottom sediments to melt. The result of the scientific work was a comparative analysis of the energy consumption of the inkjet hydraulic mixer and electromechanical mixers in a 5000 m³ tank. [22]

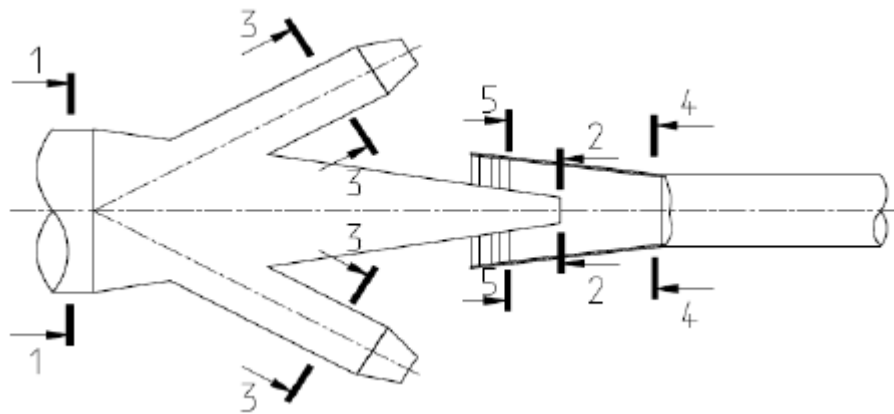


Fig.2 Hydraulic jet mixer

1 - entrance branch; 2 - central nozzle; 3 - side nozzle; 4 - confuser; 5 - mixing chamber; 6 - strengthening ribs

In the thesis «Development of technologies and technical means to combat deposits in oil tanks» Kononov O.V. carries out analysis of causes of formation and accumulation of deposits in oil tanks; conducts a comprehensive analysis of existing sedimentation control devices and analysis of technologies for the removal of sediment already deposited. The advantage of the work is that not only the domestic market but also the foreign market was analyzed. The author described the advantages and disadvantages of the technical devices being monitored. This scientific work made a great contribution to the direction of work on the master's thesis. Studies that showed that the flux velocity was dependent on the range of the flux for jet hydraulic systems and electromechanical mixers (Figure 3) led to the conclusion that the conditions for the technical devices in question were: where we can maximize productivity, resource efficiency and

economic benefits. [23]

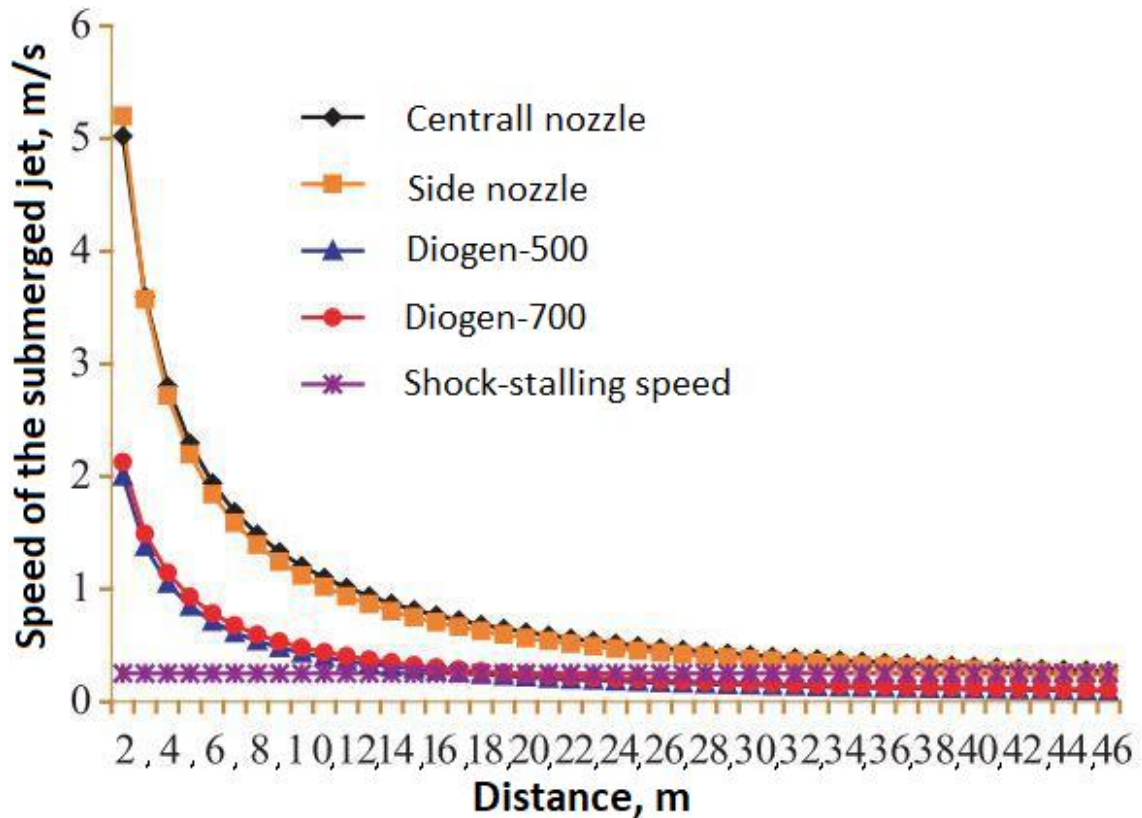


Fig. 3 Graph of the speed from a distance. For the jet to the hydraulic jet mixer and electro-mechanical mixers «Diogen».

In the process of writing the article «Features of the joint operation of the tank and devices for smelting bottom deposits of screw type», the authors Chepur P.V and Tarasenko A.A. are considering the introduction of technical devices into oil storage tanks for smelting oil sludge. For calculations, the authors considered domestic installations, among which «Diogenes-500», «Diogenes-700», and «Typhoon-24». Models of smelting plants and a reservoir of 20,000 m³ of vertical steel have been built with the help of the ANSYS package to carry out the calculations. For the models developed, the most unfavorable operating modes, which negatively affect not the overall stress-deformed condition of the wall (maximum reactive force of the shaft, maximum oil loading height) were considered. The results of the study were presented for each of the options

considered. For installation of type «Diogenes-700», besides the presented result of the numerical experiment, results obtained in work are given. The work leads to the conclusion that it is important to find optimal parameters for the operation of sediment erosion systems. In the case of screw-screw smelting systems, the reinforcement of the lower belt of the container should also be used, since this area is subject to the highest voltage values. [24]

The basic laws used in fluid mechanics are the same as in solids mechanics. However, the application of these laws to fluid mechanics differs due to the difference between the properties of liquids and solids. It is therefore useful to begin the study of fluid mechanics by identifying and assessing the essential properties of liquids.

References

1. GD 153-39.4-078-01 - Rules for technical exploitation of reservoirs of main oil pipelines and oil bases.
2. GD 39-30-587-81 Instructions for operation of the smelting system and prevention of accumulation of paraffin sludge in oil tanks.
3. GD 39-30-498-80 Method of calculation of permissible speeds of oil flow to reservoirs via precipitation smelting systems taking into account the generation of static electricity.
4. Bezborodov Y.N., Shram V.G., Kravtsova E.G., Ivanova S.I., Feldman A.L. - Training manual. - Krasnoyarsk: 2015. - 110 s.
5. Pepper J.E., Clark D.F. The Corrosion, Cleaning, Inspection And Repair Of Storage Tanks In Crude Oil Service. Society of Petroleum Engineers, 1979
6. Nezhevenko, V.F. To the issue of the possible separation of oil from the suspended paraffin in the fisheries / V.F. Nezhevenko, R.I. Kedrova // Trudy Kuybyshev. -Kuybyshev, 1961. S. 63-71.
7. Frying pans, Y.A. Control of accumulation of paraffin precipitation in oil reservoirs // Transport and storage of petroleum products and petrochemical raw materials. - 1967. - 4. - C. 71.
8. Tula, S. G., Chuikin S.V., Petrov S.A. Heating and probable temperature of petroleum products in tanks at storage // Young scientist. - 2016. - 21 (125). C. 226-228.
9. Rogachev M.K., Kondrasheva N.K. Rheology of petroleum and petroleum products // Training. manual. - Ufa: USPTU, 2000. - 89 s
10. Keselman G.S. Mahmudbekov E.A. Protection of the environment in the extraction, transport and storage of oil and gas - M. Nedra, 1981. - 256 p.
11. Jabarov, C.G. Device for hydro-mechanical cleaning of tanks from bottom sediments of petroleum products and petroleum /Transport and storage of petroleum and petroleum products. 1964. - 10. - C. 25-28.
12. Hummer J. S. Method for cleaning an oil tank: US Pat. 5591272. -

1997.

13. Churikova, L. A., Konasheva, E.A., Utegaliev A.T. Overview of modern methods of cleaning up tanks from oil residues // Technical sciences in Russia and abroad: materials of V International. Nauch. Konf. (Moscow, January 2016). Moscow : Buki Vedi, 2016. - C. 71-75

14. Patent № 2 548 077 RU Method of cleaning of tanks intended for storage and transportation of petroleum and petroleum products at negative ambient temperatures / Ramazanov R.R. - 2015

15. Patent 4,817,653 US Tank cleaning, water washing robot / R. Krajicek, R. Cradeur. - 1989. - 147,237. - 18 p.

16. S. E. Shaheen, Hesham M. Ibrahim, Parienti Raoul Chemical treatment vs. mechanical operations in tank cleaning: Who won ? Environmental Science, Engineering - 1999 - 8 p

17. Lawrence Nicholas Kremer, Joe Nguyen On-Line Method for Reducing Sludge Volume in Crude Oil Storage Tanks // NACE International - 2000 - 7 p

18. Patent 2,500 486 RU Device for increasing the operational properties of vertical steel tanks / Necrasov V.O., Levitin R.E., Tyrylgin I.V., Zemenkov Y.D. - 2015

19. Butov V.G., Nikulchikov A.V., Nikulchikov V.K., Solonenko V.A., Yantuk A.A. Investigation of the process of jet erosion of bottom sediments in oil reservoirs // News of the TPU. 2018. 9.

20. Kononov O.V., Galiakhbarov G.E., Korkov V.F. Analysis of devices for prevention and smelting of precipitation in oil reservoirs // Oil and Gas Business. 2006. - 1. - P. 161-164.

21. Development of technologies and technical means for combating sediments in oil tanks: thesis ... of candidate of technical sciences : 07.00.10, 25.00.19 / Kononov Oleg Vladimirovich; - Ufa, 2010. - 178 p.

22. Himaletdinov G.M., Sattarova D.M. "Methods of cleaning and

preventing accumulation of bottom sediments in tanks"

23. Chepur P.V., Tarasenko A.A. Features of joint operation of the reservoir and screw-type bottom sediments smelting devices // Basic research. - 2015. - 2-8. - P. 1671-1675;

24. Characterization of the sludge deposits in crude oil storage tanks / I.A. Gopang, H. Mahar, A.S. Jatoi, K.S. Akhtar, M. Omer, M.S. Azeem // Journal of the Faculty of Engineering & Technology. - 2016. - V. 23 (1). - P. 57-64.