

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Т. А. Кулагина
подпись

«___» _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение экологической безопасности отходов при размещении на шламоот-
вале промышленного предприятия

20.04.01 «Техносферная безопасность»

20.04.01.03 «Чрезвычайные ситуации в техносфере»

Научный руководитель _____ доцент, к.т.н. О. В. Чурбакова
подпись, дата

Выпускник _____ К. В. Докина
подпись, дата

Рецензент _____ доцент, к.т.н. И.В. Варфоломев
подпись, дата

Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Т. А. Кулагина
подпись

«__» _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Докиной Ксении Викторовне

Группа ФЭ17-09М.

Направление (специальность): 20.04.01 Техносферная безопасность.

Программа 20.04.01.03 Чрезвычайные ситуации в техносфере

Тема выпускной квалификационной работы «Повышение экологической безопасности отходов при размещении на шламоотвале промышленного предприятия».

Утверждена приказом по университету № 15192/с от 25.10.2017г.

Руководитель ВКР О. В. Чурбакова, доцент, кандидат технических наук.

Исходные данные для ВКР:

- осадок нефтесодержащих сточных вод $Q = 24 \text{ м}^3/\text{сут.}$;
- научно-исследовательские статьи, патенты;
- справочная литература и технологические инструкции

Перечень разделов ВКР:

1. обзор литературных источников и патентной документации по методам обработки и утилизации;
2. экспериментальная часть;
3. расчет класса опасности;
4. расчет риска воздействия нефтесодержащих сточных вод промышленного предприятия на окружающую среду.

Перечень графического материала:

- Лист 1 - Технологическая схема обработки осадка
- Лист 2 - Установка для обработки щелочным раствором
- Лист 3 - Дифференциально - термогравиметрический анализ осадка
- Лист 4 - Свойства осадка до и после обработки щелочным раствором
- Лист 5 – Анализ риска воздействия нефтесодержащих сточных вод на окружающую среду

Научный руководитель

подпись

О. В. Чурбакова

Задание принял к исполнению

подпись

К. В. Докина

« ____ » _____ 2019 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения этапов ВКР

Наименование и содержание этапа	Сроки выполнения
Назначение темы диссертации. Составление плана диссертации	30.10.17 – 31.09.17
Подбор необходимой литературы	01.10.17 – 31.12.17
Литературный обзор имеющихся методов обработки нефтесодержащего осадка	01.01.18 – 30.04.18
Продолжение исследования литературы, патентов, книг и статей по теме повышение экологической безопасности нефтесодержащего отхода	01.05.18 – 31.12.18
Выполнение расчетов	01.01.19 – 31.03.19
Продолжение выполнения расчетов, оформление результатов, составление выводов	01.04.19 – 31.05.19
Графическое оформление чертежей	01.06.19 – 30.06.19
Оформление прочей документации и доклада	01.07.19 – 17.07.19

Научный руководитель

подпись

О. В. Чурбакова

Задание принял к исполнению

подпись

К. В. Докина

« ____ » _____ 2019г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа в форме магистерской диссертации по теме «Повышение экологической безопасности отходов при размещении на шламоотвале промышленного предприятия» содержит 146 страниц текстового документа, 3 приложения, 64 использованных источника, 5 листов графического материала.

НЕФТЕСОДЕРЖАЩИЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА, ЭМУЛЬГИРОВАННЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ, ОСАДОК, ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ МЕТОД, ДИФРАКТОГРАММА, ТЕРМОГРАММА.

Объектом исследования является изучение процессов обработки осадков нефтесодержащих сточных вод.

Цель - разработка эффективных способов обработки осадков нефтесодержащих сточных вод, обеспечивающих сокращение их объема и утилизацию.

В магистерской диссертации приведен анализ известных методов очистки нефтесодержащих сточных вод, на основании которого была разработана наиболее рациональная технология обезвреживания. Представлены результаты изучения процессов обработки нефтесодержащих отходов, а так же данные по изучению свойств, состава и структуры осадка до и после обработки отходов отработанным щелочным раствором. Представлен расчет класса опасности отхода для окружающей среды, анализ риска воздействия нефтесодержащих сточных вод промышленного предприятия на окружающую среду.

В результате проведения исследований была обоснована и подтверждена возможность улучшения водоотдающих свойств осадка при повторном использовании гидроокисного осадка при очистке нефтесодержащих сточных вод. В результате исследований установлено, что применение щелочного реагента позволяет улучшить водоотдающие свойства отходов нефтесодержащих сточных вод в 6 раз и получить регенерированный раствор NaAlO_2 для обработки сточных вод.

АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе

на тему: Ликвидация последствий аварий при транспортировании радио-активных материалов

ВКР выполнена на 146 страниц, включает 19 таблиц, 13 иллюстраций и 64 литературных источника.

Объектом исследования являются процессы обработки осадков нефтесодержащих сточных вод

Цель - в рамках работы разработать эффективные способы обработки осадков нефтесодержащих сточных вод, обеспечивающие сокращение их объема и утилизацию.

В магистерскую диссертацию входит введение, четыре главы и итоговое заключение о работе.

Во введении раскрывается актуальность выпускной квалификационной работы по выбранному направлению, цель, задачи и актуальность.

В первой главе магистерской диссертации приведен анализ известных методов очистки нефтесодержащих сточных вод, на основании которого была разработана наиболее рациональная технология обезвреживания.

Во второй главе представлены результаты изучения процессов обработки нефтесодержащих отходов, а так же данные по изучению свойств, состава и структуры осадка до и после обработки отходов отработанным щелочным раствором.

В третьей главе представлен расчет класса опасности отхода для окружающей среды.

В четвертой главе анализ риска воздействия нефтесодержащих сточных вод промышленного предприятия на окружающую среду.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Анализ литературных источников и патентной документации по методам очистки нефтесодержащих сточных вод	10
1.1	Основные методы обработки осадков промышленных сточных вод и способы их утилизации	10
1.2	Обработка осадка коагулянтами	15
1.3	Обработка осадка флокулянтами	17
1.4	Выводы и постановка задачи исследований.....	19
2	Изучение процессов обработки нефтесодержащих отходов.....	20
2.1	Изучение процесса реагентной обработки нефтесодержащих отходов	20
2.2	Методики определения свойств осадка.....	26
2.2.1	Исследование свойств осадка нефтесодержащих сточных вод	29
2.2.2	Исследование состава отходов с помощью термогравиметрического метода.....	34
2.3	Обработка нефтесодержащих отходов, отработанным щелочным раствором.....	35
2.3.1	Изучение состава и свойств после обработки отходов отработанным щелочным раствором	47
3	Расчет класса опасности отхода для окружающей среды	54
3.1	Расчет класса опасности для диоксида кремния.....	59
4	Анализ риска воздействия нефтесодержащих сточных вод промышленного предприятия на окружающую среду.....	64
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	74
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Технологический расчет схемы очистки нефтесодержащих сточных вод	81
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Расчет класса опасности отхода.....	125
	ПРИЛОЖЕНИЕ В Расчёт размера вреда (ущерба), причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе сточных вод. ...	133

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Одной из главных задач улучшения состояния природной среды является внедрение малоотходных и безотходных технологических процессов на промышленных предприятиях. При очистке сточных вод металлообрабатывающих предприятий наиболее сложной проблемой является обработка осадков.

Как показывает анализ литературных источников и патентной документации, вопросам обработки и утилизации осадков посвящены многочисленные работы. Однако в недостаточной мере освещены методы обработки гидроокисных осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий.

Все это обуславливает необходимость разработки и реализации технологий обезвоживания гидроокисных осадков, позволяющих обеспечить высокую эффективность процесса, а также возможность утилизации ценных отходов.

Цель диссертации. Разработка эффективных способов обработки осадков нефтесодержащих сточных вод, обеспечивающих резкое сокращение их объема и утилизацию.

Существо работы заключалось в изучении основных свойств осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий, в поиске путей интенсификации процесса обработки нефтесодержащих отходов, отработанным щелочным раствором и возможности утилизации для создания малоотходных технологий.

Программа проведения работ, направленная на осуществление поставленных целей, включала следующие этапы:

- анализ существующих способов обработки и утилизации осадков промышленных сточных вод по данным отечественной и зарубежной литературы;
- изучение свойств и состава осадка, образующегося при обработке, отработанным щелочным раствором, определение оптимальных условий повторного использования осадка для очистки МЭС;
- оценка риска при воздействии нефтесодержащих отходов на окружающую среду;

- определение класса опасности отходов для окружающей среды.

Методологическая последовательность предусматривает анализ существующих способов обработки и утилизации осадков промышленных сточных вод по данным отечественной и зарубежной литературы, изучение состава и свойств осадков, возможности повторного использования осадка для очистки маслоэмульсионных сточных вод. Лабораторные исследования необходимы для уточнения оптимальных технологических параметров процессов.

Методы исследования. В работе для решения конкретных задач применялся комплекс физико-химических методов исследования: рентгенофазовый, дифференциально-термический и дисперсионный анализы, а также методы математической статистики.

Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения технологии обработки отходов при реконструкции очистных сооружений и проектировании новых. По результатам работы реализовано: повторное использование гидроокисного осадка при очистке маслоэмульсионных сточных вод (МЭС).

1 Анализ литературных источников и патентной документации по методам очистки нефтесодержащих сточных вод

1.1 Основные методы обработки осадков промышленных сточных вод и способы их утилизации

В соответствии с Законом РФ об охране окружающей природной среды, где особое внимание обращено на рациональное использование природных ресурсов и сохранение чистоты поверхностных и подземных вод, актуальным является решение проблемы утилизации и обезвоживания осадков. Решение вопроса требует изучения их состава, структуры и свойств, выявления возможности изменения исходных свойств и определения оптимальных параметров различных технологических схем.

Основными задачами обработки осадков является резкое сокращение их объема и утилизация. Осадки сточных вод – сложная многокомпонентная система, состоящая из органической и минеральной частей. В осадках городских сточных вод содержится большое количество микроорганизмов, в том числе патогенных, токсичных соединений особенно ионов тяжелых металлов, в концентрациях значительно превышающих ПДК металлов в почве. Объем влажных осадков, образующихся на канализационных очистных сооружениях, составляет от 0,5 до 1,0% от объема сточной воды в зависимости от технологической схемы очистки. Качество осадков сточных вод в основном зависит от нормы водоотведения, развития и характера промышленности, эффективности работы локальных очистных сооружений предприятий, от состава городских очистных сооружений. Количество осадков сточных вод постоянно растет, и на сегодняшний день они являются основным загрязнителем окружающей среды.

При выборе методов и оборудования для переработки осадков сточных вод существенную роль играют их состав, количество, стоимость оборудования и реагентов, экологическая безопасность.

Современная технологическая схема обработки осадков включает следующие процессы: *уплотнение (сгущение), стабилизацию органической части осадков, кондиционирование, обезвоживание, утилизацию ценных компонентов, ликвидацию*. Осадки промышленных сточных вод металлообрабатывающих предприятий представляют собой трудноразделимые суспензии. Цель *кондиционирования* – улучшение водоотдающих свойств осадков путем изменения их структуры и форм связей воды. От условий кондиционирования зависит производительность обезвоживающих аппаратов, чистота отделяемой воды и влажность обезвоженных осадков. Кондиционирование может осуществляться несколькими способами, различными по своему физико-химическому воздействию на структуру обрабатываемого осадка. В статье Халтуриной Т.И. [1] представлено действие катионного флокулянта ВПК-402 при кондиционировании на изменение свойств осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий, для дальнейшей возможности их утилизации в качестве добавок при производстве строительных материалов и изделий. В статье «Применение присадочных материалов для кондиционирования осадка МЭС» Халтуриной Т.И. [2] были получены результаты экспериментальных исследований по изучению кондиционирования совместного осадка маслоэмульсионных и кислотно-щелочных стоков, обработанного диспергированным бурым углем. Наибольшее распространение из них получили реагентная обработка, тепловая обработка, замораживание и оттаивание [3].

Процесс укрупнения и объединения в хлопья тонкодисперсных и коллоидных частиц, происходящий при введении в осадки коагулянтов, является основным приемом подготовки осадков к механическому *обезвоживанию* на вакуум-фильтрах и фильтрах-прессах. С целью повышения эффективности процесса очистки сточных вод, снижения энергопотребления, а также решения экологических проблем, предлагается заменить фильтр - прессы на центрифугу [4]. В работе [5] исследован процесс обезвоживания осадка хромосодержащих сточных вод, полученного при гальванокоагуляционной обработке с использованием гальванопары углерод - минеральный сорбент. Применение реагентной обработ-

ки сточных вод приводит к существенному увеличению количества осадков, как по сухому веществу, так и по объему. В качестве технологического решения для обезвоживания образующегося осадка предлагается шнековый дегидратор [6].

Стабилизацию осадков применяют для предотвращения их загнивания, метод основан на изменении физико-химических характеристик, сопровождающийся подавлением жизнедеятельности гнилостных бактерий. В тех случаях, когда необходима стабилизация осадков с минимальными капитальными вложениями, используют химические (реагентные) методы обработки [7]. Основными недостатками реагентной обработки осадков являются значительный расход реагентов и увеличение содержания отделяемой воды. Более перспективно для обработки осадков применение полиэлектролитов [8].

Для *стабилизации* и регулирования процесса в дополнении к коагулянту используют некоторые высокомолекулярные вещества, способствующие процессу коагуляции и обезвоживанию хлопьев [9]. В статье [10] рассмотрены варианты реагентной стабилизации, которая является обязательной стадией обработки осадков очистных сооружений канализации. Известны варианты стабилизации, основанные на минерализации органического вещества, воздействии на микроорганизмы (нагревание, обработка химическими веществами, обладающими бактерицидным действием, регулирование показателя рН и влажности) с целью подавления их жизнедеятельности. По сравнению с биологическими методами реагентная стабилизация требует минимальных капитальных затрат и обеспечивает проведение процесса в течение небольшого периода времени. При реагентной стабилизации осадков перспективным направлением является использование отходов, содержащих органические вещества, которые обладают микробостатическим и микробоцидным действием, при этом не изменяющих состав осадков. В работе в качестве реагентов для стабилизации использовали жидкие отходы и сточные воды, образующиеся при производстве и применении карбшидоформальдегидных смол (КФС), которые характеризуются высоким содержанием формальдегида. Можно использовать в качестве реагента материал, который получается из высокомолекулярных полимеров катионного типа. Для *обезвожива-*

ния осадка этим коагулянтом требуется незначительная его доза, что позволяет существенно сократить размеры реагентного хозяйства и насосного оборудования [11]. В статье «Магнитное обезвоживание осадков сточных вод» [12] показана насущная необходимость разработки принципиально новых и более эффективных технологий обезвоживания гидроксидных осадков водопроводных станций. Предложен новый метод обезвоживания таких осадков, основанный на придании осадкам восприимчивости к магнитному полю и последующем обезвоживании их в процессе непрерывной магнитной сепарации осадка от содержащейся в нём воды. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний этой технологии на одной из водопроводных станций г. Санкт-Петербурга. Испытания показали, что технология магнитного обезвоживания гидроксидных осадков водоподготовки может конкурировать с существующими технологиями центрифугирования и фильтрования, опережая их как по эффективности обезвоживания, так и по величине капитальных и эксплуатационных затрат. В статье [13] приведены результаты экспериментальных исследований обезвоживания и компостирования осадков нефтесодержащих сточных вод, даны практические рекомендации по режимам обезвоживания осадков в геоконтейнерах с целью утилизации и использования в качестве рекультивационных материалов.

Одним из эффективных способов повышения водоотдачи осадков является их термическая обработка [14].

Обезвоженный осадок можно сжигать самостоятельно и в смеси с мусором или утилизировать. *Сжигание* - процесс окисления органической части осадков при повышенной температуре до нетоксичных газов и выделения минеральной части в виде расплава или сухого порошка (золы) [15].

С технологической точки зрения сжигание представляет собой метод обезвоживания осадков с одновременным использованием последних в качестве топлива и утилизацией выделившейся теплоты, а в ряде случаев и образовавшейся золы в технологической схеме обработки осадков сточных вод. Теплота используется для подогрева воздуха, необходимого для сжигания, а зола – как присадочный материал [16].

Ликвидация осадков сточных вод применяется в тех случаях, когда утилизация оказывается невозможной или экономически нерентабельной. Выбор метода ликвидации осадков определяется их составом, а также размещением и планировкой промышленного предприятия [17]. В статье [18] представлены результаты разработки экологически безопасного метода утилизации высокотоксичного осадка сточных вод (ОСВ) нефтеперерабатывающего предприятия с условием получения на выходе востребованного на рынке товарного продукта. Методы переработки ОСВ, используемые в настоящее время, недостаточно минимизируют ущерб, который наносит объектам окружающей среды сам осадок или продукты его переработки/утилизации, либо являются высокочрезвычайными и экономически невыгодными. На основе проведенных исследований авторами предложен экологически безопасный способ термической утилизации осадка путем пиролиза, включающий предварительную обработку осадка кальцийсодержащими реагентами для извлечения твердых металлов, центрифугирование и сушку. Продукт пиролиза - органоминеральная композиция - имеет пористую структуру и может быть использован в качестве сорбционного материала для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на технологических площадках с твердым и грунтовым покрытием нефтеперерабатывающего предприятия.

Таким образом, существующие методы обработки осадков сточных вод в основном направлены на решение частных задач. В настоящее время необходимо комплексное решение вопроса обработки осадка и его утилизации.

На современном этапе развития науки и техники технология производства продукции связана с образованием отходов, которые могут эффективно использоваться в качестве минерального сырья в различных отраслях промышленности [19]. Проблема утилизации отходов в металлургии должна решаться комплексно, так как в отходах имеются ценные тяжелые металлы, извлечение которых многократно окупает переработку.

1.2 Обработка осадка коагулянтами

В качестве химических реагентов для коагуляции применяются хлорное железо, сернокислое окисное железо, хлорированный железный купорос, хлорид гидрат алюминия и другие реагенты в сочетании с известью. Для улучшения водоотдающих свойств осадка предлагается использовать в качестве коагулянтов сернокислое закисное железо, разбавленную азотную кислоту [20]. Также в осадок перед обезвоживанием можно вводить вермикулит, обладающий большой сорбционной способностью. Затем смесь обезвоживают с применением $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и FeCl_3 . Содержание воды в осадке после такой обработки составляет примерно 50% [21].

Эффективность коагулянтов определяется величиной заряда частиц осадка, концентрацией реагента, химическими реакциями, происходящими при введении реагентов, значением pH среды, степенью перемешивания и времени контакта с осадком, агрегативной устойчивостью образующихся хлопьев, степенью их сжимаемости [22]. Оптимизация выбора и использование коагулянтов и флокулянтов производится с учетом происхождения, свойств и условий применения данного реагента [23]. В связи со сложностью механизма коагуляции осадков и зависимостью его от многих факторов, дозу коагулянтов целесообразно определять косвенно, путем использования обобщающего показателя водоотдачи осадков - удельного сопротивления осадка фильтрации [24]. Для обработки осадков могут применяться окиси, гидроокиси, карбонат кальция, доменный шлак, могут также быть использованы цемент и сульфаталюминат кальция, весовое соотношение алюмината и гипса 1÷0; 2÷4 [25]. Широкое применение получила коагуляция осадков хлорным железом в сочетании с известью, что позволяет понижать влажность кека. Совместное применение извести и железного купороса также служит одновременно для кондиционирования осадка перед обезвоживанием [26]. Известь нейтрализует кислоты, образующиеся при гидролизе коагулянтов, вступает в химические реакции с кислотами и органическими веществами, находящимися в осадках при этом сокращается расход основного реагента и

предотвращается загнивание осадка [27]. Одновременно известь играет роль присадочного материала, изменяющего и повышающего жесткость структуры осадка [28].

Для обезвоживания осадка, используют водорастворимый полиэлектролит в качестве коагулянтов. Коагулированный осадок сточных вод загружают в пластинчатый фильтр с начальной производительностью по загружаемому материалу не менее $0,3 \text{ м}^3$ осадка на 1 м^2 площади фильтрующей поверхности в час. В пластинчатом фильтре гидростатической фильтрацией от обработанного коагулированного осадка сточных вод отделяют основное количество воды и после этого частично обезвоженный осадок сточных вод подвергают напорной фильтрации. Пластинчатый фильтр имеет спускную систему для фильтрата, позволяющую сливать фильтрат с максимальной скоростью потока $1,0 \text{ м/с}$. Изобретение позволяет усовершенствовать пластинчатые фильтры, повысив эффективность процесса загрузки [29].

В качестве химического реагента используются соли карбоновых кислот, представляющие щелоки после очистки дизельного топлива. Достижимый результат: повышение степени очистки сточных вод от фтора, в частности, растворов газоочистки алюминиевого производства [30].

Для обработки осадка сточных вод применяют комплексный коагулянт, в состав которого входят известь, кальцинированная сода и алюминат натрия в соотношении $1 : 1 : (0,05 - 0,5)$, последующее двухстадийное фильтрование через зернистую загрузку. В качестве источника алюмината натрия используют отходы витаминного производства с каустическим модулем $1,8 - 2,8$ и содержанием оксида алюминия $10 - 18\%$. Обработка обеспечивает повышение степени очистки промышленных стоков от нефтепродуктов до ПДК, а также позволяет умягчить воду на 59% , снижает минерализацию на 62% и повышает нефтеемкость фильтрующей загрузки на $10 - 15\%$ [31].

Поэтому использование перечисленных выше реагентов в сочетании с известью получило широкое применение в практике подготовки осадков к механическому обезвоживанию. Для обезвоживания гидроксидных осадков применяют

раствор смеси бентонитовой глины и полиакриламида, что позволяет снизить влажность, сократить время обезвоживания и площадь складирования осадков [32]. К осадку, содержащему гидроокиси, добавляют соли щелочных металлов и спекают смесь, при этом получают клинкер [33]. Снижение влажности осадков сточных вод, содержащих ПАВ, может быть достигнуто следующим образом: после коагуляционной обработки в осадок вводят низкомолекулярную фракцию синтетических жирных кислот, с числом углеродных атомов от 5 до 9 в количестве 28 - 55% от массы сухого вещества осадка. Процесс ведется при температуре 40 - 70⁰С [34]. Усовершенствовать технологию реагентной обработки осадка можно путем ультрафильтрации и обратного осмоса [35].

1.3 Обработка осадка флокулянтами

Высокомолекулярные флокулянты обычно делят на три группы: активная кремниевая кислота; вещества, получаемые из растительного сырья; синтетические органические полимеры [36]. Введение в осадок ПАА повышает степень сгущения и уменьшает удельное сопротивление осадков фильтрации [37]. Он применяется для обработки осадков сточных вод аккумуляторных заводов, цехов гальванических покрытий машиностроительных заводов, газоочисток конверторных печей и др. В области синтетических органических флокулянтов на основе полиакриламида нашли применение полиэлектролиты со смежными или частично смежными молекулами, полимерные цепи которых имеют поперечные связи. Преимущество при их использовании заключается в увеличении плотности осадка, т.е. повышенном содержании твердого вещества. Наиболее рационально применение синтетических флокулянтов при последующей обработке осадков на центрифугах. В зависимости от вида осадка доза флокулянта составляет 0,05 - 0,4% от массы сухого вещества. Для повышения концентрации избыточного активного ила перед его дальнейшей обработкой рекомендуется осуществлять его уплотнение (сгущение) в сооружениях и оборудовании различных типов. Содержание сухого вещества перед подачей ила в метантенки должно

быть не менее 4,5%. Основными способами уплотнения (сгущения) осадков являются: гравитационное, флотационное, центрифугирование, фильтрование и различные комбинации этих методов [38].

Известно [39] комбинированное применение минеральных коагулянтов и синтетических флокулянтов перед подачей осадка на фильтр-пресс с дозой по сухому веществу: флокулянта 0,001 - 0,5%; коагулянта (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) 0,5-10,0%... и т.д. Авторами в работе «Сжигание осадков городских сточных вод (проблемы и способы)» [40] предлагается для улучшения качества предварительного обезвоживания осадка перед его сжиганием обработку полиэлектролитами регулировать их дозой путем измерения потенциала. За рубежом весьма успешно применяется широкий спектр катионных флокулянтов различных типов, например, способ обезвоживания ила и осадка сточных вод осуществляют путем введения флокулянта.

С целью интенсификации обезвоживания осадков применяется обработка флокулянтами и совместная обработка флокулянтами и присадочным материалом (вермикулитом). Показано, что наряду с промораживанием перспективным способом повышения водоотдающей способности осадков является применение флокулянта на основе полиакриламида совместно с вермикулитом [41].

За рубежом весьма успешно применяется широкий спектр катионных флокулянтов различных типов, например: полимеры аминоалкиловых эфиров АК и МАК, винилпиридинов, диаллиламина, диаллилдиметиламмоний хлорида (напр., полиэлектролит ВПК 402), продукты алкилирования полидиметиламиноэтил метакрилата и полидиэтиламиноэтилметакрилата (ВА 102), продукты последоват. хлорметилирования и аминирования полистирола или поливинилтолуола, модифицированный формальдегидом и вторичным амином (по рекомендации Манниха) ПАА, содержащий в макромолекуле до 30 мол. % катионных звеньев, в которых помимо аминогрупп имеются амидные, карбоксильные и метоксильные группы) [42].

Широкое применение флокулянтов в технологии обработки осадков затруднено недостаточным их количеством, малым ассортиментом и высокой стоимостью.

1.4 Выводы и постановка задачи исследований

Всесторонний анализ литературы и патентных материалов позволил сделать следующие выводы.

Применение методов обработки осадков обусловлено составом и свойствами, возможностью их утилизации и экономическими соображениями. Выбор рациональной технологической схемы обработки осадков и их утилизация является сложной инженерно-экологической и экономической задачей, правильное решение которой требует выполнение экспериментальных исследований с учетом региональных местных условий.

2 Изучение процессов обработки нефтесодержащих отходов

2.1 Изучение процесса реагентной обработки нефтесодержащих отходов

В процессе очистки маслоэмульсионных сточных вод образуются нефтесодержащие отходы. Представлена на рисунке 1, технологическая схема очистки маслоэмульсионных сточных вод.

Производительность очистных сооружений МЭС завода ООО «КраМЗ» г. Красноярск составляет $150\text{ м}^3/\text{сут}$.

Примечание: пунктиром на технологической схеме показаны предлагаемые технологии.

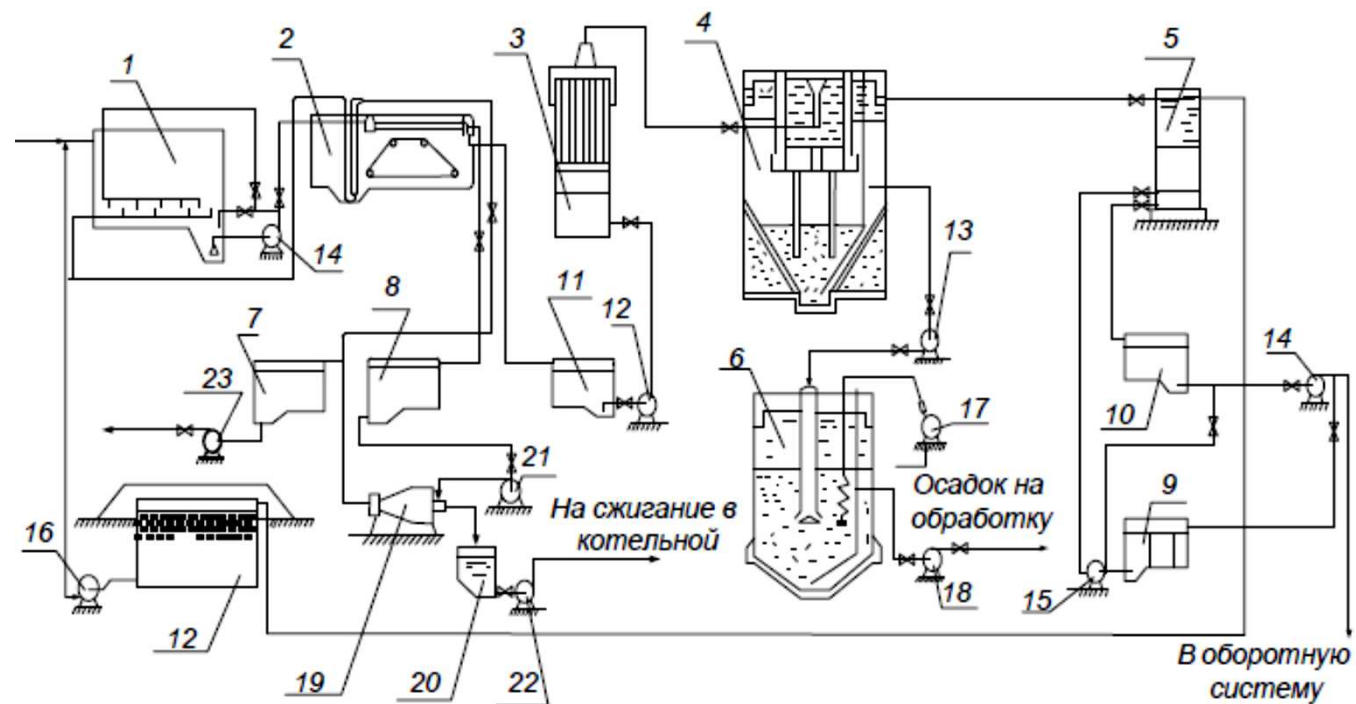
Нефтесодержащие сточные воды с концентрацией нефтепродуктов $20 \cdot 10^3 - 50 \cdot 10^3$ поступают в усреднитель 1, где происходит усреднение стоков как по концентрации, так и по расходу, затем с помощью насосов 14 подаются в нефтеловушку 2. Пленочные нефтепродукты собираются поворотной щелевой трубой и по трубопроводу отводятся в бак 7. Замасленные отходы из приемка нефтеловушки с помощью гидроэлеватора также отводятся в бак, откуда откачиваются песковым насосом 26 и вывозятся в отвал. Количество нефтесодержащих отходов в сутки 2 - 4 м^3 . Сточные воды, после нефтеловушки, содержащие эмульгированные и растворенные нефтепродукты, с концентрацией 200 - 1200 $\text{ мг}/\text{дм}^3$ и расходом 147 $\text{ м}^3/\text{сут}$, поступают в смеситель, где происходит при аэрации воздухом равномерное распределение реагентов во всей массе обрабатываемой воды, далее сточная вода поступает в вертикальный отстойник 4, где происходит хлопьеобразование и отделение осадка [43].

Отходы - осадок, с расходом $Q = 24 \text{ м}^3/\text{сут}$, с адсорбированными эмульгированными и растворенными нефтепродуктами и взвешенными веществами, с помощью насоса 16 поступает в шламонакопитель 6, откуда насосом 21 подается на обработку для обезвоживания на вакуум-фильтры, после чего направляется на шламовые площадки завода. Сточная жидкость после отстойника 4 ($Q=123$

м³/сут), с концентрацией нефтепродуктов 2-10 мг/ дм³, для доочистки поступает на фильтры 5. Очищенные стоки собираются в РЧВ 10, откуда насосом 17 направляется в оборотную систему. Остаточная концентрация нефтепродуктов в воде прошедшей фильтрацию составляет 1-5 мг/л. Промывка фильтрующей загрузки осуществляется горячей водой из резервуара 11 с помощью насоса 18. Загрязненная промывная вода ($Q = 10 \text{ м}^3/\text{сут.}$ и $C_{\text{нп}} = 13 - 70 \text{ мг/дм}^3$) направляется в резервуар 12, откуда насосом 19 подается в голову сооружений.

Очистка нефтесодержащих сточных вод осуществляется реагентным методом путем обработки их растворами $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Результаты по определению эффективности работы очистных сооружений представлены в таблице 1.



1 - резервуар-усреднитель; 2 - нефтеловушка; 3 - смеситель; 4 - вертикальный отстойник; 5 - скорый фильтр с зернистой загрузкой; 6 - шламонакопитель; 7 - бак замасленных отходов удаляемых из приемка нефтеловушки; 8 - бак для сбора из нефтеловушки пленочных нефтепродуктов; 9, 10, 11 – промежуточный бак; 12 – насос перекачки; 13 - насос перекачки осадка; 14 - насосы технической воды, 15 - насосы промывной воды; 16 - насос перекачки промывной воды; 17 - насос рециркуляции осадка; 18 - насос подачи осадка на обработку; 19-центрифуга; 20-емкость для сбора масла; 21- насос подачи пленочных отходов на центрифугу; 22 - насос подачи масла на сжигание; 23 - песковой насос.

Рисунок 1 - Технологическая схема очистки нефтесодержащие сточных вод

Как видно из таблицы 1, при реагентной обработке нефтесодержащих стоков на действующих очистных сооружениях достигается эффект очистки по нефтепродуктам, однако для осветленной воды иногда характерна повышенная концентрация сульфатов и взвешенных веществ.

Таблица 1 - Эффективность работы очистных сооружений

$C_{\text{нп. исх}}$ мг/дм ³	$\text{pH}_{\text{исх}}$	pH	Доза $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, мг/дм ³	$C_{\text{нп. ост.}}$ мг/дм ³	$C_{\text{вв. ост.}}$ мг/дм ³	$\text{Э},\%$
560	7	7,8	1100	2,4	22,6	99,57
280	8,1	7,9	1190	2,2	20,2	99,21
640	6,9	7,3	1002	2,4	26,8	99,62
400	7,7	6,3	2135	2,8	12,4	99,3
460	7,3	8,2	993	2,4	12,0	99,47
200	7,2	7,8	590	2,0	18,8	99,00

Для определения оптимальных режимов реагентной обработки была проведена серия экспериментальных исследований на натуральных стоках, данные которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты экспериментальных исследований по реагентной обработке нефтесодержащих сточных вод

$C_{\text{нп. исх}}$ мг/дм ³	$C_{\text{вв. исх.}}$ мг/дм ³	$\text{pH}_{\text{исх}}$	$\text{SO}_4^{-2}_{\text{исх}}$	Доза $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, мг/дм ³	Доза $\text{Ca}(\text{OH})_2$, мг/дм ³	$C_{\text{нп. ост.}}$ мг/дм ³	$C_{\text{вв. ост.}}$ мг/дм ³	$\text{SO}_4^{-2}_{\text{ост}}$	$V_{\text{ос}},\%$
320	859	6	80	1280	1360	3,9	24	550	38
				1000	1100	5,0	18	500	33
				800	670	8,4	35,2	260	30
				600	530	8,6	94,2	300	25
				400	320	10,8	26,2	180	15

Экспериментальные данные, представленные в таблице 1, указывают на то, что снижение дозы $Al_2(SO_4)_3$ ухудшает процесс очистки по нефтепродуктам, что нежелательно т.к. очищенная вода используется для пополнения оборотной системы водоснабжения, а нефтепродукты могут являться питательным субстратом для микроорганизмов, вызывающих биообрастание.

Для достижения высокого эффекта очистки требуется большой расход реагентов $Al_2(SO_4)_3$ и $Ca(OH)_2$ при этом повышается солесодержание обрабатываемой воды и образуется большой объем осадка [44].

С целью снижения дозы вводимых реагентов, изучалась возможность обработки маслоэмульсионных стоков в два этапа: 1 - подача растворов $Al_2(SO_4)_3$ и $Ca(OH)_2$ перед смесителем в количестве 2/3 дозы от дозы реагентов и 1/3 подавать перед фильтром. Экспериментальные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Дробное коагулирование

$C_{нп. исх}$ мг/дм ³	$C_{вв. исх.}$ мг/дм ³	$SO_4^{-2}_{исх}$	Доза $Al_2(SO_4)_3$, мг/дм ³	Доза $Ca(OH)_2$, мг/дм ³	$C_{нп. ост.}$ мг/дм ³	$C_{вв. ост.}$ мг/дм ³	$SO_4^{-2}_{ост}$	$V_{ос, \%}$
320	859	80	600	530	8,6	28,2	300	25
			400	320	10,8	26,2	180	15
После отстаивания в воду добавляется раствор $Al_2(SO_4)_3$								
10,8	26,2	180	200	160	4,6	8,9	240	20

Как видно из таблицы 3, дробное коагулирование позволит снизить дозу для обработки сточных вод в 1,5 раза при той же остаточной концентрации нефтепродуктов. На рисунке 2 представлена обработка нефтесодержащих сточных вод сульфатом алюминия.

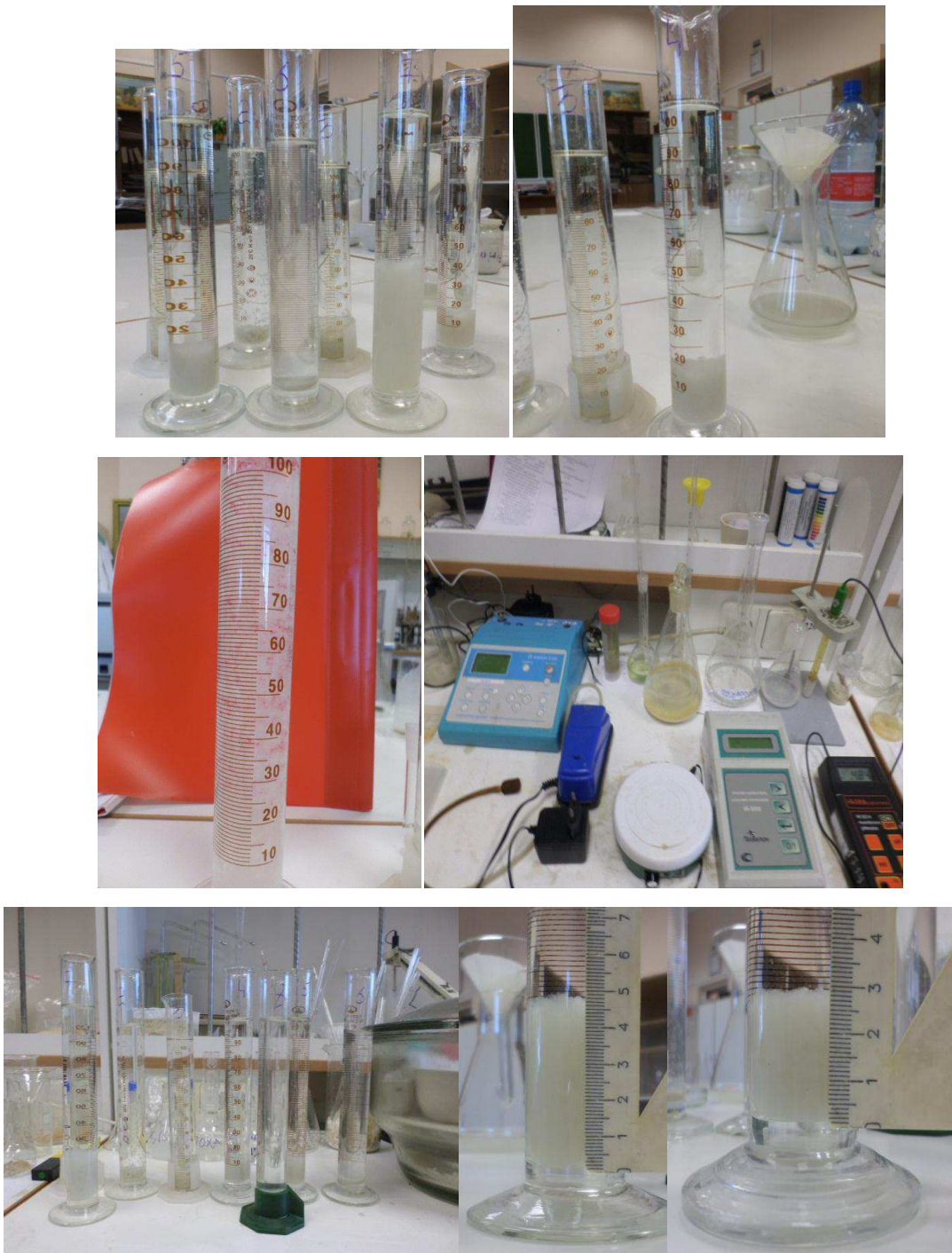


Рисунок 2 - Обработка нефтесодержащих сточных вод сульфатом алюминия

Одна из актуальных на сегодняшний день проблем в сфере очистки сточных вод промышленных предприятий - это обезвоживание их осадка. Для решения данной проблемы требуется изучение их состава, структуры и свойств, выявления возможности изменения исходных свойств и определения оптимальных па-

раметров различных технологических схем. Основными задачами обработки осадков является сокращение их объема и утилизация [45].

Осадки промышленных сточных вод металлообрабатывающих предприятий обладают плохими водоотдающими свойствами. Цель кондиционирования – улучшение водоотдачи осадков путем изменения их структуры и форм связей воды. От условий кондиционирования зависит производительность обезвоживающих аппаратов, чистота отделяемой воды и влажность обезвоженных осадков. Кондиционирование может осуществляться несколькими способами, различными по своему физико-химическому воздействию на структуру обрабатываемого осадка [46].

2.2 Методики определения свойств осадка

Влажность. Влажностью называется высушенный при 105°C остаток, получающийся при выпаривании досуха профильтрованной исследуемой воды.

Ход определения

В фарфоровую чашку для выпаривания, предварительно взвешенную с точностью до 0,01 г/г, наливают 20 мл осадка. Чашку с осадком взвешивают на весах. Затем сушат в сушильном шкафу при температуре 105°C, до постоянного веса, охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают.

Влажность осадка, %

$$W_{oc} = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_1 – масса тигля с осадком;

m_2 – масса тигля с осадком после просушивания ($t=105$ °C);

m_3 – масса исходного осадка.

Плотность осадка характеризует массу единицы его объема и выражается отношением массы осадка к его объему.

Плотность, г/см³

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где m – масса осадка, г;

V – объем осадка, см³.

Сухой остаток это – высушенный при 105 °С остаток, который получается при выпаривании досуха профильтрованной исследуемой воды. Он характеризует содержание органических и минеральных примесей, а именно тех, температура кипения которых заметно превышает 105 °С, нелетучих с водяным паром и не разлагающихся при данной температуре.

Сухой остаток, г/дм³

$$X = \frac{m_3 - m}{V_{oc}} \cdot 1000, \quad (3)$$

где m - масса пустого тигля, г;

m_3 - масс тигля с осадком после просушивания ($t=105$ °С), г;

V_{oc} - объем осадка, см³.

Сухой остаток после прокаливания, г/дм³

$$Y = \frac{m_4 - m}{V_{oc}} \cdot 1000, \quad (4)$$

где m - масса пустого тигля, г;

m_4 - масс тигля с осадком после прокаливания ($t=450$ °С, 800 °С), г;

V_{oc} - объем осадка, см³.

Зольность выражают в % по отношению к абсолютному сухому веществу.

Ход определения

Тигли с сухим остатком помещаем в муфельную печь при температуре 450 °С, а затем при 800 °С.

Зольность, %

$$Z = \frac{m_4 - m}{m_3 - m} \cdot 100, \quad (5)$$

где m – масса пустого тигля, г;

m_3 – масса тигля с осадком после просушивания ($t=105$ °С), г;

m_4 – масса тигля с осадком после прокаливания ($t=450$ °С, 800 °С), г.

Потери при прокаливании, г/дм

$$Z = \frac{m_3 - m_4}{V_{oc}} \cdot 1000, \quad (6)$$

где m_3 – масса тигля с осадком после просушивания ($t = 105$ °С), г;

m_4 – масса тигля с осадком после прокаливания ($t = 450$ °С, 800 °С), г;

V_{oc} – объем осадка, см³.

Замасленность, %

$$Z_{ам} = \frac{Z_{450}}{X_{105}} \cdot 100 \quad (7)$$

Удельное сопротивление, г/дм³

$$\gamma = \frac{2 \cdot P_{cp} \cdot F^2 \cdot \alpha}{\eta \cdot c}, \quad (8)$$

где P_{cp} – давление, при котором происходит фильтрация;

F – площадь фильтра, $F = 1747$ см²;

η – вязкость осадка, $\eta = 0,01$ г/(см · с);

c - концентрация осадка, $c = 0,012 \text{ г/см}^3$;

α - тангенс угла наклона прямой, построенный в координатах t/V и V .

График удельного сопротивления осадка представлен на рисунке 3. Данные по обработке осадка приведены в таблице 4.

2.2.1 Исследование свойств осадка нефтесодержащих сточных вод

Таблица 4 - Ведомость обработки осадка нефтесодержащих сточных вод

№	$t, \text{ с}$	$P_{\text{ниж}},$ мм рт.ст	$P_{\text{вер}},$ мм рт.ст	$P = (P_{\text{ниж}} + P_{\text{вер}})/2,$ мм.рт.ст	$V_1, \text{ см}^3$	$V = V_1 - V_0,$ см^3	$t/V,$ с/см^3
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	170	50	110	50	0	0,00
2	30	165	45	105	51	1	30,00
3	60	160	40	100	52	2	30,00
4	120	162	42	102	55	5	24,00
5	180	160	40	100	57	7	25,71
6	240	158	39	98,5	60	10	24,00
7	300	160	41	100,5	61	11	27,27
8	360	158	38	98	63	13	27,69
9	420	156	37	96,5	64	14	30,00
10	480	158	40	99	66	16	30,00
11	540	156	38	97	66	16	33,75
12	600	156	38	97	67	17	35,29
13	660	155	37	96	68	18	36,67
14	720	152	34	93	69	19	37,89
15	780	154	36	95	70	20	39,00
16	840	153	37	95	70	20	42,00
17	900	149	29	89	70	20	45,00
18	1200	148	30	89	72	22	54,55
19	1500	150	32	91	73	23	65,22
20	1800	146	28	87	74	24	75,00

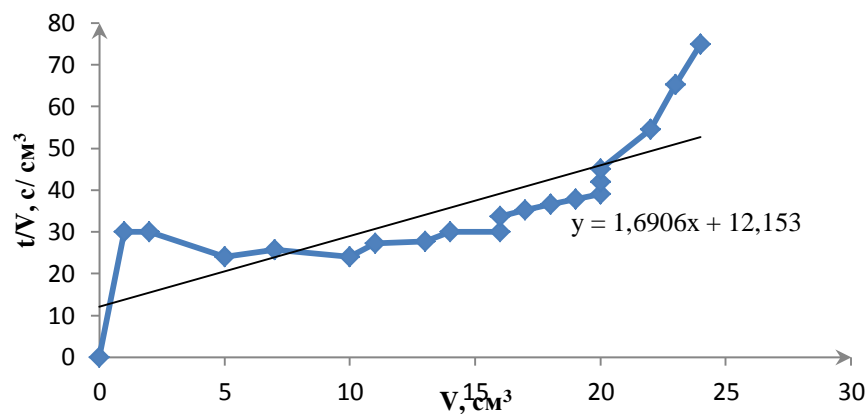


Рисунок 3- Удельное сопротивление исходного осадка

Удельное сопротивление фильтрации осадка, $\frac{см}{с}$

$$\gamma = \frac{2 \cdot P_{cp} \cdot F^2 \cdot \alpha}{\eta \cdot c} \cdot 1333,22, \quad (9)$$

где P_{cp} - давление при котором происходит фильтрация 96,925;

F - площадь фильтра, 1747 см²;

η - вязкость фильтра, $\eta=0,01$ г/(см·с);

c - концентрация осадка, равная 0,049 г/см³;

α - тангенс угла наклона прямой, построенный в координатах t/V и V равный 2,8771.

$$\gamma = \frac{2 \cdot 96,925 \cdot 1747 \cdot 1,690}{0,01 \cdot 0,049} \cdot 1333,22 = 155,7 \cdot 10^{10}$$

Плотность осадка, $\frac{г}{см^3}$

$$\rho = \frac{m}{V_{oc}}, \quad (10)$$

где m - масса осадка во втором тигле равная 69,7972 г;

V - объем осадка равный 70 см³.

$$\rho = \frac{69,7972}{70} = 0,9971$$

Тигли с осадком 70 мл помещаем в сушильный шкаф при температуре 105°C. Затем охлаждаем, определяем массу сухого остатка и вычисляем влажность осадка

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \cdot 100, \% \quad (11)$$

где m_1 - масса второго тигля с осадком равная 165,6912 г;

m_2 - масса тигля с осадком после просушивания ($t=105^0\text{C}$) равная 99,3837г;

m_3 - масса исходного осадка равная 69,7972 г.

$$W = \frac{165,6912 - 99,3837}{69,7972} \cdot 100 = 95$$

Сухой остаток после просушивания, г/дм³

$$X = \frac{m_3 - m_1}{V_{\text{ос}}} \cdot 1000, \quad (12)$$

где m_1 - масса пустого тигля равная 95,894 г;

m_3 - масс тигля с осадком после просушивания ($t=105^0\text{C}$) равная 99,3837г;

$V_{\text{ос}}$ - объем осадка равный 70 см³.

$$X = \frac{99,3837 - 95,894}{70} \cdot 1000 = 49,85$$

Тигли с сухим остатком помещаем в муфельную печь при температуре 450 °С, а затем при 800 °С.

Зольность, %

$$Z_n = \frac{m_4 - m_1}{m_3 - m_1} \cdot 100, \quad (13)$$

где m_1 - масса пустого тигля;

m_3 - масса тигля с осадком после просушивания ($t=105$ °С);

m_4 - масса тигля с осадком после прокаливания ($t=450, 800$ °С).

$$Z_{450} = \frac{97,0410 - 95,894}{99,3837 - 95,894} \cdot 100 = 32,86$$

$$Z_{800} = \frac{96,9633 - 95,894}{99,3837 - 95,894} \cdot 100 = 30,64$$

Сухой остаток после прокаливания, г/дм³

$$Y = \frac{m_4 - m_1}{V_{oc}} \cdot 1000, \quad (14)$$

где m_1 - масса пустого тигля;

m_4 - масс тигля с осадком после прокаливания ($t=450, 800$ °С);

V_{oc} - объем осадка.

$$Y_{450} = \frac{97,0410 - 95,894}{70} \cdot 1000 = 16,38$$

$$Y_{800} = \frac{96,9633 - 95,894}{70} \cdot 1000 = 15,27$$

Потери при прокаливании, г/дм³

$$Z = \frac{m_3 - m_4}{V_{oc}} \cdot 1000, \quad (15)$$

где m_3 - масса тигля с осадком после просушивания ($t=105$ °С);

m_4 - масса тигля с осадком после прокаливании ($t=450, 800$ °С);

V_{oc} - объем осадка.

$$Z_{450} = \frac{99,3837 - 97,0410}{70} \cdot 1000 = 33,46 \text{ г/дм}^3$$

$$Z_{800} = \frac{99,3837 - 96,9633}{70} \cdot 1000 = 34,57 \text{ г/дм}^3$$

Замасленность, %

$$\text{Замасленность} = \frac{Z_{450}}{X_{105}} \cdot 100\% \quad (16)$$

$$3 = \frac{33,46}{49,85} \cdot 100 = 67,12$$

Итоговые свойства осадка представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Свойства осадка

Вид осадка	ρ , г/см ³	W, %	Сухой остаток после просуш., г/дм ³	Прокал. остаток, г/дм ³		Потери при прокал., г/дм ³		Зольность, %		Замасл., %	Удельное сопротив. фильтра, см/г
				450°C	800°C	450°C	800°C	450°C	800°C		
Осадок СВ произв. КРАМЗ	0,997	95	49,85	16,38	15,27	33,46	34,57	32,86	30,64	67,12	155, 7·10 ¹⁰

2.2.2 Исследование состава отходов с помощью термогравиметрического метода

Для определения состава осадка был выполнен термогравиметрический анализ на приборе NETZSCH STA 449 F1, В ДИАПАЗОНЕ 30/20,0 (к/мин/1000) в режиме ДСК - ТГ, в атмосфере А₂. Термограмма исходного осадка маслоэмульсионных и кислотно - щелочных сточных вод представлена на рисунке 4.

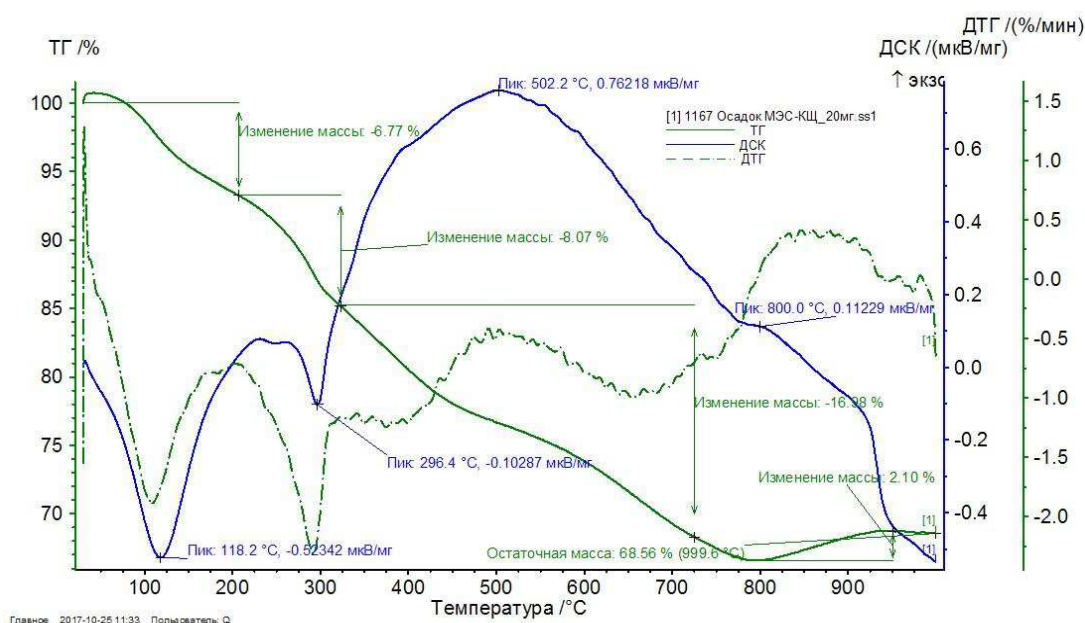


Рисунок 4 - Исходный осадок

Как видно из термограммы наблюдается два эндоэффекта: при $t = 118,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при $t = 296,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Термоэффект при $t = 118,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ связан с дегидратацией. при $t = 296,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ пик объясняется выделением основной массы конституционной воды и частичным образованием промежуточного продукта - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ (бёмита). Экзоэффект при $t = 502,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ характеризует сгорание масел. Термоэффект при $t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ указывает на разложение карбонатов. Остаточная масса составляет 68,56%.

2.3 Обработка нефтесодержащих отходов, отработанным щелочным раствором

Цель работы: исследовать возможность улучшения водоотдающей способности нефтесодержащего осадка отработанными растворами NaOH и получить регенерированные растворы NaAlO_2 для использования в процессе очистки сточных вод.

Исследования проводились с помощью планирования по методу Бокса – Хантера. В качестве факторов, от которых зависит процесс кондиционирования осадка щелочным раствором, были выбраны следующие: z_1 - замасленность осадка, %; z_2 - температура процесса обработки осадка, $^{\circ}\text{C}$; z_3 - pH. В качестве оценочных критериев были приняты: y_1 - доза щелочного реагента, г/г; y_2 - остаточный объем осадка, %. Интервалы варьирования и границы области определения отображены в таблице 6.

Таблица 6 - Факторы, интервалы и уровни их варьирования

Фактор	Интервал	+1,68	+1	0	-1	-1,68
$Z_1, \%$	15	85	70	55	40	25
$Z_2, ^{\circ}\text{C}$	15	65,2	50	35	20	9,32
$Z_3, (\text{pH})$	1	13,68	13	12	11	10,32

Химизм процесса:



Гидроксид алюминия обладает амфотерными свойствами: это говорит о том, что он может растворяться как в кислоте, так и в щелочи. При обработке его мы получили NaAlO_2 .



Рисунок 5 - Результат эксперимента по обработке осадка щелочным раствором

На рисунке 5 представлен осадок, который длительное время не уплотнялся и осадок, после обработки его раствором щелочи NaOH . Эксперимент проводили на механической мешалке путем перемешивания в течение 15 минут, после чего проводили его отстаивание.

Таблица 7 - Матрица планирования эксперимента

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Y ₁ , г/г	Y ₂ , %
1	1	1	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	70	50	13	10,4	0,68
2	-1	1	1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	40	50	13	9,0	1,2
3	1	-1	1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	70	20	13	1,62	20
4	-1	-1	1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	40	20	13	1,76	72,2
5	1	1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	70	50	11	0,48	33
6	-1	1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	40	50	11	0,64	40
7	1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	70	20	11	0,32	41,6

По данным таблицы 7 рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии второго порядка и их ошибки:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 X_2 + b_{13} \cdot X_1 X_3 + b_{23} \cdot X_2 X_3 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{22} \cdot X_2^2 + b_{33} \cdot X_3^2 \quad (21)$$

Находим коэффициенты для выходного параметра, y₁ - доза щелочного реагента, гр/гр:

$$\Sigma X_1 Y_1 \quad (22)$$

$$\Sigma X_1 Y_1 = 19,262$$

$$\Sigma X_1 X_2 Y_1 \quad (23)$$

$$\begin{aligned}\Sigma X_1 X_2 Y_1 &= 19,42 \\ \Sigma X_1^2 Y_1 &\end{aligned}\tag{24}$$

$$\begin{aligned}\Sigma X_1^2 Y_1 &= 30,784 \\ \Sigma X_2 Y_1 &\end{aligned}\tag{25}$$

$$\begin{aligned}\Sigma X_2 Y_1 &= 21,03 \\ \Sigma X_1 X_3 Y_1 &\end{aligned}\tag{26}$$

$$\begin{aligned}\Sigma X_1 X_3 Y_1 &= 1,46 \\ \Sigma X_2^2 Y_1 &\end{aligned}\tag{27}$$

$$\begin{aligned}\Sigma X_2^2 Y_1 &= 39,47 \\ \Sigma X_3 Y_1 &\end{aligned}\tag{28}$$

$$\begin{aligned}\Sigma X_3 Y_1 &= 44,374 \\ \Sigma X_2 X_3 Y_1 &\end{aligned}\tag{29}$$

$$\begin{aligned}\Sigma X_2 X_3 Y_1 &= 15,58 \\ \Sigma X_3^2 Y_1 &\end{aligned}\tag{30}$$

$$\Sigma X_3^2 Y_1 = 69,39$$

$$\Sigma Y_i = 55,15 \quad (31)$$

$$b_0 = a_1 \sum_{i=1}^N Y_i - a_2 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 Y_i \quad (32)$$

$$b_0 = 0,1663 \cdot 55,15 - 0,0568 \cdot 139,644 = 1,24$$

$$b_j = a_3 \sum_{i=1}^N X_{ji} Y_i \quad (33)$$

$$b_1 = 0,0732 \cdot 19,262 = 1,41$$

$$b_2 = 0,0732 \cdot 21,03 = 1,539$$

$$b_3 = 0,0732 \cdot 44,374 = 3,248$$

$$b_{uj} = a_4 \sum_{i=1}^N X_{ui} X_{ji} Y_i; u \neq j; j, u = 1, 2, 3. \quad (34)$$

$$b_{12} = 0,125 \cdot 19,42 = 2,428$$

$$b_{13} = 0,125 \cdot 1,46 = 0,183$$

$$b_{23} = 0,125 \cdot 15,58 = 1,948$$

$$b_{jj} = a_5 \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 Y_i + a_6 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 Y_i - a_7 \sum_{i=1}^N Y_i \quad (35)$$

$$b_{11} = 0,0625 \cdot 30,784 + 0,0069 \cdot 139,644 - 0,0568 \cdot 55,15 = -0,245$$

$$b_{22} = 0,0625 \cdot 39,47 + 0,0069 \cdot 139,644 - 0,0568 \cdot 55,15 = 0,298$$

$$b_{33} = 0,0625 \cdot 69,39 + 0,0069 \cdot 139,644 - 0,0568 \cdot 55,15 = 2,168$$

Дисперсия воспроизводимости:

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (Y_u^0 - \bar{Y}^0)^2}{n_0 - 1} \quad (36)$$

$$\bar{Y}^0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} Y_u^0}{n_0} \quad (37)$$

Расчет дисперсии и средних значений сведен в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчет построчной дисперсии и средних значений

Y_0	$(Y_0 - \bar{Y})^2$
1,44	0, 0576
0,72	0, 2304
1,28	0, 0064
1,04	0, 0256
1,2	0
1,52	0, 1024
$\sum 7,2$	$\sum 0, 4224$

$$\bar{Y}^0 = \frac{7,2}{6} = 1,2$$

$$S_y^2 = \frac{0,4224}{5} = 0,08448$$

$$S_y = 0,2907$$

$$S_{b_0}^2 = a_1 S_y^2 = 0,1663 \cdot 0,08448 = 0,014 \quad (38)$$

$$S_{b_0} = 0,119$$

$$S_{b_j}^2 = a_3 S_y^2 = 0,0732 \cdot 0,08448 = 0,00618$$

$$S_{b_j} = 0,079$$

$$S_{b_{uj}}^2 = a_4 S_y^2 = 0,125 \cdot 0,08448 = 0,011 \quad (39)$$

$$S_{b_{uj}} = 0,10$$

$$S_{b_{ji}}^2 = (a_5 + a_6) S_y^2 \quad (40)$$

$$S_{b_{ji}}^2 = (0,0625 + 0,0069) \cdot 0,08448 = 0,00586$$

$$S_{b_{ji}} = 0,077$$

Значимость коэффициентов определяем по критерию Стьюдента:

$$t_n = \frac{b}{S_b} \quad (41)$$

Промежуточные значения коэффициента Стьюдента сведены в таблице 9.

Таблица 9 – Промежуточное значение коэффициента Стьюдента

Позиция	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₁₁	t ₁₂	t ₁₃	t ₂₂	t ₂₃	t ₃₃
Критерий Стьюдента	10,4	17,8	19,5	41,1	-3,2	24,28	1,83	3,9	19,48	27,5

$$S_{b_{ij}}^2 = a_4 S_y^2 \quad (42)$$

$$S_{b_{ij}}^2 = 0,125 \cdot 0,08448 = 0,011$$

Табличное значение критерия Стьюдента для уровня значимости $\alpha=0,05$ и числа степеней свободы $f = 5$ равно 2,57 [47]. Отсеиваем незначимые коэффициенты, для которых t - отношение меньше табличного и получаем уравнение регрессии в безразмерном масштабе:

$$Y_1 = 1,24 + 1,41X_1 + 1,539X_2 - 3,248X_3 + 2,428X_1X_2 + 0,183X_1X_3 + 1,948X_2X_3 - \\ + 0,245X_1^2 + 0,298X_2^2 + 2,168X_3^2 \quad (43)$$

Определяем остаточную дисперсию по формуле

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - 1}, \quad (44)$$

где l - число значимых факторов в уравнении;

N - число опытов;

\hat{y}_i - значение, определяемое для каждого опыта подстановкой в уравнение.

Значения \hat{y}_i , определяемое для каждого опыта подстановкой в уравнение значений переменных согласно матрице планирования, а также y_i и $(y_i - \hat{y}_i)^2$ приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Определение значений y_i , $(y_i - \hat{y}_i)^2$ и \hat{y}_i

№	y_i	\hat{Y}_i	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	№	y_i	\hat{Y}_i	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	10,4	7,721	7,177	11	4,0	4,67	0,449
2	9,0	-0,321	86,881	12	1,28	-0,51	3,204
3	1,62	-4,109	32,821	13	14,61	1,90	161,544
4	1,76	-2,439	0,461	14	1,28	12,81	132,941
5	0,48	9,955	89,776	15	1,44	1,24	0,04
6	0,64	2,645	4,020	16	0,72	1,24	0,270
7	0,32	5,917	31,326	17	1,28	1,24	0,0016
8	0,36	8,319	63,346	18	1,04	1,24	0,04
9	1,16	-1,82	8,880	19	1,2	1,24	0,0016
10	1,04	2,92	3,534	20	1,52	1,24	0,078

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{626,7912}{20 - 10} = 62,679$$

$$S_{\text{ост}} = 7,917$$

Дисперсия адекватности:

$$S_{\text{адек}}^2 = \frac{7,917 - 0,291}{10} = 0,763 \quad (45)$$

Число степеней свободы остаточной дисперсии $f_{\text{ост}}$ и дисперсии адекватности $f_{\text{ад}}$:

$$f_{\text{ост}} = N - 1 \quad (46)$$

$$f_{\text{ост}} = 20 - 10 = 10$$

$$f_{\text{ад}} = f_{\text{ост}} - f_0 \quad (47)$$

$$f_{ад} = 10 - 5 = 5$$

Определяем адекватность по критерию Фишера.

Находим отклонение F- критерия:

$$F_p = \frac{S_{ад} / f_{ад}}{S_o / f_o} \quad (48)$$

$$F_p = \frac{0.763 / 5}{0.291 / 5} = 2.62$$

Табличное значение критерия Фишера при $f_{ад}=5$, $f_o=5$ и $j=0,05$ равно $F_T=4,5$ поскольку $F_p < F_T$, то уравнение регрессии адекватно описывает экспериментальные данные:

$$Y_1 = 1,24 + 1,41X_1 + 1,539X_2 - 3,248X_3 + 2,428X_1X_2 + 0,183X_1X_3 + 1,948X_2X_3 - 0,245X_1^2 + 0,298X_2^2 + 2,168X_3^2 \quad (49)$$

После обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии в безразмерном масштабе по дозе щелочного реагента и остаточному объему осадка. Значимость коэффициентов определялась по критерию Стьюдента для $p = 0,05$. По критерию Фишера определялась адекватность уравнений регрессии.

Уравнения регрессии при обработке нефтесодержащих осадков щелочным раствором имеют следующий вид:

$$Y_1 = 1,24 + 1,41X_1 + 1,539X_2 - 3,248X_3 + 2,428X_1X_2 + 1,948X_2X_3 +$$

$$+0,298X_2^2 + 2,168X_3^2 \quad (50)$$

$$Y_2 = 83,122 - 20,797 \cdot X_1 - 19,12 \cdot X_2 - 19,592 \cdot X_3 - 11,46 \cdot X_1 \cdot X_2 - 9,089 \cdot X_1^2 - 18,78 \cdot X_2^2 - 14,32 \cdot X_3^2 \quad (51)$$

Из

анализа уравнения регрессии по дозе щелочного реагента следует, что наиболее значимым фактором является величина рН и в меньшей степени оказывает влияние температура обработки осадка и замасленность. На остаточный объем осадка наибольшее влияние оказывает замасленность, а изменение температуры и величины рН сказывается меньше.

Гидроокись алюминия в щелочи растворяется с образованием алюмината. От величины рН среды зависит полнота растворения. Наиболее полное растворение происходит при рН = 12,5 - 13.

В результате исследований установлено, что при замасленности осадка 60 - 70% целесообразно осуществлять процессы кондиционирования осадка щелочью при $t = 50 - 60$ °С и рН = 11,5. При этом доза щелочи составит 0,8 - 1 г/г.

При обработке осадка с нефтесодержанием 30 - 40 % температура процесса должна быть не менее 65 - 70 °С. Осадок с замасленностью 45 - 55 % рациональнее обрабатывать при рН = 13 - 13,5, при температуре 20 - 25 °С.

В дальнейшей работе, была проведена по методу Вознесенского оптимизация процесса для получения регулировочных диаграмм и определения оптимальных режимов процесса кондиционирования отходов нефтесодержащих сточных вод раствором щелочного реагента [48]. Регулировочные диаграммы, позволяющие определить области совместной оптимальности, выполнены в программе MATLAB и построены в виде графиков линий уровня. На рисунке 6 представлены регулировочные диаграммы.

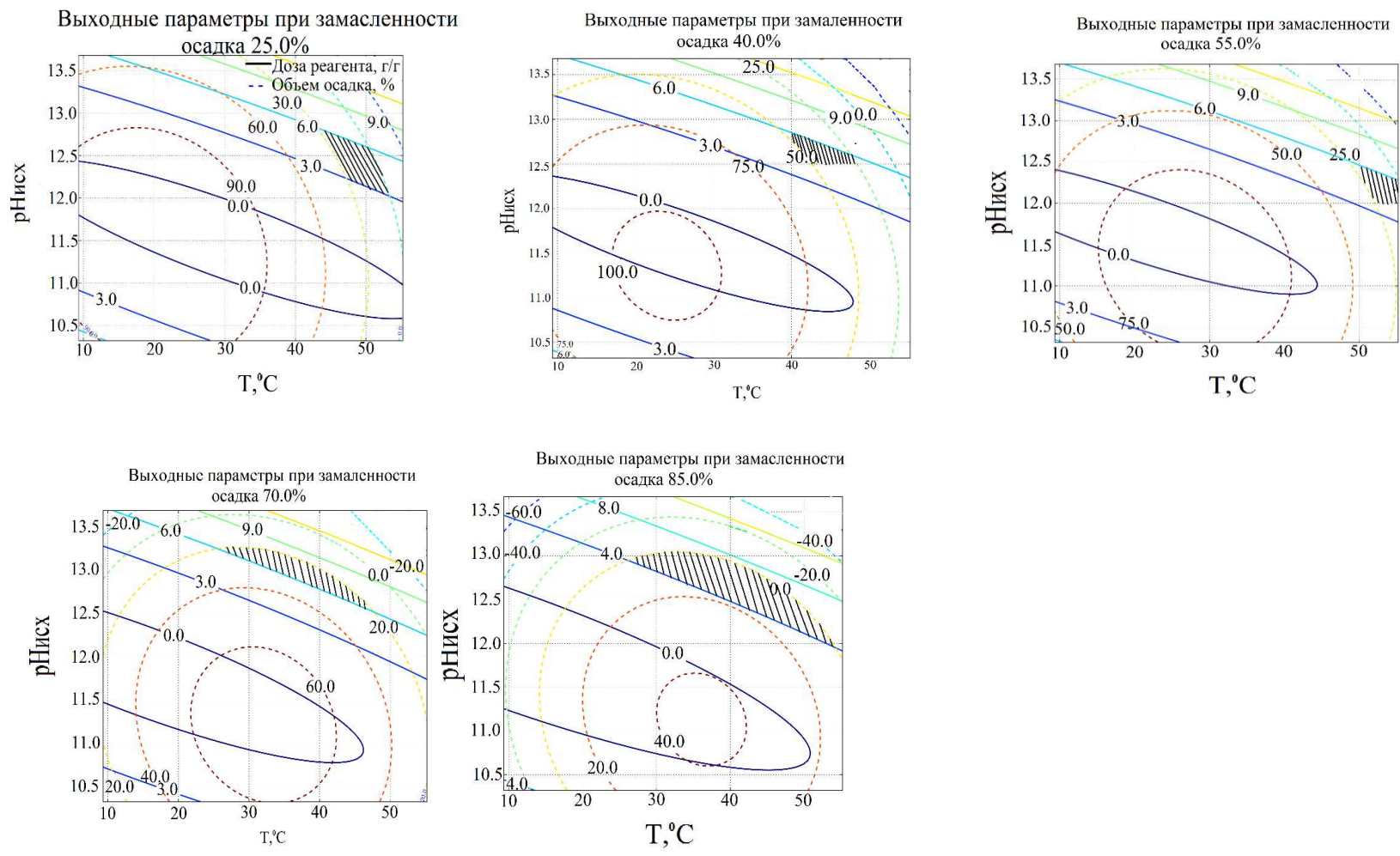


Рисунок 6 - Регулировочные диаграммы процесса кондиционирования осадков маслоэмульсионных сточных вод

2.3.1 Изучение состава и свойств после обработки отходов отработанным щелочным раствором

В работе были определены свойства осадка, обработанного щелочью NaOH. В таблице 11 показаны свойства осадка, после обработки щелочным раствором.

Таблица 11 - Свойства осадка, после обработки щелочным раствором

Вид осадка	Плотность, г/см ³	Влажность, %	Сухой остаток после просуш., г/дм ³	Прокал. остаток, г/дм ³		Потери при прокал., г/дм ³		Зольность, %		Замасл., %	Удельное сопротив. фильтра, см/г
				450°С	800°С	450°С	800°С	450°С	800°С		
Осадок СВ, после обраб. NaOH	0,953	96,3	37,0	19,79	19,135	17,21	17,86	53,49	51,72	46,51	64,2·10 ¹⁰

Удельное сопротивление для осадка, обработанного щелочью NaOH, г/дм³:

$$\gamma = \frac{2 \cdot P_{cp} \cdot F^2 \cdot \alpha}{\eta \cdot c}, \quad (52)$$

где P_{cp} - давление, при котором происходит фильтрация;

F - площадь фильтра, $F = 1747 \text{ см}^2$;

η - вязкость осадка, $\eta = 0,01 \text{ г/(см·с)}$;

c - концентрация осадка, $c = 0,0569 \text{ г/см}^3$;

α - тангенс угла наклона прямой, построенный в координатах t/V и V , равный 0,069.

$$\gamma = \frac{2 \cdot 129,65 \cdot 1747 \cdot 0,069}{0,01 \cdot 0,0569} \cdot 1332 = 64,2 \cdot 10^{10} \quad (53)$$

Таблица 12 - Параметры удельного сопротивления

№	t, с	P _{ниж} , мм рт.ст	P _{вер} , мм рт.ст	P=(P _{ниж} + P _{верх})/2, мм.рт.ст	V ₁ , см ³	V= V ₁ - V ₀ , см ³	t/V, с/ см ³
1	0	170	40	120	25	0	0,00
2	30	178	60	125	60	4	7,50
3	60	178	60	129	63	7	8,57
4	120	160	40	134	69	13	9,23
5	180	190	60	143	72	16	11,25
6	240	200	70	148	74	18	13,33
7	300	200	70	150	76	20	15,00
8	360	200	70	159	78	22	16,36
9	420	200	80	164	79	23	18,26
10	480	200	80	170	80	24	20,00
11	540	200	80	174	82	26	20,77
12	600	200	80	178	82	26	23,08
13	660	200	80	180	84	28	23,57
14	720	200	80	186	84	28	25,71
15	780	190	70	186	85	29	26,90
16	840	190	70	188	86	30	28,00
17	900	190	70	190	86	30	30,00
18	960	190	70	205	89	33	36,36
19	1020	190	70	212	91	35	42,86
20	1080	190	70	215	92	36	50,00

Графическая зависимость удельного сопротивления представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 - Графическая зависимость удельного сопротивления

Для определения состава осадка, был проведен термогравиметрический анализ на приборе NETZSCH STA 449 F1, в диапазоне 30/20,0 (к/мин/1000) в режиме ДСК-ТГ.

Термогравиметрический анализ – метод термического анализа, при котором фиксируется изменение массы образца в зависимости от температуры.

Данный метод состоит в наблюдении массы исследуемой навески вещества при изменении её температуры. Итогом считаются ТГ-кривые–зависимости массы навески (либо изменения массы навески) от температуры.

При одновременном ТГ-ДТА/ДСК анализе измеряется изменение теплового потока и массы образца как функция от температуры, как правило, применяется регулируемая атмосфера. При таком синхронном анализе не только увеличивается производительность измерений, но и упрощается интерпретация результатов, благодаря возможности отделить эндо - и экзотермические процессы, не сопровождающиеся изменением массы (например, фазовые переходы) от тех, при которых происходит изменение массы (например, деградация).

Термоанализатор состоит из высокоточных весов с тиглями (как правило, платиновыми), которые располагаются в камере незначительной электропечи. В непосредственной близости от образца, к примеру, под донышком тигля, распо-

лагается контрольная термопара, с большой точностью измеряющая температуру. Камеру печи заполняют инертным газом с целью избегания окисления или других ненужных реакций. Для того чтобы управлять измеряющей аппаратурой и снимать показания используют компьютер [49].

В процессе анализа температура повышается с постоянной скоростью, и регистрируется изменение массы в зависимости от температуры. Верхний предел температуры ограничен лишь способностями прибора, и способен достичь 1000 С и более. При этом, благодаря оптимальной теплоизоляции печи температура на её внешней поверхности невысока и не вызывает ожога.

Современные термоанализаторы возможно подсоединить к выходному штуцеру печи инфракрасный спектрофотометр с целью непосредственного анализа химического состава газа [50].

Изображение термоанализатора, с помощью которого проводилось исследование приведен на рисунке 8.



Рисунок 8 - Прибор NETZSCH STA 449 F1

Образец осадка для определения его состава, после обработки щелочью представлен на термограмме рисунке 9.

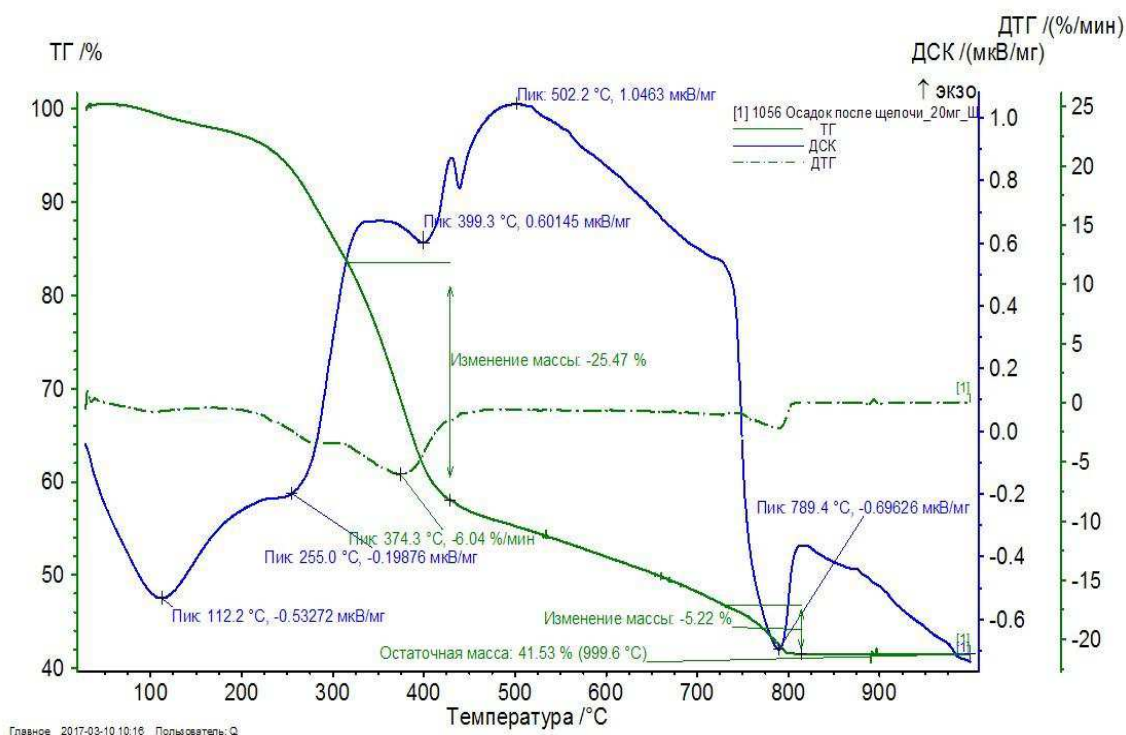


Рисунок 9 - Термограмма осадка после обработки щелочным раствором

Как видно из термограммы при нагревании наблюдаются 4 эндозффекта: при $t = 112,2^{\circ}\text{C}$ происходит дегидратация.

Пики при $t = 399,3^{\circ}\text{C}$ и $t = 420,0^{\circ}\text{C}$ характерны для выделения основной массы конституционной воды. Термоэффект при $t = 789,4^{\circ}\text{C}$ указывает на соединение кальция. Экзоэффект при $t = 502,2^{\circ}\text{C}$ объясняется сгоранием масел. Остаточная масса осадка - 41,53%.

Был проведен рентгено - фазовый анализ для определения структуры и состава осадков (исходного и обработанного раствором NaOH) на дифрактометре ADVANCE - D8 в интервале углов 2θ 10 - 60. Дифрактограммы представлены на рисунках 10 и 11.

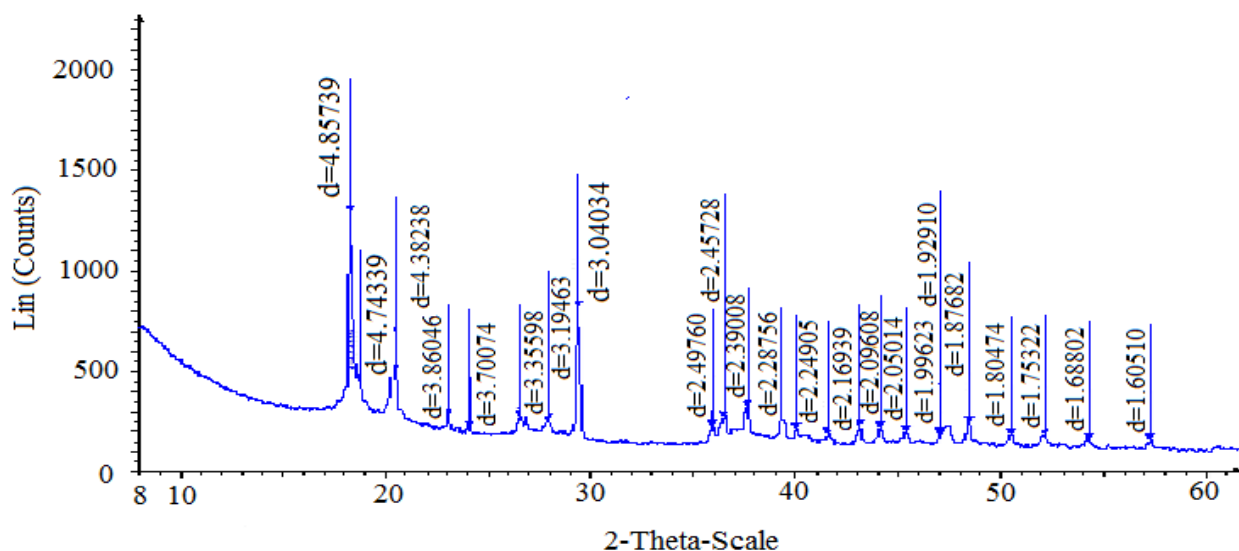


Рисунок 10 - Дифрактограмма исходного осадка

Дифрактограмма была снята на дифрактометре ADVANCE - D8 в интервалах углов 2θ 10 - 60. Как видно из дифрактограммы линии с $d = 3,86$; $d = 3,7$; $d = 3,35$; $d = 3,04$; $d = 2,49$; $d = 2,39$; $d = 2,09$; $d = 1,99$; $d = 1,8$ характерны для различных модификаций Al_2O_3 (гиббсита, байерита и бемита), а линии с $d = 2,457$; $d = 1,99$; $d = 1,92$; $d = 1,605$ указывают на наличие соединений кальция. Линии с $d = 4,857$ и $d = 4,382$ связаны с кварцитом.

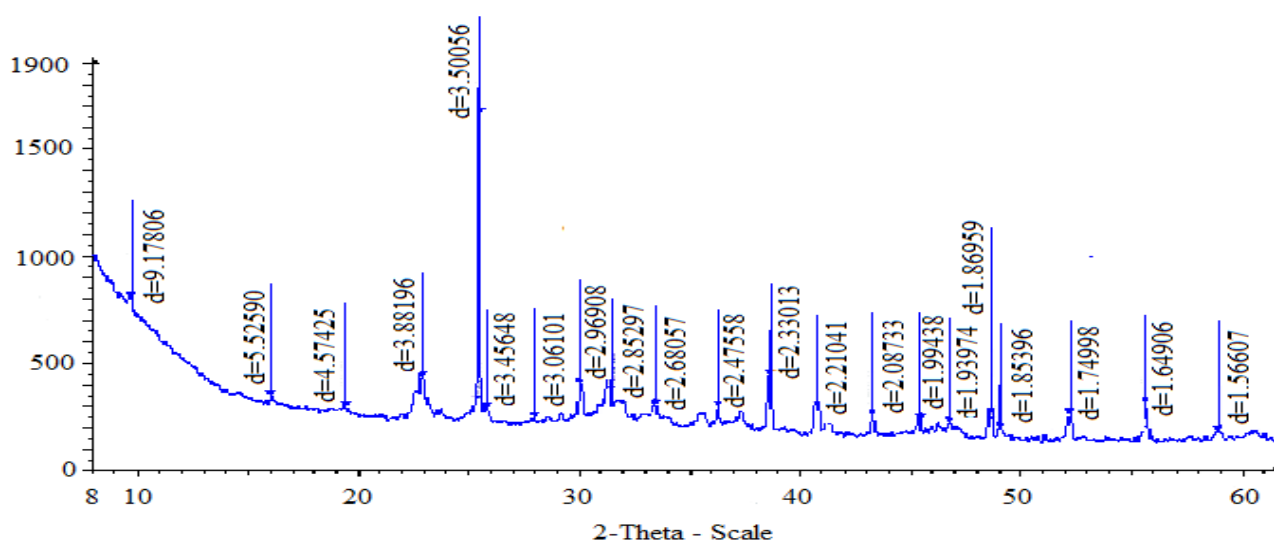


Рисунок 11 – Дифрактограмма осадка, после обработки щелочным раствором

После обработки осадка маслоэмульсионных сточных вод щелочным раствором NaOH на дифрактограмме линии с $d = 1,869$; $d = 2,08$; $d = 2,475$; $d = 3,06$ указывают на наличие CaCO_3 , линии с $d = 2,85$; $d = 2,33$; $d = 2,21$; $d = 1,99$; $d = 1,853$; $d = 1,749$; $d = 1,649$; $d = 1,566$ характерны для CaSO_4 . Линии с $d = 3,5$ и $d = 3,45$ связаны с кварцитом SiO_2 . Наличие небольшого количества гиббсита подтверждается линиями $d = 2,48$; $d = 2,21$; $d = 1,93$; $d = 1,64$.

Таким образом, проведенный рентгенофазовый анализ, позволил более точно определить составы осадков исходного и после обработки раствором NaOH.

При сравнении дифрактограмм видно, что осадок после кондиционирования щелочным раствором имеет несколько более кристаллическую структуру, что объясняет улучшение его водоотдающих свойств.

Выводы:

1) В результате исследований установлено, что применение щелочного реагента позволяет улучшить водоотдающие свойства отходов нефтесодержащих сточных вод и получить регенерированный раствор NaAlO_2 для обработки сточных вод металлообрабатывающих предприятий.

2) Интенсификация обезвоживания осадков при кондиционировании раствором щелочного реагента, способствует повышению производительности обезвоживающих аппаратов и снижению эксплуатационных затрат.

3 Расчет класса опасности отхода для окружающей среды

Определение класса опасности отходов расчетным путем производится на основе полного использования всей имеющейся информации об отходах и содержащихся в них компонентах, в том числе гигиенических и эколого-технологических показателей, физико-химических характеристик и т.п. Определение класса опасности необходимо при принятии решений, связанных с контролем экологической безопасности в работе с отходами, при их использовании и переработке, а также при определении ущерба для объектов окружающей среды [51].

Критериями отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду являются:

- степень опасности отхода для окружающей среды;
- кратность разведения водной вытяжки из отхода, при которой вредное воздействие на гидробионты отсутствует.

Степень опасности отхода для окружающей среды (K), значения которой по классам опасности отхода приведены в таблице 13, определяется по сумме степеней опасности веществ, составляющих отход (далее - компоненты отхода), для окружающей среды K_i :

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_m, \quad (54)$$

где K_1, K_2, K_m - показатели степени опасности отдельных компонентов отхода для окружающей среды;

m - количество компонентов отхода.

Степень опасности компонента отхода для окружающей среды K_i рассчитывается как отношение концентрации компонента отхода C_i к коэффициенту его степени опасности для окружающей среды W_i .

$$K_i = C_i / W_i, \quad (55)$$

где C_i - концентрация i -го компонента в отходе (мг/кг);

W_i - коэффициент степени опасности i -го компонента отхода для окружающей среды (мг/кг).

Коэффициентом степени опасности компонента отхода для окружающей среды W_i является показатель, численно равный количеству компонента отхода, ниже значения которого он не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. Размерность коэффициента степени опасности для окружающей среды условно принимается как мг/кг [52].

Коэффициент степени опасности компонента отхода для окружающей среды W_i рассчитывается по одной из следующих формул:

$$\lg W_i = \begin{cases} 4 - 4 / Z_i & \text{для } 1 < Z_i < 2 \\ Z_i & \text{для } 2 \leq Z_i \leq 4 \\ 2 + 4 / (6 - Z_i) & \text{для } 4 < Z_i < 5 \end{cases} \quad (56)$$

где $Z_i = 4X_i / 3 - 1/3$;

Z_i - унифицированный относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды;

X_i - относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды.

Относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды X_i рассчитывается по формуле:

$$X_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^n B_j \right) + B_{\text{inf}}}{n + 1}, \quad (57)$$

где B_j - значение балла, соответствующее каждому оцененному первичному показателю опасности компонента отхода;

n - количество оцененных первичных показателей опасности компонента отхода;

B_{inf} - значение балла, соответствующее показателю информационного обеспечения системы первичных показателей опасности компонента отхода.

Первичные показатели опасности компонента отхода характеризуют степени их опасности для различных компонентов природной среды и представлены в таблице 14.

Значения баллов B_{inf} , соответствующие показателю информационного обеспечения, определяемого путем деления числа оцененных первичных показателей опасности компонента отхода (n) на 12, присваивается интервалам его изменения согласно таблице 15.

В случае, если на основании применения Критерия (1) (степень опасности отхода для окружающей среды (К)) получен V класс опасности, для его подтверждения проводится проверка с применением Критерия (2) (кратность (Кр) разведения водной вытяжки из отхода, при которой вредное воздействие на гидробионты отсутствует) [53].

При несовпадении значения класса опасности отхода, установленного на основании применения Критерия (1) (степень опасности отхода для окружающей среды (К) и применения Критерия кратность (Кр) разведения водной вытяжки из отхода, при которой вредное воздействие на гидробионты отсутствует, устанавливается класс опасности отхода на основании кратности (Кр) разведения водной вытяжки из отхода согласно таблице 16.

Таблица 13 - Значения степени опасности отхода для окружающей среды (К) по классам опасности отхода

Класс опасности отхода	Степень опасности отхода для окружающей среды (К)
1	2

Окончание таблицы 13

1	2
I	$10^6 \geq K > 10^4$
II	$10^4 \geq K > 10^3$
III	$10^3 \geq K > 10^2$
IV	$10^2 \geq K > 10$
V	$K \leq 10$

Таблица 14 – Первичные показатели опасности компонента отхода

N п/п	Первичные показатели опасности компонента отхода	Значения, интервалы и характеристики первичных показателей опасности компонента отхода для окружающей среды			
		3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	$ПДК_n$ (ОДК*), мг/кг	<1	1-10	10.1-100	>100
2	Класс опасности в почве	1	2	3	не установ.
3	$ПДК_B$ (ОДУ, ОБУВ), мг/л	<0.01	0.01-0.1	0.11-1	>1
4	Класс опасности в воде водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения	1	2	3	4
5	$ПДК_{p.x}$ (ОБУВ), мг/л	<0.001	0.001-0.01	0.011-0.1	>0.1
6	Класс опасности в воде водных объектов рыбохозяйственного значения	1	2	3	4
7	$ПДК_{c.c}$ ($ПДК_{m.p}$, ОБУВ),	<0.01	0.01-0.1	0.11-1	>1
8	Класс опасности в атмосферном воздухе	1	2	3	4
9	$ПДК_{III}$ (МДУ, МДС), мг/кг	<0.01	0.01-1	1.1-10	>10
10	$Lg(S, \text{мг/л} / ПДК_B, \text{мг.л})^{**}$	>5	5-2	1.9-1	<1
11	$Lg(C_{нас}, \text{мг} / \text{м}^3 / ПДК_{p.з})$	>5	5-2	1.9-1	<1
12	$Lg(C_{нас}, \text{мг} / \text{м}^3 / ПДК_{c.c}$ или $ПДК_{m.p}$)	>7	7-3.9	3.8-1.6	<1.6
13	$Lg K_{ow}$ (октанол/вода)	>4	4-2	1.9-0	<0
14	LC_{50} , мг/кг	<15	15-150	151-5000	>5000
15	LC_{50} , мг / м ³	<500	500-5000	5001-50000	>50000
16	$LC_{50}^{водн}$, мг/л/96 ч	<1	1-5	5.1-100	>100
17	$БД = БПК_5 / ХПК$ 100%	<0.1	0,1-1,0	1,0-10	>10

Окончание таблицы 14

1	2	3	4	5	6
18	Персистентность (трансформация в окружающей среде)	Образование более токсичных продуктов, в т.ч. обладающих отдаленными эффектами или новыми свойствами	Образование продуктов с более выраженным влиянием других критериев опасности	Образование продуктов, токсичность которых близка к токсичности исходного вещества	Образование менее токсичных продуктов
19	Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	Выраженное накопление во всех звеньях	Накопление в нескольких звеньях	Накопление в одном из звеньев	Накопление отсутствует
	Присваиваемый балл B_j	1	2	3	4

* В случаях отсутствия ПДК опасного компонента отхода допустимо использование другого первичного показателя, указанного в скобках.

** Если $S = \infty$, то $\lg(S / ПДК) = \infty$ и балл равен 1, если $S = 0$, то $\lg(S / ПДК) = -\infty$ и балл равен 4.

Таблица 15 - Значения баллов B_{inf} в зависимости от интервала изменения показателя информационного обеспечения

Диапазоны изменения показателя информационного обеспечения (n/12)	Балл
<0,5 (n < 6)	1
0,5 - 0,7 (n = 6 - 8)	2
0,71 - 0,9 (n = 9 - 10)	3
>0,9	4

Таблица 16 - Значения кратности разведения водной вытяжки из отхода

Класс опасности отхода	Кратность (K_p) разведения водной вытяжки из отхода*
1	2
I	$K_p > 10000$

Окончание таблицы 16

1	2
II	$1000 < K_p \leq 10000$
III	$100 < K_p \leq 1000$
IV	$1 < K_p \leq 100$
V	$K_p = 1$

* Для определения V класса опасности отхода используется сама водная вытяжка, без её разведения.

3.1 Расчет класса опасности для диоксида кремния

Все отходы состоят из одного или нескольких компонентов, которые и определяют их класс опасности. Для получения сведений о составе отхода был проведен рентгено - фазовый анализ для определения структуры и состава осадков (исходного и обработанного раствором NaOH) на дифрактометре ADVANCE-D8 в интервале углов 2θ 10-60. Дифрактограммы представлены на рисунках 10 и 11.

После обработки осадка маслоэмульсионных сточных вод щелочным раствором NaOH на дифрактограмме линии с $d = 1,869$; $d = 2,08$; $d = 2,475$; $d = 3,06$ указывают на наличие CaCO_3 , линии с $d = 2,85$; $d = 2,33$; $d = 2,21$; $d = 1,99$; $d = 1,853$; $d = 1,749$; $d = 1,649$; $d = 1,566$ характерны для CaSO_4 . Линии с $d = 3,5$ и $d = 3,45$ связаны с кварцитом SiO_2 . Наличие небольшого количества гиббсита подтверждается линиями $d = 2,48$; $d = 2,21$; $d = 1,93$; $d = 1,64$.

Таким образом, проведенный рентгенофазовый анализ, позволил более точно определить составы осадков исходного и после обработки раствором NaOH. Используя эту информацию, мы сможем провести расчет класса опасности.

Ниже приведен расчет класса опасности на примере компонента отхода « SiO_2 ».

Таблица 17 – первичные показатели опасности SiO_2

Первичные показатели опасности компонента отхода	Значение показателя	Балл	Источник информации
ПДКп (ОДК), мг/кг	-	-	-
Класс опасности в почве	Не установлен	4	[2]
ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	10.0000000	4	[3]
Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	2	2	[3]
ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	-	-	-
Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	-	-	-
ПДКс.с. (ПДКм.р., ОБУВ), мг/м ³	0.10000000	2	[4]
Класс опасности в атмосферном воздухе	3	3	[4]
ПДКпп (МДУ, МДС), мг/кг	-	-	-
Lg(S, мг/л/ПДКв, мг.л)	0.0	4	[9]
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКр.з)	0.0	4	[9]
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКс.с. или ПДКм.р.)	0.0	4	[9]
Ig K _{ow} (октанол/вода)	-	-	-
LD ₅₀ , мг/кг	-	-	[9]
LC ₅₀ , мг/м ³	-	-	[9]
LC ₅₀ ^{водн} , мг/л/96ч	-	-	[9]
БД=БПК ₅ /ХПК 100%	-	-	[9]
Персистентность (трансформация в окружающей природной среде)	-	-	[9]
Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	накопление в одном звене	-	[9]
Информационное обеспечение	0.8	3	-

Относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$X_1 = 56/16 = 3,5$$

Унифицированный относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$Z_1 = 4 \cdot 3,5 / 3 - 1 / 3 = 4,33$$

$$\lg W_1 = 2 + 4 / (6 - 4,33) = 4,4$$

Коэффициент степени опасности компонента отхода для окружающей среды

$$W_1 = 104,4 = 25118,86$$

Степень опасности компонента отхода для окружающей среды

$$K_1 = 500000 / 25119 = 19,90$$

где $C_1 = C_{\%} \cdot 10000$

$$C_1 = 50 \cdot 10000 = 500000$$

Таким же образом проводим расчеты для остальных компонентов отхода. Расчет для каждого последующего компонента отход, приведен в ПРИЛОЖЕНИИ В. Результаты расчета относительных параметров и показателей K_i для всех компонентов занесены в таблицу 18.

Таблица 18 – Результаты расчета относительных параметров и класса опасности компонентов

Компонент отхода	X	Z	$\lg W$	W , мг/кг	C , мг/кг	K
1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	3,5	4,33	4,4	25118,86	500000	19,90
Al_2O_3	3,27	4,03	4,03	17734,189	700000	39,47
$CaCO_3$	3,28	4,04	4,04	11188,722	25000	22,34

Окончание таблицы 18

1	2	3	4	5	6	7
$CaSO_4$	3,7	4,6	4,85	71968,567	25000	3,47
Нефтепродукты	2,8	3,4	3,4	2511,886	17210	13,32

После расчета показателей K_i для всех компонентов суммируем их и получаем показатель степени опасности отхода K .

$$K = K_{SiO_2} + K_{Al_2O_3} + K_{CaCO_3} + K_{CaSO_4} + K_{нефтепродукты}$$

$$K = 19,90 + 39,47 + 22,34 + 3,47 + 13,32 = 98,5$$

Класс опасности отхода определяем в соответствии с таблицей 13.

Исследуемый отход относится к IV классу опасности (малоопасные)

К данному классу опасности относят нефтесодержащие отходы, которые образуются при строительстве газовых и нефтяных скважин, промышленной эксплуатации месторождений, при чистке резервуаров и оборудования, очистке сточных вод, содержащих нефтепродукты. Нефтяные шламы имеют очень разнообразный состав, включающий в себя нефтепродукты, воды, песок, глину и прочие минеральные части. Соотношение всех элементов состава колеблется в очень широких пределах. Состав шламов зависит от глубины и типа перерабатываемого сырья, оборудования, схем переработки и прочих факторов. В большинстве случаев шламы состоят из нефтяных остатков (10 - 57%), воды (31 - 86%), твердых примесей (1,3 - 45%). Как правило, накопление таких отходов осуществляется на специально оборудованных для этого площадках или в бункерах при этом их сортировка и классификация не производится. Шламы обладают способностью самовосстановления при правильном хранении. Это обуславливается протеканием естественных процессов. Дело в том что в шламонакопителях накапливаются атмосферные осадки, развиваются микроорганизмы, протекают

окислительные и другие процессы. Но в связи с большим содержанием нефтепродуктов и солей при недостаточном поступлении кислорода данный процесс самовосстановления может протекать десятилетиями.

Часто нефтесодержащие отходы утилизируются путем сжигания на промышленных площадках без очистки выделяемых при этом газов, которые впоследствии загрязняют атмосферу. Утилизация отходов содержащих нефтепродукты будет проводиться правильно, если предприятия будут руководствоваться при этом нормативно правовыми актами. Несоблюдение правил утилизации опасных отходов влечет за собой штраф, размеры которого зависят от степени опасности производимых способов утилизации для окружающей среды.

Одним из способов регенерации масляных отходов, считается его сжигание, что имеет, в свою очередь, очень негативное влияние на атмосферу. И несёт в себе угрозу для человека. Ведь множество химических соединений в процессе сжигания, имея устойчивость к температуре, попадают в воздух и заражают собой всю округу [54].

Альтернативный метод, а главное, более целесообразный и менее затратный это регенерация, путём восстановления утраченных физико-химических свойств товара. Что позволяет его вторично использовать и не требует добывать большее количества нефти.

Утилизация этого продукта, без вреда окружающей среде, требует его хранения и транспортировки в специально предназначенных ёмкостях. Его хранение допускается в помещениях, где предотвращено попадание масла на землю, в случае опрокидывания и пролива [55].

Степень вредного воздействия опасных отходов на ОПС – низкая. Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3-х лет.

4 Анализ риска воздействия нефтесодержащих сточных вод промышленного предприятия на окружающую среду

Ущерб промышленных технологий для окружающей среды можно охарактеризовать риском, характер и масштабы которого зависят от типа и объемов потребляемых нефти и топлива, способов их использования, уровня технологии системы безопасности и эффективности проведения работ по уменьшению загрязнений.

Под риском понимают вероятность наступления неблагоприятных событий при выполнении технологического процесса или в сфере жизнедеятельности человека. Риск (ГОСТ Р ИСО 31000-2010) можно идентифицировать путем выявления описания и систематизации источников опасностей, а также оценить и прогнозировать его значение на основе специальных исследований о предстоящем развитии событий, явлений процессов, их изменений и исходов.

Термин «оценка риска» может выражать процедуру определения его величины, т.е. оценивание риска, а также величину степени этого риска. В области решения конкретных задач оценки, анализа и прогнозирования техногенного риска универсальность этого критерия состоит в способности количественного оценивания сразу двух параметров события – частоты возникновения и последствий [56].

Образование и выбросы вредных веществ на нефтеперерабатывающих предприятиях создают не только техногенную нагрузку на окружающую среду, но и общественно-политическую напряженность в обществе. Многие виды продукции нефтеперерабатывающих заводов, с передовой технологией, обеспечивающей комплексную переработку сырья и состоящей из сотен позиций, взрывоопасны и пожароопасны или токсичны. Перечисленные особенности современных объектов нефтепереработки обуславливают их потенциальную экологическую опасность.

Ущерб промышленных технологий нефтеперерабатывающих заводов для окружающей среды можно охарактеризовать риском, характер и масштабы которого зависят от типа и объемов потребляемых нефти и топлива, способов их использования, уровня технологии системы безопасности и эффективности проведения работ по уменьшению загрязнений.

Сырая нефть, а также многочисленные продукты ее переработки, широко используемые в хозяйственной деятельности в качестве топлива, смазок, исходного сырья для нефтехимической промышленности и т. д., попадают в значительных количествах в атмосферные, промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды и вместе с ними поступают в открытые водоемы, почву, подземные водоносные горизонты, нарушая ход естественных биохимических процессов, вызывая гибель флоры и фауны озер, рек и морей, снижая плодородие почв. Таким образом, нефтесодержащие сточные воды стали одним из глобальных загрязнителей окружающей среды.

Учитывая, что нефтеперерабатывающая промышленность является достаточно водоемкой, в этой отрасли постоянно совершенствуются системы водоиспользования и канализации для максимально возможного сокращения водопотребления и водоотведения [57].

Промышленные предприятия – крупный потребитель хозяйственно-питьевой, и главным образом, технической воды. Вода используется в производственном цикле, на вспомогательных участках и для бытовых целей.

Взаимодействуя с различными веществами в производственном цикле, вода в конечном счете насыщается вредными загрязняющими веществами и превращается в сточную воду [58].

Промышленные сточные воды - это жидкие отходы, которые возникают при добыче и переработке органического и неорганического сырья.

Качественный и количественный состав сточных вод различен и зависит от отрасли промышленности и производственных процессов. По составу стоки подразделяют на три основных класса, содержащих:

1. неорганические загрязнения, включая токсичные;

2. органические загрязнения;
3. неорганические и органические загрязнения.

К первому типу относятся сточные воды содовых, сульфатных, азотных предприятий, обогатительных заводов марганцевых руд, свинцовых, никелевых, цинковых, в которых содержатся кислоты, щелочи, катионы тяжелых металлов и пр. Сточные воды этого типа, как правило, изменяют физические свойства воды.

Сточные воды второго типа сбрасываются нефтеперерабатывающими заводами и нефтехимическими предприятиями, предприятиями органического синтеза и пр. В сточных водах присутствуют различные нефтепродукты, аммиак, альдегиды, смолы, фенолы и прочие вредные вещества. Токсикологическое воздействие стоков данного типа заключается, в основном, в процессах окисления, в результате которых снижается содержание кислорода в воде, возрастает биологическая (БПК) и химическая (ХПК) потребность в кислороде, происходит ухудшение органолептических свойств воды.

Сточные воды третьего типа образуются в процессах гальванической обработки поверхностей, производстве печатных плат приборостроительной и радиоэлектронной промышленности и прочих технологических процессах. В составе данных сточных вод присутствуют неорганические: щелочи, кислоты, катионы тяжелых и цветных металлов, и органические поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, красители и другие вещества [59].

Основная особенность нефтезагрязнений в стоках – меньшая плотность по сравнению с водой (бензин 0,7 - 0,76 г/см³, дизельное топливо 0,8 - 0,9, реактивное топливо 0,8 - 0,85, мазут 0,94 - 1 г/см³) и низкая растворимость в воде. Для мелких фракций - практически равна нулю.

В сточных водах нефтеперерабатывающих предприятий по дисперсному составу нефть может быть в свободном, эмульгированном и растворенном состоянии.

При сбросе сточных вод в канализацию и водоемы необходимо проводить тщательное гигиеническое токсикологическое исследование (СанПин 2.1.5.980-00). При содержании нефти в водоемах всего лишь в концентрации 0,01 г/л, вода

становится непригодной для употребления, происходит изменение вкуса, запаха, цвета, поверхностного натяжения и вязкости воды, снижается количество кислорода, образуются вредные органические вещества, вода приобретает токсические свойства и начинает представлять угрозу для животного мира и человека (Сан-Пин 2.1.4.1074-01) [60].

Образование производственных сточных вод происходит в результате технологических процессов переработки сырья и выпуска определенной продукции, а также при эксплуатации различного оборудования, механизмов, агрегатов, транспортных средств.

Одной из важных составляющих нефтеперерабатывающего завода являются канализационные системы по отводу сточных вод с предприятия. Бесперебойность и слаженность работы всех оборудования и отдельных узлов нефтеперерабатывающего завода обеспечивают хорошую работу канализационных систем, что является залогом экологической безопасности.

Для выявления причинно-следственных связей между комбинациями случайных событий используют логико-графический метод анализа дерева отказов.

Дерево отказов – графическое представление логических связей между событиями-авариями и инициирующими их событиями.

Построение дерева отказов представляет собой многоуровневый процесс прослеживания и осмысления опасных ситуаций в обратном порядке (сверху вниз). Для того чтобы во-первых, отыскать все возможные причины возникновения (нижестоящие, инициирующие события) и, во-вторых, определить частоту возникновения верхней, головной аварийной ситуации.

Для построения дерева отказов (рисунок 12) необходимо детальное знание анализируемой системы. Построение начинают с определения аварийного (головного) события, которое четко формулируют и дают признаки его точного распознавания.

Далее определяют возможные первичные и вторичные отказы, которые могут привести к реализации головного события, рассматривают их комбинации.

Затем исследуются причины возникновения этих событий и т. д., до тех пор, пока не будут выявлены все первичные события.

Таким образом, структура дерева отказов включает одно головное событие (авария), которое соединяется с набором нижестоящих событий (ошибок, отказов и т.д.), образующих причинные цепи.

Методология дерева отказов дает возможность:

- описать сценарий аварий с различными последствиями от различных исходных событий;
- определить связь отказов систем с последствиями аварии;
- сократить первоначальный набор потенциальных аварий;
- идентифицировать верхние события для анализа дерева отказов [61].

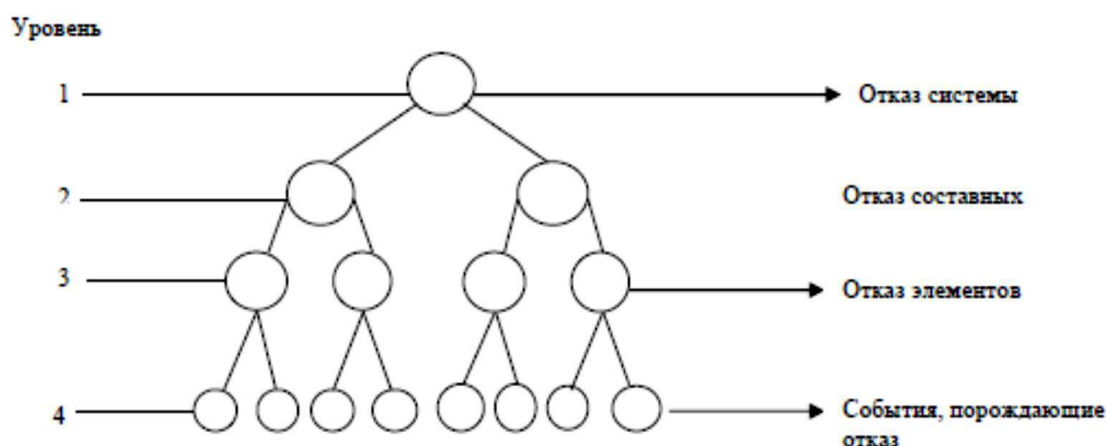


Рисунок 12 – Структура дерева отказов

Проанализировав все возможные причины разлива нефтезагрязненных сточных вод на нефтеперерабатывающем заводе, было составлено дерево отказов, для данной аварии Рисунок 13.

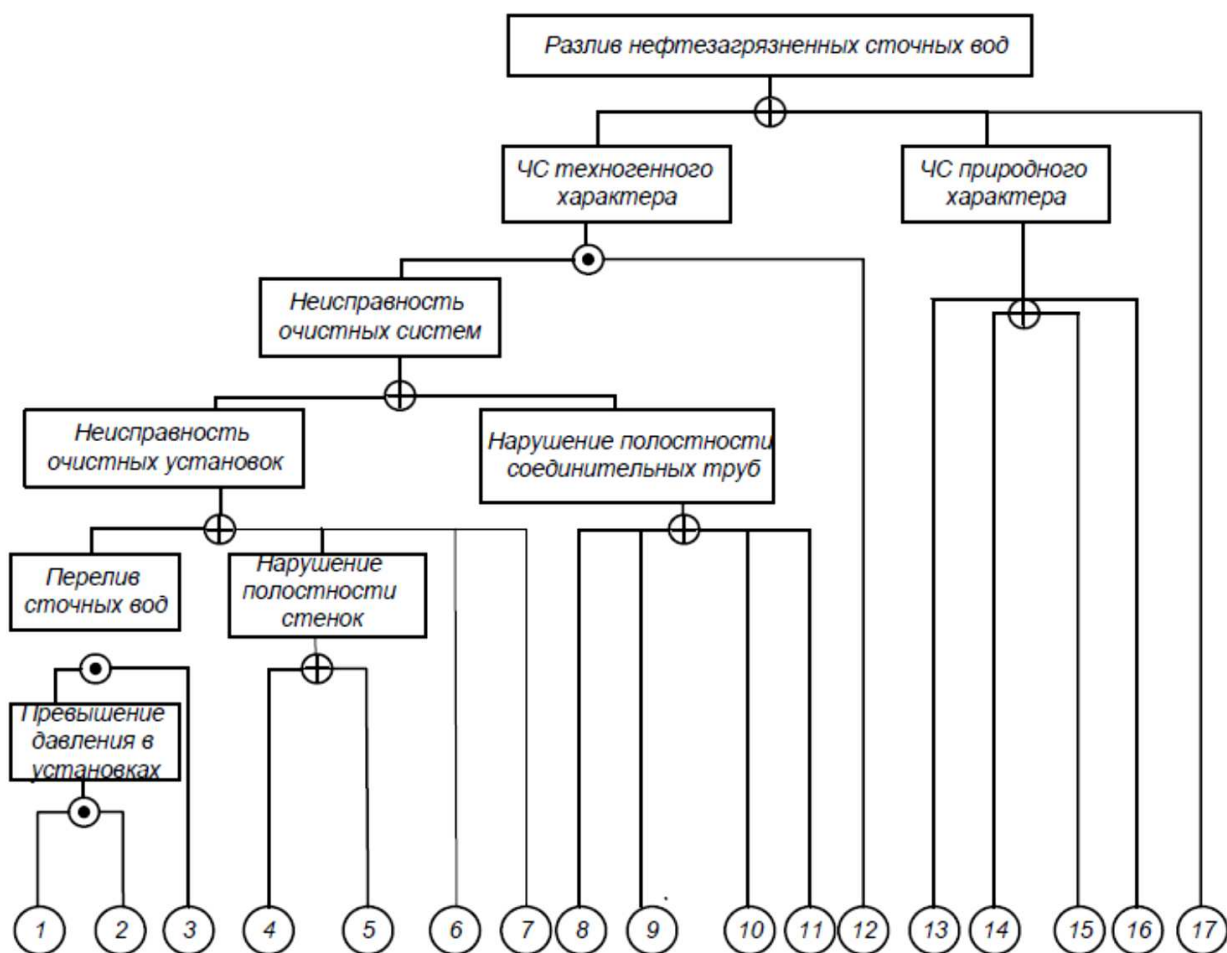


Рисунок 13 – Дерево отказов

Таким образом, возможные причины такой аварийной ситуации, как «разлив нефтезагрязненных сточных вод», можно выявить следующую логическую последовательность.

Наступление головного события возможно при одном из следующих событий (оператор «ИЛИ»): ЧС техногенного характера, ЧС природного характера или в результате теракта. В свою очередь событие «ЧС техногенного характера» зависит от двух событий (оператор «И»): от неисправности очистных систем и от несвоевременном техническом обслуживании оборудования и труб. Неисправность очистных систем могут быть двух типов (оператор «ИЛИ»): неисправность очистных установок или нарушение целостности соединительных труб. В свою очередь неисправность очистных установок может привести к четырем событиям (оператор «ИЛИ»): перелив сточных вод, нарушение целостности стенок

установок, разгерметизация запорной арматуры или истекший срок службы. Событие «перелив сточных вод» имеют следующие две причины (оператор «И»): превышение давления в установках и неисправность датчика уровня. В свою очередь событие «Повышения давления в установках» зависит от (оператор «И») неисправности средств контроля давление (манометр) и неисправности автоматики.

Событие «нарушение целостности стенок установок» может возникнуть вследствие двух причин (оператор «ИЛИ»): коррозионного износа или внешних механических повреждений. Нарушение целостности соединительных труб может произойти (оператор «ИЛИ»): в следствии подземной коррозии, некачественной сварки, некачественного производства труб или внешнего механического повреждения. Такое событие как «ЧС природного характера» возникает благодаря четырем причинам (оператор «ИЛИ»): землетрясению, наводнению, оползнию или пожару.

Расчет приведен в Приложении С.

Из расчета, по формуле С.5, Приложения С вероятность наступления головного события составляет 0,00024. Известно, что допустимый риск соответствует вероятности равной 10^{-6} . Из этого следует, что вероятность данной аварии высока и соответствует недопустимому риску.

Для того, чтобы снизить вероятность аварии, нужно снизить вероятности наступления исходных событий. В этом случае, чтобы снизить вероятность наступления аварийной ситуации, необходимо повлиять на те исходные события, которые имеют наибольшее значение, то есть это события под № 3, 2, 1, 12 и 9.

Ущерб промышленных технологий нефтеперерабатывающих заводов для окружающей среды можно охарактеризовать риском, характер и масштабы которого зависят от типа и объемов, потребляемых нефти и топлива, способов их использования, уровня технологии системы безопасности и эффективности проведения работ по уменьшению загрязнений [62].

В результате одной или нескольких аварий, может произойти нерегулируемый сброс нефтезагрязненных сточных вод, который нанесет значительный вред окружающей среде. Для того, чтобы оценить нанесенный ущерб, произведен расчет платы за сброс вредных веществ в водные объекты. В данном расчете рассматривались такие вредные вещества как нефтепродукты и железо.

В виду того, что сброс нефтезагрязненных сточных вод не может произойти на почву, расчет ущерба почвенному покрову не производился [63].

Расчет платы за сброс вредных веществ в водные объекты производится на основе базовых нормативов платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты, утвержденных Постановлением Правительства РФ № 913 от 13.09.2016 г.

Плата за сброс загрязняющего вещества в водные объекты в пределах допустимых нормативов (P_n , руб.) рассчитывается по уравнению

$$P_n = J \cdot K \cdot M_n \cdot 1,04 \quad (58)$$

где J - Ставка платы за сверхлимитный сброс; для нефтепродуктов $J=14711,7$ руб.

K - коэффициент, учитывающий сверхлимитный сброс ($K=5$)

M_n - масса загрязняющего вещества, сбрасываемого в пределах нормативов, т.

Коэффициент перевода цен 2018 г в цены 2019 г равен 1,04

Плата за сброс для нефтепродуктов (до обработки), руб

$$P_n = 14711,7 \cdot 5 \cdot 144306,12 \cdot 10^{-6} \cdot 1,04 = 11016,12$$

Плата за сброс для нефтепродуктов (после обработки), руб

$$P_n = 14711,7 \cdot 5 \cdot 3441,72 \cdot 10^{-6} \cdot 1,04 = 2295,502$$

Плата за ущерб нанесенный водным объектам сведен в таблицу 19.

Таблица 19 - Ущерб, наносимый водным объектам

ЗВ	С, <i>мг / дм³</i>	М, т	У, тыс. руб	Ставка платы за 1 тонну ЗВ на 2018г. руб- лей	Плата за сброс, руб.
Нефтепродукты	34360	$144306,12 \cdot 10^{-6}$	148,74	14711,7	11016,12
	17210	$3441,72 \cdot 10^{-6}$	3,55	14711,7	2295,5

В результате нерегулируемого выпуска нефтезагрязненных сточных вод исходного осадка в водные объекты будет нанесен ущерб окружающей среде в размере 11016,12 рублей в случае, если на данном предприятии будут отсутствовать какие-либо мероприятия по очистке стоков, ущерб в 2295,5 рублей будет нанесен в случае если осадок будет обработан щелочным раствором NaOH.

По результатам настоящего расчета можно сделать вывод, что обработка осадка щелочным раствором снижает ущерб окружающей природной среде в 5 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе в форме магистерской диссертации.

- В результате исследований установлено, что применение щелочного реагента позволяет улучшить водоотдающие свойства отхода нефтесодержащих сточных вод в 6 раз и получить регенерированный раствор NaAlO_2 для обработки сточных вод металлообрабатывающих предприятий.

- Интенсификация обезвоживания осадков при кондиционировании раствором щелочного реагента, способствует повышению производительности обезвоживающих аппаратов и снижению эксплуатационных затрат.

- Исследуемый отход относится к IV классу опасности (малоопасные). Степень вредного воздействия опасных отходов на ОПС – низкая. Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3-х лет.

- Обработка осадка щелочным раствором снижает ущерб окружающей природной среде в 5 раз

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Курилина Т.А. «Кондиционирование осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий» [Электронный ресурс]: 2010, № 9 (621), с. 69 - 74 - Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17790599>.

2. Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Орлова М.М. «Кондиционирование осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий» [Электронный ресурс] // Металлообработка, 2014, с.192 Режим доступа <https://elibrary.ru/item.asp?id=22501062>.

3. Любарский В.М. Осадки природных вод и методы их обработки - М.: Стройиздат, 1980. С.220;

4. Новоселов А.М., Новоселова Е.Б. «Механическое обезвоживание осадка в процессе очистки сточных вод» [Электронный ресурс]: Промышленность России, 2015, с. 284 – 250 Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_23453558_43560159.pdf.

5. Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Колдырев Е.В. «Интенсификация обезвоживания осадка сточных вод металлообрабатывающих предприятий» [Электронный ресурс]: Ресурсосберегающие технологии, 2011, №9 (645), с. 66 -71 – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_18962060_90275399.pdf.

6. Рахимкулова Э.И. «Обезвоживание осадков производственных сточных вод металлоперерабатывающих предприятий» [Электронный ресурс]: Экология, осадки сточных вод, 2016, №12-2 (63), с. 33 - 351 Режим доступа - http://www.magisterjournal.ru/docs/VM63_2.pdf.

7. Калимуллина Д.Д., Багаутдинова И.З., «Особенности реагентной стабилизации осадков сточных вод» [Электронный ресурс]: Осадки сточных вод, 2016, №5 - 2 (7), с. 120 - 121Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_25994732_54660470.pdf.

8. Патент WO2013091032A1 «Способ переработки нефтяных шламов и нефтяных осадков» Томов П. И., Михайлов В. Н. заявл. 23.11.11; опубл. 20.03.13, № 12. - 2 с.

9. Патент РФ2139254 «Коагулянт для очистки сточных вод от лакокрасочных материалов» Чекрыжева Т.И. заявл. - № 3360585/25-08; заявл. 23.11.81 ; опубл. 30.03.83, Бюл. № 10. - 3 с.

10. Марцуль В.Н., Лихачева А.В., Дубина А.В., «Стабилизация осадков очистных сооружений канализации отходами производства и применение карбамидоформальдегидных смол» [Электронный ресурс] // 2015, №4 (177), с. 295-299 – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_27412517_33238503.pdf.

11. Патент RU2198141C1 «Способ утилизации шлама сточных вод» Ф.В. Кармазинов, С.Г. Гумен, М.Д. Пробирский, Ю.А. Трухин; 2003г - № 4546585/22-03; заявл. 14.07.03 ; опубл. 23.11.03, Бюл. № 16. - 4 с.

12. Брук-Левинсон Э.Т., Гуревич Д.М., Новиков М.Г., «Магнитное обезвоживание осадка сточных вод» [Электронный ресурс] // Промышленные сточные воды, 2015, №11 (95), с. 50-55 - Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_24851202_74096658.pdf.

13. Чертес К.Л., Зеленцев Д.В., Сафонова Н.А., Лыстин В.Н., Малиновский А.С., Бикунова М.В., «Обработка осадков сточных вод нефтяного комплекса» [Электронный ресурс] // Водоподготовка, водоснабжение, 2012, №2, с. 159-166] Режим доступа https://elibrary.ru/download/elibrary_17702955_51352212.pdf.

14. Патент RU2239620C2 «Способ переработки органосодержащего илистого осадка сточных вод» Завьялов Б.Б., Волков В.Г.; 2004г - № 6786585/22-04; заявл. 11.03.04; опубл. 21.07.04, Бюл. № 19. - 2 с.

15. Патент RU2309129C «Система переработки осадка сточных вод» М.Д. Пробирский, Б.В.Васильев; 2007г - № 5236985/22-07; заявл. 15.01.07 ; опубл. 13.09.07, Бюл. № 12. - 3 с.

16. Патент № US4753181A 1988г Сосновски Л.А. Процессы и аппараты для обработки осадков сточных вод. 1988г - № 455675/22-88; заявл. 15.01.88 ; опубл. 13.09.88, Бюл. № 18. - 2 с.

17. Патент RU2305729С «Система переработки осадка сточных вод» М.Д. Пробирский; 2005г - № 5236985/22-05; заявл. 16.02.05; опубл. 15.09.057, Бюл. № 10. - 2 с

18. Дьяков М.С., Вайсман Я.И., Глушанкова И.С., «Экологически безопасный способ утилизации твердых отходов биохимических очистных сооружений с получением продуктов, обладающих товарными свойствами» [Электронный ресурс] // Экология и промышленность России, 2013, №11, с. 53-57 – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_20458898_81295449.pdf

19. ИТС15-2016 «Утилизация и обезвреживание отходов, кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)» Москва-2016г, С.- 4.

20. Патент US5720882А 1998г Кьелл Стендаль, Симо Джокинен «Способ обработки осадка сточных вод, включающий фосфорные, тяжелые металлы и по меньшей мере один металл»; 1998г - № 3486985/22-98; заявл. 16.02.98; опубл. 15.09.987, Бюл. № 4. - 3 с

21. РФ256769. Установка для обезвоживания осадков сточных вод с помощью коагулянтов./ Rittershaus Blecher (ФРГ); Заяв. 14.12.75; Опубл. 23.06.77, №5. - 6 с

22. РФ255569. Установка для обезвоживания осадков сточных вод./ Rittershaus Blecher (ФРГ); Заяв. 18.12.75; Опубл. 23.05.77, №4. – 2 с

23. ГОСТ Р 51642-2000 Коагулянты для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности - Введ. 01.07.2012. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 20 с.

24. ИТС15-2016 г.Москва «Утилизация и обезвреживание отходов, кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)», С-60

25. Патент RU2006491С1 «Способ кондиционирования осадков сточных вод» Е.С. Драчикова, А.Е. Атаманова, Л.А. Бухтина, А.А. Имамова; 1994г - № 3416985/22-94; заявл. 16.02.91; опубл. 15.09.94, Бюл. № 3. - 3 с

26. «Очистка сточных вод промышленных предприятий» Халтурина Т. И. [Электронный ресурс] // Красноярск СФУ 2014г Учебно-методическое пособие – Режим доступа: <http://www.c-z-s.ru/doc/water-treatment/study/halturina-t.i.-ochistka-stochnyih-vod-promyishlennyih-predp.pdf>.

27. Патент RU2404929C2 «Экологичный нейтрализатор железного купороса и способ его использования» Гамей А. И., Михадюк А. Н., Самаркин С. С., Вахрушев М. А., Масленникова С. В.; 2010г - № 3486985/22-10; заявл. 16.02.08; опубл. 15.09.10, Бюл. № 5. - 1 с

28. «Обработка осадков городских сточных вод» Л.Р. Хисамеева, А.С. Селюгин, Р.Н. Абитов, А.В. Бусарев, Н.С. Урмитова [Электронный ресурс]// учебное пособие 2016г г.Казань – Режим доступа: <https://www.kgasu.ru/upload/iblock/efc/obrabotka-osadkov-gorodskikh-stochnykh-vod.pdf>

29. «Водоотводящие системы промышленных предприятий» [Электронный ресурс] // Красноярск, 2008г Т.И.Халтурина, О.В. Чурбакова – Режим доступа: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1509/u_lectures.pdf

30. Патент RU 2195436 «Способ обезвоживания коагулированного осадка сточных вод» Барштер Йозеф, Хартан Ханс Георг, Хельд Винфрид, Лобанов Ф.И., Храменков С.В., Сагорский В.А.; 2002г - № 6596985/22-02; заявл. 13.04.01; опубл. 15.09.02, Бюл. № 6. - 2 с

31. Патент RU 2068395 «Способ очистки сточных вод от фтора» Жулин Н.В.; 1996г. - № 3266985/22-02; заявл. 12.04.94; опубл. 13.11.96, Бюл. № 9. - 2 с

32. Патент RU 2034793 «Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов»; Убизкая Л.И., Лашкова К.Я., Боднарук И.И., Снеговой А.Н., Горобец Ю.В., Вовчановский А.Н., 1993г. - № 3266985/22-93; заявл. 12.04.91; опубл. 13.12.93, Бюл. № 10. - 2 с

33. Патент №635046 «Способ Обезвреживания гидроксидных осадков» Баймаханов М. Т., Погребная Л. П., Константинова Л. В., 1976г. - № 5676985/22-76; заявл. 12.04.74; опубл. 13.12.76, Бюл. № 11. - 2 с

34. Бернадипер М.Н. Высокотемпературная переработка шламов с получением портландцемента./ М.Н. Бернадипер, В.С. Санфаров.// Международ, на-

учно-техн. конф "Экол. хим. производства": Сб. докл. - Северодонецк, 1994. С. 198-199

35. Патент N1662952 «Способ обработки осадков сточных вод» 1988г Институт коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского АН УССР; Мешкова - Клименко Н. А., Ярошенко Н. А., Тимошенко М. Н., Бесан В. С. 1952г. - № 5676985/22-76; заявл. 11.04.50; опубл. 13.11.52, Бюл. № 10. - 2 с

36. Патент US20110049048A1 «Система очистки воды» 2011г Уильям Беннер, Санем Д.С., Роберт Бэнкс, Дунчак К.М., 2011г. - № 6486985/22-11; заявл. 12.04.09; опубл. 13.12.11, Бюл. № 18. - 2 с

37. «Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды»/ Ю.И. Вейцер, Д.М. Минц. М: Стройиздат, 1975. С. - 6

38. Патент US20060108263A1 «Окислительная десульфуризация и дезогенирование нефтяных масел» Цзон Бин Лин, Хсунь Хуан, Хун Чунг Шен, Карл Чжуан., 2006г. - № 5676985/22-76; заявл. 12.04.74; опубл. 13.12.76, Бюл. № 11. - 2 с

39. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. –Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 97 с.

40. Патент RU2270809C2 «Integrated waste water treatment plant» Н. И. Куликов, А.И. Судьин ; 2006г. - № 5986985/22-76; заявл. 11.04.046; опубл. 17.11.06, Бюл. № 101. - 2 с

41. Янин Е.П. «Сжигание осадков городских сточных вод (проблемы и способы)» [Электронный ресурс] // Ресурсосберегающие технологии, 2006, № 24, с. 3–29 – Режим доступа: http://www.nparso.ru/images/docs/yanin_25.pdf.

42. Пономарева, О. Г. Исследование процесса очистки нефтесодержащих сточных вод/ О.Г. Пономарева, Т.И. Халтурина // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012г. С.6;

43. Халтурина Т.И. Оптимизация технологического процесса электрокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты/

Т.И. Халтурина, С.А. Козлова, О.В. Чурбакова, С.Г. Третьяков// Вестник КрасГАУ – 2017.– №5 – С.51-58;

44. Брандон Д.Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М: Техносфера,2004.256 с.;

45. Туровский И.С. Обработка осадка сточных вод. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.;

46. Фестер Р. Новые флокулянты для обработки осадков и шламов. // Сборник докладов Международного симпозиума. Новые технологии в обработке отходов и осадков сточных вод. М. 1992. С.6-10.;

47. Гандурина Л.В. Органические флокулянты и технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадков: аналитический обзор.М.: Изд-во ЗАО «ДАР/ВОДГЕО» 2001г. 74с.

48. Яковлев С.В., Аксенов В.И., Волков Л.С. Обезвоживание осадков сточных вод металлообрабатывающей промышленности. М.: Стройиздат, 1984. – 98с.

49. Чернобай В.В. Флокуляция осадков сточных вод. Журнал «Экология производства»,№4,апрель,2012,С.74-76.

50. Иванова В. П., Касатов Б. П., Красавина Т. Н., Розинова Е. Л. Термический анализ минералов и горных пород. М: Недра, 1974. 399 с.

51. Халтурина Т.И., Гаврилова Ю.В., Чурбакова О.В. , Курилина Т.А. Способ обработки осадков сточных вод. Патент RU № 2486140. 27.06.2013 Бюл.№18;

52. Буренин В. В. Новые гидравлические фильтры и устройства для очистки и обезвреживания производственных сточных вод. Экология и промышленность России. 2011. № 10 С. 8–11;

53. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»;

54. Афанасьев Д. Расчет класса опасности отходов вручную: собираем первичные показатели опасности // Справочник эколога. 2014. № 7. С. 93;

55. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, М., ГСЭН России, 1998. - 208 с.;
56. ГН 2.1.5.1831-04 Ориентировочно-допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, М., ГСЭН России, 2004. - 156 с.;
57. Ветошкин А. Г. Процессы инженерной защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие. – Пенза: из-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 325 с.;
58. Кузубова Л. И., Морозова С. В. Очистка нефтесодержащих сточных вод.: Аналит. обзор СО РАН, ГПНТБ, НИОХ. – Новосибирск, 1992. – 72 с.;
59. Справочник инженера по охране окружающей среды (эколога). Учебно-практическое пособие. Под ред. Перхуткина В. П. М.: «Инфра-Инженерия», 2005. – 864 с.;
60. Чура Н. Н. Техногенный риск: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2011.- 280 с.;
61. Буренин В. В. Новые гидравлические фильтры и устройства для очистки и обезвреживания производственных сточных вод. Экология и промышленность России. 2011. № 10 С. 8 - 11.;
62. Алымов В. Т., Тарасов Н. П. Техногенный риск. Анализ и оценка: учебно пособие для вузов. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. - 118 с.;
63. Риски - понятие и виды. Классификация рисков - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.grandars.ru/student/fin-m/vidy-riskov.html>
64. Окружающая среда. Оценка риска для здоровья. М., 1996. - 140с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Технологический расчет схемы очистки нефтесодержащих сточных вод

А1 Расчет усреднителя с перемешивающим устройством

Объем резервуара – усреднителя, м³:

$$W = Q_{\text{час}} \cdot T, \quad (\text{A.1})$$

где T принимаем за 8 часов.

$$W = 7,5 \cdot 8 = 60$$

Площадь одного отделения усреднителя, м² :

$$F = \frac{W}{n \cdot H}, \quad (\text{A.2})$$

где H=2 м – глубина усреднителя;

n=2 – число рабочих отделений.

$$F = \frac{60}{2 \cdot 2} = 15$$

Длина усреднителя, м²:

$$L = \frac{F}{B}, \quad (\text{A.3})$$

где B = 3 м – ширина усреднителя.

$$L = \frac{15}{3} = 5$$

Расход воздуха на барботирование, м³/ч:

$$q_{\text{возд}} = L_{\sigma} \cdot n \cdot q_{\text{уд}}, \quad (\text{A.4})$$

где $n=1$ – количество барботеров на 3 метра ширины усреднителя;

$L_{\sigma} = L - 0,2 = 6,0 - 0,2 = 5,8\text{ м}$ - длина барботера;

$q_{\text{уд}}$ - удельный расход воздуха, м³/ч.

$$q_{\text{возд}} = 5,8 \cdot 1 \cdot 15 = 87$$

Принимаем воздухоувку марки ВК-1,5:

- 1) объем засасываемого воздуха 90 м³/ч;
- 2) частота вращения 1500 об/мин;
- 3) мощность электродвигателя 5,5 кВт;
- 4) размеры 1250x1320x1020 мм.

A2 Расчет нефтеловушки

Средняя горизонтальная скорость (расчетная) движения воды, мм/с:

$$V_p = \frac{q}{n \cdot B \cdot H}, \quad (\text{A.5})$$

где $V_p = 3 - 10$ мм/с;

$H = 1,5 - 2$ м – глубина рабочего слоя;

$n = 2$ - число секций;

B - ширина секции (3 или 6 м).

$$V_p = \frac{180 \cdot 1000}{2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,17$$

Рабочая длина нефтеловушки, м:

$$L = \frac{12,5 \cdot H}{0,312 + \frac{U}{\sqrt{V_p}} - 0,00018 \cdot V_p^2}, \quad (\text{A.6})$$

где U – скорость всплывания нефтяных частиц;

$$U = \alpha \cdot (112 - 93 \cdot \gamma_n) \cdot 10^{0,0143d}, \quad (\text{A.7})$$

где $\gamma_n = 0,89 \text{ т} / \text{м}^3$ - удельный вес нефти;

$d=100$ мкм – расчетный диаметр частиц нефти.

Коэффициент, учитывающий влияние механических примесей на всплывание нефти:

$$\alpha = 0,0015 \cdot \frac{C_n}{C_{\text{мг}}} + 0,875 = 0,0015 \cdot \frac{1000}{300} + 0,875 = 0,88$$

$C_n = 1000$ - концентрация нефти в воде, $\text{г} / \text{м}^3$;

$C_{\text{мг}} = 300$ - концентрация механических примесей в воде, $\text{г} / \text{м}^3$.

$$U = 0,88 \cdot (112 - 93 \cdot 0,89) \cdot 10^{0,0143 \cdot 100} = 69$$

$$L = \frac{12,5 \cdot 2}{0,312 + \frac{0,6923}{\sqrt{0,17}} - 0,00018 \cdot 0,17^2} = 13,44$$

Принимаем $L=15$ м.

Продолжительность всплывания нефти, мин:

$$t_{\epsilon} = \frac{H}{U} \tag{A.8}$$

$$t_{\epsilon} = \frac{2}{0,0006923} = 48$$

Проверочный расчет: $t_p > t_{\epsilon}$.

Количество осадка, задерживаемого в нефтеловушке, $м^3 / сут.$:

$$W_{oc} = \frac{24 \cdot Q \cdot C_{ог} \cdot \mathcal{E}}{\gamma_{oc} \cdot (100 - P) \cdot 10^6}, \tag{A.9}$$

где $\mathcal{E}=60$ % - эффект очистки по взвешенным веществам;

$P=70$ % - важность осадка;

$\gamma_{oc} = 1,5г / м^3$ - удельный вес осадка.

$$W_{oc} = \frac{24 \cdot 180 \cdot 300 \cdot 60}{1,5 \cdot (100 - 70) \cdot 10^6} = 1,78$$

Резервуар для сбора масла, $м^3$:

$$W_{ин} = \frac{(C_{исх}^{ин} - C_{ост}^{ин}) \cdot 24 \cdot Q^3}{\gamma_n \cdot 10^6} \quad (A.10)$$

$$W_{ин} = \frac{(1000 - 400) \cdot 24 \cdot 180}{0,89 \cdot 10^6} = 2,91$$

Потери расхода сточной воды после прохождения нефтеловушки, м³/сут ;

$$Q_{II} = W + W_{oc} \quad (A.11)$$

$$Q_{II} = 2,91 + 1,78 = 4,69$$

Таблица А1 - Сводная таблица

Q _{сут} , м ³ /сут	Q _ч , м ³ /ч	Q _с , м ³ /с
175	7,3	0,002

А3 Расчет электролизера с алюминиевыми электродами

Подбираем дозу коагулирующих ионов в зависимости от концентрации С_{нп} = 400 мг/л, с помощью интерполяции.

$$D_{all} = 11 \text{ мг} / \text{л}.$$

Часовой расход алюминия, который необходимо ввести в обрабатываемую воду - Q_{час} = 4г / ч.

$$Q_{all} = 11 \cdot 4 = 44 \text{ г} / \text{ч}.$$

Сила тока, обеспечивающая растворение алюминия, А:

$$I = Q_{all} \cdot \frac{100}{K \cdot \eta}, \quad (\text{A.12})$$

где $K=0,335$ – электрохимический эквивалент алюминия, г/А·ч;

$\eta=80$ – выход металла по току.

$$I = 44 \cdot \frac{100}{0,335 \cdot 80} = 164,2$$

Рабочая поверхность анодов определяются из условия оптимальной плотности тока.

Плотность тока, *A/кв.ед*:

$$F_a = \frac{I}{i \cdot 100}, \quad (\text{A.13})$$

где $I=0,4$ А/дм² - плотность тока, значение определено экспериментальным путем.

$$F_a = \frac{164,2}{0,4 \cdot 100} = 4,1$$

Необходимая толщина анодов с учетом их износа, м:

$$\delta = Q_{cym} \cdot D_{all} \cdot \frac{n_{cym}}{0,4 \cdot \gamma \cdot F_a \cdot 10^6}, \quad (\text{A.14})$$

где $n_{сут} = 15$ сут – расчетная продолжительность работы;

$\gamma = 2,69 \text{ т} / \text{м}^3$ - удельный вес анодного материала для алюминия.

$Q_{\text{сут.}} = 175 \text{ м}^3/\text{сут.}$

$$\delta = 175 \cdot 11 \cdot \frac{15}{0,4 \cdot 2,69 \cdot 4,1 \cdot 10^6} = 0,0065$$

Размеры пластин в соответствии с конструкцией электролизера, м^2

$$F_{\text{эл}} = 0,42 \cdot 1,85 = 0,78$$

Общее количество анодов, шт:

$$n_a = \frac{F_a}{F_{\text{эл}}} \tag{A.15}$$

$$n_a = \frac{4,1}{0,78} = 6$$

Общее количество электродов, шт:

$$n = 2 \cdot n_a + 1 \tag{A.16}$$

$$n = 2 \cdot 6 + 1 = 13$$

В электролизере 6 анодов и 7 катодов.

Количество аппаратов $N=2$.

Ширина электролизера, м:

$$B = b + 2 \cdot a, \tag{A.17}$$

где $b = 0,42$ м – ширина электрода;

$a = 0,01$ м – расстояние между электродами и корпусом.

$$B = 0,42 + 2 \cdot 0,01 = 0,44$$

Длина электролизера, м:

$$L = n \cdot \delta + (n - 1) \cdot l + 2 \cdot a, \quad (\text{A.18})$$

где l – расстояние между электродами ($l = 0,015$ м).

$$L = 13 \cdot 0,0065 + (13 - 1) \cdot 0,015 + 2 \cdot 0,01 = 0,3$$

Высота электролизера, м:

$$H = h_{эл} + a_1 + a_2, \quad (\text{A.19})$$

где $h_{эл} = 1,85$ м – высота электрода;

$a_1 = 0,15$ м – расстояние от электрода до дна;

$a_2 = 0,25$ м – расстояние от электрода до поверхности воды.

$$H = 1,85 + 0,15 + 0,25 = 2,25$$

Строительная высота, м:

$$H_{стр} = H + 0,175 \quad (\text{A.20})$$

$$H_{стр} = 2,25 + 0,175 = 2,425$$

Объем воды в электролизере, m^3 :

$$W_6 = W_{6H} - W_{3T} \quad (A.21)$$

$$W_{6H} = H \cdot L \cdot B = 2,425 \cdot 0,3 \cdot 0,44 = 0,32$$

$$W_{3T} = 13 \cdot 1,85 \cdot 0,42 \cdot 0,008 = 0,08$$

$$W_6 = 0,32 - 0,08 = 0,24$$

Время нахождения сточной воды в электролизере, с:

$$t = \frac{W_6}{Q_4} \quad (A.22)$$

$$t = \frac{0,235 \cdot 3600 \cdot 2}{7,3} = 232$$

Скорость потока воды в электролизере, m/c :

$$V = \frac{H}{t} \quad (A.23)$$

$$V = \frac{2,25}{232} = 0,01$$

Требуемая мощность, kBm :

$$E = I \cdot U \quad (A.24)$$

$$E = 164,2 \cdot 20 = 3284 = 3,284 \cdot 10^3$$

Удельный расход электроэнергии, $\text{кВт}\cdot\text{ч} / \text{м}^3$:

$$W = \frac{E}{Q_v} \quad (\text{A.25})$$

$$W = \frac{3,284 \cdot 10^3}{7,3} = 0,37$$

Расчет производительности вытяжной вентиляционной системы производится из количество выделяемого водорода, м^3 :

$$W = \frac{\gamma \cdot c \cdot I \cdot (273 + T)}{273} \quad (\text{A.26})$$

$$W = \frac{0,9 \cdot 0,00042 \cdot 164,2 \cdot (273 + 20)}{273} = 0,07$$

A4 Расчет вертикального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования

Диаметр отстойника, м:

$$D = \sqrt{(F + f_{\text{к.х.}}) \cdot \frac{4}{\pi}}, \quad (\text{A.27})$$

где F – площадь зоны отстаивания, м^2

$$F = \beta \cdot \frac{Q}{3,6 \cdot V_p \cdot N} \quad (\text{A.28})$$

$$F = 1,5 \cdot \frac{7,3}{3,6 \cdot 0,6 \cdot 1} = 5,07$$

где $V_p = 0,6$ м/с – расчетная скорость восходящего потока воды;

$\beta = 1,5$ - коэффициент объемного использования.

$$f_k = \frac{Q \cdot t}{60 \cdot H \cdot N} \quad (\text{A.29})$$

$$f_k = \frac{Q \cdot t}{60 \cdot H \cdot N} = \frac{7,3 \cdot 20}{60 \cdot 3,6 \cdot 1} = 0,7 \text{ м}^2.$$

где $t=15-20$ мин – время пребывания сточной воды в отстойнике;

$H = 0,9 \cdot 4 = 3,6$ м - высота камеры хлопьеобразования;

$H_o = 4 - 5$ м - высота отстойника.

$$D = \sqrt{(6 + 0,7) \cdot \frac{4}{3,14}} = 3$$

Период работы между сбросами осадка, ч:

$$T = \frac{W_{oc} \cdot N \cdot \delta}{Q \cdot (C - m)}, \quad (\text{A.30})$$

где $\delta = 30000$ - концентрация уплотненного осадка;

$m = 8 - 12$ мг / л - допустимая концентрация взвешенных веществ;

C – максимальная концентрация взвешенных веществ.

Объем конической части, m^3 :

$$W_{oc} = \frac{\pi}{3 \cdot h_k \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 + \frac{D}{2} \cdot \frac{d}{2} \right]}, \quad (\text{A.31})$$

где $d=200$ мм – диаметр трубопровода для сбора осадка;

h_k – высота конической части отстойника, м;

$\alpha = 50 - 55^\circ$ - угол конусности.

$$h_k = \frac{(D - d)}{2 \cdot \operatorname{tg} \cdot (90 - \alpha)} \quad (\text{A.32})$$

$$h_k = \frac{(3 - 0,2)}{2 \cdot 0,84} = 1,67$$

$$W_{oc} = \frac{3,14}{3 \cdot 1,67 \cdot \left[\left(\frac{3}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,2}{2} \right)^2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{0,2}{2} \right]} = 6,8$$

$$T = \frac{6,8 \cdot 1 \cdot 30000}{7,3 \cdot (400 - 8)} = 71,3$$

Площадь кольцевого желоба для сбора осветленной воды, m^2 :

$$f_{к.ж.} = \frac{q_c}{V}, \quad (\text{A.33})$$

где $V=0,6 - 0,7$ м/с – скорость течения в желобе.

$$f_{к.ж.} = \frac{0,002}{0,6} = 0,004$$

Площадь радиального желоба, $м^2$:

$$f_{р.ж.} = \frac{q_c}{4 \cdot V} \tag{A.34}$$

$$f_{р.ж.} = \frac{0,002}{4 \cdot 0,6} = 0,0008$$

Водоворотная камера хлопьеобразования

Площадь одной камеры, $м^2$:

$$f_k = \frac{Q \cdot T}{60 \cdot H_1 \cdot N}, \tag{A.35}$$

где $T = 15 - 20$ мин;

$N=1$ – число отстойников.

$$f_k = \frac{7,3 \cdot 20}{60 \cdot 3,6 \cdot 1} = 0,7$$

Диаметр камеры, м:

$$d_k = 1,13 \cdot \sqrt{f_k} \tag{A.36}$$

$$d_k = 1,13 \cdot \sqrt{0,7} = 1$$

Расход воды, поступающей в камеру, m^3/c :

$$q_c = \frac{Q}{3600 \cdot N} \tag{A.37}$$

$$q_c = \frac{7,3}{3600 \cdot 1} = 0,002$$

Диаметр сопла, м:

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{q_c}{\mu \cdot V_c}} \tag{A.38}$$

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,002}{0,908 \cdot 2}} = 0,04$$

где $V_c=2-3$ м/с – скорость выхода воды из сопла;

$\mu = 0,908$ - коэффициент расхода.

Длина сопла, мм:

$$l_c = \frac{d_c}{2} \cdot ctg \frac{\beta}{2} \tag{A.39}$$

$$l_c = \frac{0,04}{2} \cdot ctg \frac{25}{2} = 110$$

Фактическая скорость выхода воды из сопла, m/c :

$$V_{\phi} = \frac{1,274 \cdot q_c}{d_c^2 \cdot \mu} \quad (\text{A.40})$$

$$V_{\phi} = \frac{1,274 \cdot 0,002}{(0,04)^2 \cdot 0,908} = 1,75$$

Потери напора в сопле, м:

$$h_c = 0,06 \cdot V_{\phi}^2 \quad (\text{A.41})$$

$$h_c = 0,06 \cdot (1,75)^2 = 0,183$$

Количество воды, теряемое при сбросе осадка, %

$$q_{oc} = \frac{K_p \cdot (C - m)}{\delta_{cp}} \cdot 100\% \quad (\text{A.42})$$

$$q_{oc} = \frac{1,5 \cdot (400 - 8)}{32000} \cdot 100\% = 1,8$$

Таблица А2 - расход сточной воды, идущей на фильтры

Q _{сут} , м ³ /сут	Q _ч , м ³ /ч	Q _с , м ³ /с
172,15	7,17	0,0019

А5 Расчет скорого фильтра с зернистой загрузкой

Суммарная площадь фильтров, м²:

$$F = \frac{Q_{сут}}{T \cdot V_{р.н.} - 3,6 \cdot n \cdot \omega \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot V_{р.н.}}, \quad (A.43)$$

где $T=16$ часов – время работы фильтра;

$V_{р.н.} = 5-6$ м/ч – скорость фильтрования при нормальном режиме;

$n=2$ – число промывок за сутки;

$\omega = 12 - 14$ л/с - интенсивность промывки;

$t=0,33$ ч – простой фильтра в связи с промывкой.

$$F = \frac{172,15}{16 \cdot 6 - 3,6 \cdot 2 \cdot 12,5 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,33 \cdot 6} = 2,06$$

Число фильтров, шт:

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{F} \quad (A.44)$$

$$N = 0,5 \sqrt{2,06} \approx 1$$

Принимаем один рабочий и один резервный.

Размеры фильтра: $B=1,0$ м; $L=2,7$ м.

Скорость фильтрования при форсированном режиме, м/ч:

$$V_{р.ф.} = V_{р.н.} \cdot \frac{N}{N - N_1} \quad (A.45)$$

$$V_{р.ф.} = 6$$

Распределительная система фильтра.

Количество промывной воды, л/с:

$$q_{np} = f \cdot \omega \quad (\text{A.46})$$

$$q_{np} = 2,7 \cdot 12,5 = 33,75$$

Диаметр коллектора, м:

$$d_{кол} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot V_{кол}}}, \quad (\text{A.47})$$

где $V_{кол} \leq 2 \text{ м/с}$

$$d_{кол} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,34}{3,14 \cdot 2}} = 0,15$$

Площадь фильтра на каждое ответвление распределительной системы, м^2 :

$$f_{отв} = (L - d_{кол}) \cdot m, \quad (\text{A.48})$$

где $m = 0,27 \text{ м}$ – расстояние между ответвлениями

$$f_{отв} = (2,7 - 0,15) \cdot 0,27 = 0,69$$

Расход воды через ответвления, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$q_{отв} = f_{отв} \cdot \omega \quad (\text{A.49})$$

$$q_{отв} = 0,69 \cdot 12,5 = 0,0086$$

Диаметр ответвлений:

$$d_{омс} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{омс}}{\pi \cdot V_{омс}}}, \quad (A.50)$$

где $V_{омс} = 1,8 - 2 м/с$

$$d_{омс} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0086}{3,14 \cdot 2}} = 0,07$$

Суммарная площадь отверстий, $м^2$:

$$\sum f_o = \alpha \cdot f_\phi \quad (A.51)$$

$$\sum f_o = \frac{0,25 \cdot 2,7}{100} = 0,0068$$

Количество отверстий в фильтре, шт:

$$n = \frac{b}{m} = \frac{1,0}{0,27} \approx 4шт. \quad (A.52)$$

$$n = \frac{1,0}{0,27} \approx 4$$

Число отверстий фильтра, шт:

$$\sum n_o = \frac{\sum f_o}{f_o}, \quad (A.53)$$

где f_o - площадь одного отверстия, мм²;

$d_o=10$ мм – диаметр отверстия.

$$\sum n_o = \frac{0,0068}{0,0000785} = 87$$

Число отверстий ответвлений, шт:

$$n_{омв} = \frac{\sum n_o}{n} \tag{A.54}$$

$$n_{омв} = \frac{87}{8} = 22$$

Длина ответвления, м:

$$l_{омв} = L - d_{кол} \tag{A.55}$$

$$l_{омв} = 2,7 - 0,15 = 2,55$$

Шаг оси отверстий, м:

$$l_o = \frac{l_{омв}}{n_o} \tag{A.56}$$

$$l_o = \frac{2,55}{22} = 0,12$$

Отвод воды при промывке фильтра.

Ширина желоба, м:

$$B = K \cdot \sqrt[5]{\frac{q_{\text{жс}}^2}{(1,57 + a)^3}}, \quad (\text{A.57})$$

где $K=2,1$ – для желоба с треугольным лотком

$$B = 2,1 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,011^2}{(1,57 + 1)^3}} = 0,2$$

Расход воды на один желоб, л/с:

$$q_{\text{жс}} = \frac{q_{\text{нр}}}{\Pi_{\text{жс}}} \quad (\text{A.58})$$

$$q_{\text{жс}} = \frac{33,75}{3} = 11,25$$

Высота кромки желоба над поверхностью загрузки, м:

$$\Delta h = \frac{H_{\phi} \cdot l}{100} + 0,3, \quad (\text{A.59})$$

где $H_{\phi}=0,7$ м – высота фильтрующего слоя;

$l=30-45\%$ – относительное расширение фильтрующей загрузки.

$$\Delta h = \frac{0,7 \cdot 30}{100} + 0,3 = 0,51$$

Расчет воды на промывку, %:

$$P = \frac{\omega \cdot f \cdot t_1 \cdot 60 \cdot N}{Q_c \cdot T_p \cdot 1000} \cdot 100\%, \quad (\text{A.60})$$

где $t_1 = 6$ мин – продолжительность сброса фильтрата.

$$P = \frac{12,5 \cdot 2,7 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 1}{7,2 \cdot 7,2 \cdot 1000} \cdot 100\% = 23,4$$

Время работы фильтра между промывками частей, ч:

$$T_p = T_o - (t_1 + t_2 + t_3), \quad (\text{A.61})$$

где $T_o = 8 \div 12$ ч – рабочий фильтроцикл;

$t_3 = 0,17$ ч – продолжительность сброса первого фильтра в сток;

$t_1 = 0,3$ ч – продолжительность промывки;

$t_2 = 0,33$ ч – время простоя фильтра в связи с промывкой.

$$T_p = 8 - (0,3 + 0,33 + 0,17) = 7,2$$

Расстояние от дна желоба до дна сборного канала, м:

$$H_{кан} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{g \cdot b_{кан}^2} + 0,2}, \quad (\text{A.62})$$

где $b_{кан} = 0,7$ м.

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{(12,5)^2}{9,81 \cdot (0,7)^2} + 0,2} = 0,26$$

Площадь сечения, м^2 :

$$f_{\text{кан}} = b_{\text{кан}} \cdot H_{\text{кан}} \quad (\text{A.63})$$

$$f_{\text{кан}} = 0,7 \cdot 0,26 = 0,18$$

Скорость движения воды в канале, м/ч:

$$V_{\text{кан}} = \frac{q_{\text{кан}}}{f_{\text{кан}}} \quad (\text{A.64})$$

$$V_{\text{кан}} = \frac{12,5}{0,49} = 25,5$$

Потери напора при промывке фильтра

Потери напора в распределительной системе фильтра, м:

$$h_{\text{р.с.}} = \left(\frac{2,2}{\alpha^2} + 1 \right) \cdot \frac{V_{\text{кол}}^2}{2 \cdot g} + \frac{V_{\text{р.м.}}^2}{2 \cdot g}, \quad (\text{A.65})$$

где $V_{\text{кол}} = 1,25 \text{ м/с}$;

$V_{\text{р.м.}} = 1,7 \text{ м/с}$.

$$h_{\text{р.с.}} = \left(\frac{2,2}{3,83^2} + 1 \right) \cdot \frac{1,2^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,24$$

Крупность зерен:

$$\alpha \frac{\sum f_{отв}}{f_{кол}} \quad (A.66)$$

$$\alpha \frac{\sum f_{отв}}{f_{кол}} = \frac{0,69}{0,18} = 3,83.$$

Потери напора в фильтрующем слое, м:

$$h_{\phi} = (a + b \cdot \omega) \cdot H_{\phi}, \quad (A.67)$$

где $a = 0,6$ – крупность зерен;

$b = 0,017$ - параметры песка;

$H_{\phi} = 0,7 \div 1,2$ – высота фильтрующего слоя.

$$h_{\phi} = (0,76 + 0,017 \cdot 12,5) \cdot 0,7 = 0,68$$

Потери напора в поддерживающих слоях, м:

$$h_{н.с.} = 0,022 \cdot H_{н.с.} \cdot \omega, \quad (A.68)$$

где $H_{н.с.} = 0,5$ м – высота поддерживающего слоя;

ω – интенсивность промывки.

$$h_{н.с.} = 0,022 \cdot 0,5 \cdot 12,5 = 0,137$$

Потери напора в подводящем трубопроводе, м:

$$h_{n.m.} = i \cdot l \quad (\text{A.69})$$

$$h_{n.m.} = 0,008 \cdot 100 = 0,8$$

Потери напора в трубопроводах, м:

$$h_{o.б.} = \frac{V^2}{2 \cdot g}, \quad (\text{A.70})$$

где $V=2$ м/с - скорость в трубопроводе.

$$h_{o.б.} = \frac{2^2}{2 \cdot 9,8} = 0,2$$

Потери напора в местных сопротивлениях, м:

$$h_{м.с.} = \sum \xi \cdot \frac{V_{кол}^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.71})$$

$$h_{м.с.} = 2,664 \cdot \frac{1,8^2}{2 \cdot 9,8} = 0,44$$

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 \quad (\text{A.72})$$

$$\sum \xi = 0,984 + 0,26 + 0,5 + 0,92 = 2,664$$

Сумма потерь напора, м :

$$\sum h = h_{p.c.} + h_{\phi} + h_{н.с.} + h_{н.м.} + h_{o.б.} + h_{м.с.} \quad (\text{A.73})$$

$$\sum h = 0,24 + 0,68 + 0,8 + 0,137 + 0,2 + 0,44 = 2,49$$

Геометрическая высота подъема воды от дна резервуара чистой воды до желоба, м:

$$h_z = \Delta h_{жс} + H_{\phi} + 4,5, \quad (A.74)$$

где $\Delta h_{жс} = 0,5 м$.

$$h_z = 0,5 + 0,7 + 4,5 = 5,7$$

Напор насоса, м:

$$H = h_z + \sum h + h_{з.н.} \quad (A.75)$$

где $h_{з.н.} = 1,5 м$. - запас напора.

$$H = 5,7 + 2,49 + 1,5 = 9,69$$

Подбираем насос марки 1,5Х-6К-1:

1. подача – 5,9-12 м³/ч;
2. напор – 15-20 м;
3. частота вращения 2900 об/мин;

А6 Расчет резервуара чистой воды

В резервуаре должен находиться объем воды, необходимый для двух промывок в сутки:

$$W_{pчв} = W_{ак} + W_{соб} \quad (A.76)$$

Аккумулирующий объем на 3 часа непрерывного запаса, m^3 :

$$W_{ак} = 3 \cdot q \quad (A.77)$$

$$W_{ак} = 3 \cdot 8,4 = 26,37$$

Объем воды необходимый на собственные нужды станции, m^3 :

$$W_{соб} = \frac{q \cdot P_{oc}}{100} \cdot t + \frac{q \cdot P_{\phi}}{100} \cdot t_{\phi} \quad (A.78)$$

$$W_{соб} = \frac{8,4 \cdot 3,2}{100} \cdot 0,4 + \frac{8,4 \cdot 23,4}{100} \cdot 0,3 = 0,7$$

Объем резервуара чистой воды, m^2 :

$$W_{pчв} = 26,37 + 0,7 = 27$$

Высота резервуара 3 м, площадь 3х3 м.

A7 Расчет резервуара горячей воды

Для промывки фильтров от масляных загрязнений необходима горячая вода.

$$W_{гор} = W_{np} = \frac{2 \cdot t_1 \cdot \omega \cdot 3600 \cdot F_{\phi}}{1000} \quad (A.79)$$

При высоте 3 м, размеры в плане 3х2,7 м.

Объем резервуара грязной воды $W_{\text{зоп}} = W_{\text{нр}} = 24,3\text{м}^3$.

А8 Расчет шламоуплотнителя

После обработки маслосодержащих стоков, осадок из отстойника и других сооружений подается в шламонакопитель, где он может находиться до 5 суток.

Расчет ведем по удельной нагрузке на поверхность $q=0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$;

$Q_{\text{ос}}=3,15 \text{ м}^3/\text{ч}$; $W=25,2 \text{ м}^3/\text{сут}$.

$x = 3,15\text{м}^3/\text{сут}$. - количество воды, теряемое при сбросе осадка

$175\text{м}^3/\text{сут}$. - $3,15\text{м}^3/\text{сут}$. = $171,85\text{м}^3/\text{сут}$

Объем уплотненного осадка, м^3 :

$$W_{\text{упл}} = 0,4 \cdot W \quad (\text{A80})$$

$$W_{\text{упл}} = 0,4 \cdot 25,2 = 10,08$$

$0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ - 1

$3,15 \text{ м}^3/\text{ч}$ - x

$x=3,94 \text{ м}^2$ - площадь шламонакопителя (F)

Диаметр шламонакопителя, м:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,94}{3,14}} = 2,2.$$

Принимаем трубопровод для отвода осадка диаметром 300 мм.

А9 Расчет вакуум-фильтра

Расчёт вакуум-фильтра производится по сухому веществу, $\text{т}/\text{сут}$:

$$M_{\text{сух}} = \frac{W_{\text{упл}} \cdot (100 - B_{\text{л}}) \cdot \gamma_{\text{ос}}}{100}, \quad (\text{A.81})$$

где $B_{\text{л}}=94\%$ – влажность уплотненного осадка;

$\gamma_{\text{ос}}=1,1$ т/м³ – объёмный вес осадка.

$$M_{\text{сух}} = \frac{10,08 \cdot (100 - 94) \cdot 1,1}{100} = 0,71$$

Требуемая площадь вакуум-фильтра, м² :

$$F = \frac{M_{\text{сух}} \cdot 1000}{T \cdot \kappa}, \quad (\text{A.82})$$

где T - число часов работы в сутки;

$\kappa=20$ кг/м²·ч – нагрузка на 1 м² поверхности вакуум-фильтра.

$$F = \frac{0,71 \cdot 1000}{16 \cdot 20} = 2,21$$

Принимаем 1 вакуум-фильтр марки БОУ5-1,75 (1 - рабочий, 1 - резервный)

Таблица А3 - Технические характеристики

Модель вакуумного фильтра	Площадь, м ²	Размер барабана, мм	Мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Вакуум-фильтр БОУ5-1,75	5,0	Ø1762x960	4,4	2980x2410x2650	4990

Количество осадка (кека) после вакуум-фильтрации, м³/сут:

$$W_{\text{кека}} = W_{\text{упл}} \cdot \frac{(100 - B_{\text{уп}})}{(100 - B_{\text{кека}})} \quad (\text{A.83})$$

$$W_{\text{кека}} = 10,08 \cdot \frac{(100 - 94)}{(100 - 83,3)} = 3,62$$

A10 Расчет резервуара – усреднителя

Расход и концентрации нефтепродуктов в осадке производственных сточных вод колеблются в течение суток в широких пределах, поэтому для обеспечения нормальной работы установки необходимо усреднение осадка по замасленности, удельному содержанию осадка в единице объема и по расходу в регулирующих емкостях - усреднителях.

При расчете усреднителя принимаем расчетный период усреднения 8 часов. Ориентировочный объем усреднителя в соответствии с принятым периодом усреднения составит:

Число камер усреднителя должно быть не менее двух.

Объем резервуара-усреднителя, m^3 :

$$W = \sum q_i \quad (\text{A.84})$$

$$W = 4,38 \cdot 8 = 35,04$$

Площадь одного отделения усреднителя, m^2 :

$$F = \frac{W}{n \cdot H}, \quad (\text{A.85})$$

где $H=1$ м – глубина усреднителя;

$N=2$ – число рабочих отделений.

$$F = \frac{35,04}{2 \cdot 1} = 17,52$$

Длина усреднителя, м:

$$L = \frac{F}{B}, \tag{A.86}$$

где $B=3$ м – ширина усреднителя.

$$L = \frac{17,52}{3} = 5,84$$

Расход воздуха на барботирование, $м^3/ч$:

$$Q_{возд} = l_б \cdot n \cdot q_{уд}, \tag{A.87}$$

где $n=1$ – количество барботеров на 3 метра ширины усреднителя;

$q_{уд}$ - удельный расход воздуха, $м^3/(ч \cdot м)$;

$l_б = L - 0,2 = 5,84 - 0,2 = 5,64$ м - длина барботера.

$$Q_{возд} = 5,64 \cdot 1 \cdot 6 = 33,84$$

Принимаем воздуходувку марки ВК-1,5.

1. объем засасываемого воздуха – 90 $м^3/ч$;
2. частота вращения – 1500 об/мин;
3. мощность электродвигателя – $5,5$ кВт;
4. размеры – $1250 \times 1320 \times 1020$ мм.

A11 Расчет механического смесителя пропеллерного типа

Объем резервуара смесителя принимаем равным одноминутному расчетному расходу осадка, m^3 :

$$W = \frac{Q}{60} \quad (\text{A.88})$$

$$W = \frac{3,15}{60} = 0,05$$

При числе оборотов воды в смесителе $z=5$ количество воды, просасываемой пропеллером за 1 с, m^3/c :

$$Q = \frac{W \cdot z}{60} \quad (\text{A.89})$$

$$Q = \frac{0,05 \cdot 5}{60} = 0,0041$$

Принимаем скорость просасывания воды через пропеллер $v_0=2$ м/с, при этом площадь, отметаемая пропеллером, будет равна, м/с:

$$F = \frac{Q_n}{v_0} \quad (\text{A.90})$$

$$F = \frac{0,0041}{2} = 0,002$$

По этому значению находим диаметр пропеллера, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{0,94 \cdot \pi}} \quad (\text{A.91})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,002}{0,94 \cdot 3,14}} = 0,05$$

Напор развиваемый пропеллером, м:

$$H = \frac{1}{\eta_2} \cdot \left(h + \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (\text{A.92})$$

$$H = \frac{1}{0,8} \cdot \left(0,2 + \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,5$$

Мощность оси пропеллера, кВт:

$$N_o = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_o} \quad (\text{A.93})$$

$$N_o = \frac{9,81 \cdot 0,003 \cdot 0,5}{0,75} = 0,02$$

При червячной передаче мощность электромотора будет равна, кВт:

$$N_m = \frac{N_o}{\eta_n} \quad (\text{A.94})$$

$$N_m = \frac{0,02}{0,6} = 0,03$$

Число оборотов пропеллера определяется, *об / мин* :

$$n = \frac{27,2 \cdot v_o}{D \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos^2 \varphi} \quad (\text{A.95})$$

$$n = \frac{27,2 \cdot 2}{0,04 \cdot 0,4 \cdot 0,93^2} = 3931$$

Флокулянт используют в виде 1% раствора. Флокулянт со склада непосредственно из мешка или барабана по гибкому пневмопроводу подается под вакуумом в бункер и далее по мере необходимости в расположенную под питателем лопастную мешалку. Для разряжения в бункере и пневмопроводе применяется вакуум-насос ВК-3. В мешалке производится замачивание флокулянта в течение 1-2 часов с непрерывным помешиванием.

Суточная потребность флокулянта составляет, *кг / сут* :

$$P_n = D_n \cdot Q_{\text{сут}} \cdot 1000, \quad (\text{A.96})$$

где D_n - доза флокулянта. $D_n = 8,5 \text{ мг} / \text{л} = 0,0085 \text{ г} / \text{л}$ - доза флокулянта.

$$P_n = 0,0085 \cdot 25,2 \cdot 1000 = 0,2142$$

A12 Расчет контактного резервуара

Контактная камера служит для улучшения процесса хлопьеобразования и рассчитывается на время пребывания в ней осадка 1-1,5 часа.

Объем камеры в соответствии со временем контакта, m^3 :

$$V = \frac{Q_{cym} \cdot T}{\tau}, \quad (A.97)$$

где $\tau = 8$ часов – число часов работы контактной камеры;

$T=1$ час – период контакта.

$$V = \frac{25,2 \cdot 1}{8} = 3,15$$

Принимаем 2 контактные камеры с размерами в плане 1х2,0х2,6 м.

Перемешивание осадка производится с помощью барботера сжатым воздухом через перфорированные трубы $d=75$ мм с отверстиями $d=5$ мм, которые располагаются по его длине через 30-60 мм.

Необходимое количество воздуха, подаваемого в контактную камеру, $m^3 / ч$:

$$Q_{возд} = L \cdot n \cdot q_{y\partial}, \quad (A.98)$$

где $n=1$ – количество барботеров в контактной камере;

$L = 1 м$ - длина барботера;

$q_{y\partial} = 3 м^3 / ч \cdot м^2$ - удельная интенсивность аэрации.

$$Q_{возд} = 1 \cdot 1 \cdot 3 = 3$$

Для подачи воздуха применяем ту же воздуходувку, которая обеспечивает подачу воздуха в резервуар-усреднитель.

A13 Расчет центрифуги

Основанием для установки центрифуги в технологической схеме являются данные лабораторных исследований, при обработке осадка на центрифуге в течение 3 минут и числе оборотов 1000 об/мин, наблюдалось следующее разделение – осадок 45,4%, вода 54,6%.

По расходу 25,2 м³/сут подбираем центрифугу марки ОТР-10.

1. внутренний диаметр – 105 мм;
2. рабочая емкость – 6 л;
3. предел загрузки – 10 кг;
4. наибольшее число оборотов в минуту – 15000;
5. фактор разделения – 13000;
6. мощность электродвигателя – 1,7 кВт;
7. электродвигатель привода АО 41-2;
8. габаритные размеры 800х640х1680 мм.

A14 Расчет резервуара для сбора обезвоженного осадка

После обезвоживания осадка, содержание кека составляет 45,4 % от всего объема осадка, прошедшего обезвоживание.

$$Q_{об.ос} = 0,454 \cdot Q_{ос} \quad (A.99)$$

$$Q_{об.ос} = 0,454 \cdot 25,2 = 11,44 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

$$V_{\text{квкв}} = 11,44 \cdot \frac{(100 - 94)}{(100 - 61,6)} = 1,78 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Объем резервуара определяется исходя из времени хранения осадка и его расхода, м^3 :

$$W = \frac{q_v \cdot T}{8}, \quad (\text{A.100})$$

где $T=16$ ч – время хранения осадка в резервуаре.

$$W = \frac{3 \cdot 16}{8} = 5,8$$

Принимаем высоту резервуара 1,0 м, размеры в плане 2,6х2,2 м.

A15 Расчет резервуара для сбора надиловой воды

После обезвоживания содержание воды составляет 54,6% от всего объема осадка.

$$Q = 0,546 \cdot Q_{oc} \quad (\text{A.101})$$

$$Q = 0,546 \cdot 25,2 = 13,75 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

$$W = \frac{q_v \cdot T}{8} \quad (\text{A.102})$$

$$W = \frac{0,96 \cdot 16}{8} = 1,92 \text{ м}^3$$

Принимаем высоту резервуара 1,0 м, размеры в плане 1,5x1,3 м.

A16 Расчет механического смесителя пропеллерного типа

Объем резервуара смесителя принимаем равным одноминутному расчетному расходу осадка, m^3 :

$$W = \frac{Q}{60}, \quad (\text{A.103})$$

где $Q_{oc}=3,15 m^3/\text{час}$

$$W = \frac{3,15}{60} = 0,0525$$

При числе оборотов воды в смесителе $z = 5$ количество воды, просасываемой пропеллером за 1 с, m^3/c :

$$Q = \frac{W \cdot z}{60} \quad (\text{A.104})$$

$$Q = \frac{0,0525 \cdot 5}{60} = 0,004$$

Принимаем скорость просасывания воды через пропеллер $v_o=2$ м/с, при этом площадь, отматаемая пропеллером, будет равна, m^2 :

$$F = \frac{Q_n}{v_o} \quad (\text{A.105})$$

$$F = \frac{0,004}{2} = 0,002$$

По этому значению находим диаметр пропеллера, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{0,94 \cdot \pi}} \quad (\text{A.106})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,002}{0,94 \cdot 3,14}} = 0,05$$

Напор развиваемый пропеллером, м:

$$H = \frac{1}{\eta_2} \cdot \left(h + \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (\text{A.107})$$

$$H = \frac{1}{0,8} \cdot \left(0,2 + \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,5$$

Мощность оси пропеллера, кВт:

$$N_o = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_o} \quad (\text{A.108})$$

$$N_o = \frac{9,81 \cdot 0,004 \cdot 0,5}{0,75} = 0,02$$

При червячной передаче мощность электромотора будет равна, кВт:

$$N_m = \frac{N_o}{\eta_n} \quad (\text{A.109})$$

$$N_m = \frac{0,02}{0,6} = 0,03$$

Число оборотов пропеллера определяется, *об/мин*:

$$n = \frac{27,2 \cdot v_o}{D \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos^2 \varphi} \quad (\text{A.110})$$

$$n = \frac{27,2 \cdot 2}{0,05 \cdot 0,4 \cdot 0,93^2} = 3144$$

Уголь марки АГ-3 используют в виде пульпы. Уголь со склада непосредственно из мешка или барабана по гибкому пневмопроводу подается под вакуумом в бункер и далее по мере необходимости в расположенную под питателем лопастную мешалку. Для разряжения в бункере и пневмопроводе применяется вакуум-насос ВК-3.

Суточная потребность угля составляет, *кг/сут*:

$$P_y = D_y \cdot Q_{\text{сут}} \cdot 1000, \quad (\text{A.111})$$

где D_y - доза угля ($D_y = 0,58$ г/л - 5% от массы сухого вещества)

$$P_y = 0,58 \cdot 25,2 \cdot 1000 = 15$$

А17 Расчет вертикального отстойника

Диаметр отстойника, м:

$$D = \sqrt{\frac{F \cdot 4}{\pi}}, \quad (\text{A.112})$$

где F - площадь зоны отстаивания, м^2 ;

$$F = \beta \cdot \frac{Q}{3,6 \cdot V_p \cdot N}, \quad (\text{A.113})$$

где $V_p = 0,6$ м/с – расчетная скорость восходящего потока воды;

$\beta = 1,5$ - коэффициент объемного использования.

$$F = 1,5 \cdot \frac{3,15}{3,6 \cdot 0,6 \cdot 1} = 2,18$$

$$D = \sqrt{\frac{2,18 \cdot 4}{3,14}} = 1,6$$

Период работы между сбросами осадка, ч:

$$T = \frac{W_{oc} \cdot N \cdot \delta}{Q \cdot (C - m)}, \quad (\text{A.114})$$

где $\delta = 30000$ - концентрация уплотненного осадка;

$m = 8 - 12 \text{ мг / л}$ - допустимая концентрация взвешенных веществ;

C – максимальная концентрация взвешенных веществ.

Объем конической части, m^3 :

$$W_{oc} = \frac{\pi}{3 \cdot h_K \cdot \left[\left(\frac{D}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 + \frac{D}{2} \cdot \frac{d}{2} \right]}, \quad (\text{A.115})$$

где $d=200$ мм – диаметр трубопровода для сбора осадка;

h_K – высота конической части отстойника, м.

$$h_K = \frac{(D-d)}{2 \cdot \operatorname{tg} \cdot (90-50)}, \quad (\text{A.116})$$

где $\alpha = 50 - 55^\circ$ - угол конусности.

$$h_K = \frac{(1,6 - 0,2)}{2 \cdot 0,84} = 1$$

$$W_{oc} = \frac{3,14}{3 \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{2}\right)^2 + \frac{1,6}{2} \cdot \frac{0,2}{2} \right]} = 1,9$$

$$T = \frac{1,9 \cdot 1 \cdot 30000}{0,96 \cdot (800 - 12)} = 75,3$$

Площадь кольцевого желоба для сбора осветленной воды, m^2 :

$$f_{к.ж.} = \frac{q_c}{V}, \quad (\text{A.120})$$

где $V=0,6 - 0,7$ м/с – скорость течения в желобе.

$$f_{к.ж.} = \frac{0,0003}{0,6} = 0,0004$$

Площадь радиального желоба, m^2 :

$$f_{р.ж.} = \frac{q_c}{4 \cdot V} \tag{A.121}$$

$$f_{р.ж.} = \frac{0,0003}{4 \cdot 0,6} = 0,0001$$

A18 Расчет резервуара для сбора обезвоженного осадка

После обезвоживания осадка, содержание кека составляет 45,4 % от всего объема осадка, прошедшего обезвоживание.

$$Q_{об.ос} = 0,454 \cdot Q_{ос} \tag{A.122}$$

$$Q_{об.ос} = 0,454 \cdot 25,2 = 11,44 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

$$V_{кека} = 11,44 \cdot \frac{(100 - 94)}{(100 - 43)} = 1,2 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Объем резервуара определяется исходя из времени хранения осадка и его расхода, m^3 :

$$W = \frac{q_c \cdot T}{8}, \tag{A.123}$$

где $T = 16$ ч – время хранения осадка в резервуаре.

$$W = \frac{3,15 \cdot 16}{8} = 6,3$$

Принимаем высоту резервуара 1,0 м, размеры в плане 2х2 м.

Обезвоженный осадок также можно направить на сжигание в котельную, так как осадок содержащий уголь обладает повышенной теплотворной способностью. Полученную теплоту направляем на собственные нужды предприятия, а золу, полученную от сжигания также можно использовать в качестве присадочного материала.

A19 Расчет резервуара для сбора надиловой воды

После обезвоживания содержание воды составляет 54,6% от всего объема осадка.

$$Q = 0,546 \cdot Q_{oc} \tag{A.124}$$

$$Q = 0,546 \cdot 25,2 = 13,76 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

$$W = \frac{q_v \cdot T}{8} \tag{A.125}$$

$$W = \frac{3,15 \cdot 16}{8} = 1,1 \text{ м}^3$$

Принимаем высоту резервуара 1,0 м, размеры в плане 1,5х1,3 м.

Расчет остальных сооружений аналогичен представленному выше, габаритные размеры принимаем такие же, суточный расход осадка не изменился.

Обезвоженный и уплотненный осадок (кек) в объеме 1,1 м³/сут рекомендуем направлять на шламовые поля, а фугат в вертикальный отстойник

для осаждения части угля и выделения надильной воды, которую направляем в усреднитель.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Расчет класса опасности отхода

Расчет класса опасности для оксида алюминия Al_2O_3

Таблица Б1 – первичные показатели опасности Al_2O_3

Первичные показатели опасности компонента отхода	Значение показателя	Балл	Источник информации
1	2	3	4
ПДКп (ОДК), мг/кг	-	-	-
Класс опасности в почве	Не установлен	4	[2]
ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	0.2000000	3	[3]
Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	0.0400000	3	[3]
ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	4	4	[6]
Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	0.0100000	2	[6]
ПДКс.с. (ПДКм.р., ОБУВ), мг/м ³	2	2	[4]
Класс опасности в атмосферном воздухе	-	-	
ПДКпп (МДУ, МДС), мг/кг	-	-	-
Lg(S, мг/л/ПДКв, мг.л)	0.0	4	-
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКр.з)	0.0	4	-
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКс.с. или ПДКм.р.)	0.0	4	-
lg K _{ow} (октанол/вода)	-	-	-
LD ₅₀ , мг/кг	-	-	-
LC ₅₀ , мг/м ³	-	-	-

Окончание таблицы Б1

1	2	3	4
LC ₅₀ ^{водн} , мг/л/96ч	-	-	-
БД=БПК ₅ /ХПК 100%	-	-	-
Персистентность (трансформация в окружающей природной среде)	-	-	-
Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепи)	-	-	-
Информационное обеспечение	0.8	3	-

Относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$X_2 = 36 / 11 = 3,27$$

Унифицированный относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$Z_2 = 4 \cdot 3,27 / 3 - 1 / 3 = 4,03$$

$$\lg W_2 = 2 + 4 / (6 - 4,03) = 4,03$$

Коэффициент степени опасности компонента отхода для окружающей среды

$$W_2 = 17734,189$$

Степень опасности компонента отхода для окружающей среды

$$K_2 = 700000 / 17734,189 = 39,47$$

где $C_2 = 70 \cdot 10000 = 700000$

Расчет класса опасности для карбоната кальция $CaCO_3$

Таблица Б2 – первичные показатели опасности $CaCO_3$

Первичные показатели опасности компонента отхода	Значение показателя	Балл	Источник информации
1	2	3	4
ПДКп (ОДК), мг/кг	-	-	-
Класс опасности в почве	-	-	-
ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	20.000000	4	[6]
Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	3	3	[6]
ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	180.00000000	4	[5]
Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	4	4	[5]
ПДКс.с. (ПДКм.р., ОБУВ), мг/м ³	0.1500000	3	[4]
Класс опасности в атмосферном воздухе	3	3	[3]
ПДКпп (МДУ, МДС), мг/кг	-	-	-
Lg(S, мг/л/ПДКв, мг.л)	-	-	-
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКр.з)	-	-	-
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКс.с. или ПДКм.р.)	-	-	-
lg K _{ow} (октанол/вода)	-	-	-
LD ₅₀ , мг/кг	-	-	-
LC ₅₀ , мг/м ³	-	-	-
LC ₅₀ ^{водн} , мг/л/96ч	-	-	-
БД=БПК ₅ /ХПК 100%	-	-	-

Окончание таблицы Б2

1	2	3	4
Персистентность (трансформация в окружающей природной среде)	-	-	-
Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	-	-	-
Информационное обеспечение	0.5	2	-

Относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$X_3 = 23 / 7 = 3,28$$

Унифицированный относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$Z_3 = 4 \cdot 3,28 / 3 - 1 / 3 = 4,04$$

$$\lg W_3 = 2 + 4 / (6 - 4,04) = 4,04$$

Коэффициент степени опасности компонента отхода для окружающей среды

$$W_3 = 11188,722$$

Степень опасности компонента отхода для окружающей среды

$$K_3 = 250000 / 11188,72 = 22,34$$

где $C_3 = 25 \cdot 10000 = 250000$

Расчет класса опасности для кальция сульфат $CaSO_4$

Таблица Б3 - первичные показатели опасности $CaSO_4$

Первичные показатели опасности компонента отхода	Значение показателя	Балл	Источник информации
1	2	3	4
ПДКп (ОДК), мг/кг	-	-	-
Класс опасности в почве	Не установлен	4	[1]
ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	20.000000	4	[2]
Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	3	3	[2]
ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	180.00000000	4	[4]
Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	4	4	[4]
ПДКс.с. (ПДКм.р., ОБУВ), мг/м ³	0.3000000	3	[6]
Класс опасности в атмосферном воздухе	-	-	-
ПДКпп (МДУ, МДС), мг/кг	-	-	-
Lg(S, мг/л/ПДКв, мг.л)	0.0	4	-
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКр.з)	0.0	4	-
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКс.с. или ПДКм.р.)	0.0	4	-
lg K _{ow} (октанол/вода)	-	-	-
LD ₅₀ , мг/кг	-	-	-
LC ₅₀ , мг/м ³	-	-	-
LC ₅₀ ^{водн} , мг/л/96ч	-	-	-
БД=БПК ₅ /ХПК 100%	-	-	-
Персистентность (трансформация в окружающей природной среде)	-	-	-
Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	-	-	-
Информационное обеспечение	0.8	3	-

Относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$X_4 = 37 / 10 = 3,7$$

Унифицированный относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$Z_4 = 4 \cdot 3,7 / 3 - 1 / 3 = 4,6$$

$$\lg W_4 = 2 + 4 / (6 - 4,6) = 4,85$$

Коэффициент степени опасности компонента отхода для окружающей среды

$$W_4 = 71968,567$$

Степень опасности компонента отхода для окружающей среды

$$K_4 = 250000 / 71968,567 = 3,47$$

где $C_4 = 25 \cdot 10000 = 250000$

Расчет класса опасности для нефтепродуктов

Таблица Б4 - первичные показатели опасности нефтепродуктов

Первичные показатели опасности компонента отхода	Значение показателя	Балл	Источник информации
1	2	3	4
ПДКп (ОДК*), мг/кг	-	-	-
Класс опасности в почве	-	-	-
ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	0.300000	3	[4]

Окончание таблицы Б4

1	2	3	4
Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	4	4	[4]
ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	0.05000000	3	[7]
Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	3	3	[7]
ПДКс.с. (ПДКм.р.,ОБУВ), мг/м3	-	-	-
Класс опасности в атмосферном воздухе	-	-	-
ПДКпп (МДУ, МДС), мг/кг	-	-	-
Lg(S, мг/л/ПДКв,мг.л)**	-	-	-
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКр.з)	-	-	-
Lg(C _{нас} , мг/м ³ /ПДКс.с. или ПДКм.р.)	-	-	-
lg K _{ow} (октанол/вода)	-	-	-
LD ₅₀ , мг/кг	-	-	-
LC ₅₀ , мг/м3	-	-	-
LC ₅₀ ^{водн} , мг/л/96ч	-	-	-
БД=БПК ₅ /ХПК 100%	-	-	-
Персистентность (трансформация в окружающей природной среде)	-	-	-
Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	-	-	-
Информационное обеспечение	0.3	1	-

Относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$X_5 = 14 / 5 = 2,8$$

Унифицированный относительный параметр опасности компонента отхода для окружающей среды

$$Z_5 = 4 \cdot 2,8 / 3 - 1 / 3 = 3,4$$

$$\lg W_4 = 2 + 4 / (6 - 2,8) = 3,4$$

Коэффициент степени опасности компонента отхода для окружающей среды

$$W_4 = 2511,886$$

Степень опасности компонента отхода для окружающей среды

$$K_4 = 33460 / 2511,886 = 13,32$$

где $C_4 = 3,346 \cdot 10000 = 33460$

ПРИЛОЖЕНИЕ В Расчёт размера вреда (ущерба), причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе сточных вод.

Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в пределах заданной наработки или заданном интервале времени отказ объекта не возникнет. В результате расчета определяются количественные значения показателей надежности [45]. В нашем случае рассматривается такая аварийная ситуация, как разлив нефтезагрязненных сточных вод на нефтеперерабатывающем заводе, то есть будет определяться показатель $P_{общ}$, как вероятность наступления неблагоприятного события. Исходные причины дерева отказа приведены в таблице В1.

Таблица В1 – Исходные причины дерева отказа

№	Исходная причина аварий
1	Неисправность средств контроля давления (манометра)
2	Неисправность средств автоматики
3	Неисправность средств датчика
4	Коррозийный износ
5	Внешние механические повреждения аппаратов
6	Разгерметизация запорной арматуры
7	Истекший срок службы
8	Подземная коррозия
9	Некачественная сварка
10	Некачественное производство труб
11	Внешнее механическое повреждение труб
12	Несвоевременное техническое обслуживание оборудования и труб
13	Землетрясение
14	Наводнение
15	Оползень
16	Пожар
17	Теракт

Для каждого аварийного события введем следующие обозначения:

P_1^1 - вероятность события «повышение давления в установках»;

P_1^2 - вероятность события «перелив сточных вод»;

P_2^2 - вероятность события «нарушение целостности стенок»;

P_1^3 - вероятность события «неисправность очистных установок»;

P_2^3 - вероятность события «нарушение целостности соединительных труб»;

P_1^4 - вероятность события «неисправность очистных систем»;

P_1^5 - вероятность события «ЧС техногенного характера»;

P_2^5 - вероятность события «ЧС природного характера»;

$P_{общ}$ - вероятность наступления головного события.

Для расчета вероятности безаварийной работы используются следующие формулы в зависимости от используемого оператора «И», «ИЛИ»:

для оператора «И»:

$$P = P_1 \cdot P_2 \quad (B.1)$$

для оператора «ИЛИ»:

$$P = 1 - P \cdot (1 - P_n) \quad (B.2)$$

Зная значения вероятности исходных событий и учитывая формулы B.1 и B.2, можем рассчитать вероятность головного события:

$$P_{общ} = 1 - (1 - P_1^5) \cdot (1 - P_2^5) \cdot (1 - p_{17}) \quad (B.3)$$

Для того чтобы определить вероятность головного события, были определены вероятности исходных событий, значения которых представлены в таблице В.2.

Таблица В.2 – Вероятности наступления исходных событий

№ исходного события	p_i
1	0,0025
2	0,0036
3	0,0074
4	0,0003
5	0,0006
6	0,0012
7	0,0009
8	0,0011
9	0,0013
10	0,0008
11	0,0007
12	0,0017
13	0,0003
14	0,0005
15	0,0002
16	0,0006
17	0,0008

В свою очередь вероятность события «ЧС техногенного характера» можно посчитать следующим образом:

$$P_1^5 = P_1^4 \cdot p_{12} \quad (B.4)$$

p_{12} – несвоевременное техническое обслуживание оборудования и труб, а вероятность такого события, как «ЧС природного характера» рассчитывается по формуле В.4:

$$P_{\text{общ}} = 1 - (1 - p_{13}) \cdot (1 - p_{14}) \cdot (1 - p_{15}) \cdot (1 - p_{16}) \quad (\text{B.5})$$

где p_{13} – землетрясение; p_{14} – наводнение; p_{15} – оползень; p_{16} – пожар.

Вероятность наступления события «неисправность очистных систем» можно определить следующим образом:

$$P_1^4 = 1 - (1 - P_1^3) \cdot (1 - P_2^3) \quad (\text{B.6})$$

где вероятность события «неисправность очистных установок» определяется как:

$$P_1^3 = 1 - (1 - P_1^2) \cdot (1 - P_2^2) \cdot (1 - p_6) \cdot (1 - p_7) \quad (\text{B.7})$$

где p_6 – разгерметизация запорной арматуры у очистных установок;

p_7 – истекший срок службы очистных установок.

Вероятность события «нарушение целостности соединительных труб» можно посчитать таким образом:

$$P_2^3 = 1 - (1 - p_8) \cdot (1 - p_9) \cdot (1 - p_{10}) \cdot (1 - p_{11}) \quad (\text{B.8})$$

Вероятность наступления такого события как «перелив сточных вод» рассчитывается таким образом:

$$P_1^2 = P_1^1 \cdot p_3 \quad (\text{B.9})$$

где p_3 – неисправность датчика уровня, а вероятность наступления события «повышение давления в установках» рассчитывается следующим образом:

$$P_1^2 = p_1 \cdot p_2 \quad (\text{B.10})$$

где p_1 - неисправность средств контроля давления (манометра);

p_2 - неисправность средств автоматики.

Вероятность наступления такого события как «нарушение целостности стенок» у очистных установок можно определить следующим образом:

$$P_2^2 = 1 - (1 - p_4) \cdot (1 - p_5) \quad (\text{B.11})$$

где p_4 - коррозионный износ очистного оборудования;

p_5 - внешнее механическое повреждение аппаратов.

Произведем расчет вероятности наступления головного события разлива сточных вод на нефтеперерабатывающем заводе по приведенным выше формулам.

$$P_1^1 = 0,0025 \times 0,0036 = 0,000009$$

$$P_1^2 = 0,000009 \times 0,0074 = 0,00000007$$

$$P_2^2 = 1 - (1 - 0,0003) \times (1 - 0,0006) = 0,0009$$

$$\begin{aligned} P_1^3 &= 1 - (1 - 0,00000007) \times (1 - 0,0009) \times (1 - 0,012) \times (1 - 0,0009) \\ &= 0,0030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2^3 &= 1 - (1 - 0,0011) \times (1 - 0,0013) \times (1 - 0,008) \times (1 - 0,0007) \\ &= 0,0039 \end{aligned}$$

$$P_1^4 = 1 - (1 - 0,0030) \times (1 - 0,0039) = 0,0069$$

$$P_1^5 = 0,0069 \times 0,0017 = 0,000012$$

$$P_2^5 = 1 - (1 - 0,0003) \times (1 - 0,0005) \times (1 - 0,0002) \times (1 - 0,0006) \\ = 0,00016$$

$$P_{общ} = 1 - (1 - 0,000012) \times (1 - 0,00016) \times (1 - 0,0008) = 0,00024$$

То есть вероятность наступления головного события составляет 0,00024. Известно, что допустимый риск соответствует вероятности равной 10^{-6} . Из этого следует, что вероятность данной аварии высока и соответствует недопустимому риску.

Для того, чтобы снизить вероятность аварии, нужно снизить вероятности наступления исходных событий. В этом случае, чтобы снизить вероятность наступления аварийной ситуации, необходимо повлиять на те исходные события, которые имеют наибольшее значение, то есть это события под № 3, 2, 1, 12 и 9.

Исчисление размера вреда, причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе сточных вод и (или) дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод, производится по формуле В.12, тыс.руб:

$$Y = K_{ВГ} \cdot K_B \cdot K_{ИН} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{ИЗ}, \quad (В.12)$$

где $K_{ВГ}$ - коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, определяется в соответствии с таблицей В.3;

K_B - коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов), определяется в соответствии с таблицей В4;

$K_{ИН}$ - коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

H_i - таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты определяются в соответствии с таблицей 20, тыс. руб./т;

M_i - масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества определяется по каждому загрязняющему веществу, т.

Таблица В3 - Коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года ($K_{ВГ}$)

№ п/п	Месяцы	Коэффициент, $K_{ВГ}$
1	Декабрь, январь, февраль	1,15
2	Март, апрель, май	1,25
3	Июнь, июль, август	1,10
4	Сентябрь, октябрь, ноябрь	1,15

Таблица В4 - Коэффициент, учитывающий экологические факторы (K_B) (состояние водных объектов)

№ п/п	Наименование	Коэффициент, K_B
1	2	3
I.	Речные бассейны, бассейны озер, морей	
1.	Бассейн р. Невы	1,51
2.	Бассейн р. Неман	1,21
3.	Реки бассейнов Ладожского и Онежского озер, озера Ильмень и указанные озера	2,10
4.	Прочие реки бассейна Балтийского моря	1,18
5.	Бассейн р. Северной Двины	1,36
6.	Прочие реки бассейна Белого моря	1,16
7.	Бассейн р. Печоры	1,37

Окончание таблицы В4

1	2	3
8.	Прочие реки бассейна Баренцева моря	1,22
9.	Бассейн р. Волги	1,41
10.	Бассейн р. Терек	1,55
11.	Бассейн р. Урал	1,60
12.	Бассейны рр. Сулак, Самур	1,45
13.	Прочие реки бассейна Каспийского моря	1,39
14.	Бассейн р. Дон	1,29
15.	Бассейн р. Кубани	2,20
16.	Прочие реки бассейна Азовского моря	1,64
17.	Бассейн р. Днепр	1,33
18.	Прочие реки бассейна Черного моря	1,95
19.	Бассейн р. Оби	1,22
20.	Бассейн р. Енисей	1,36
21.	Прочие реки бассейна Карского моря	1,23
22.	Бассейн р. Лены	1,27
23.	Прочие реки бассейна моря Лаптевых	1,18
24.	Бассейн озера Байкал и озеро Байкал	2,80
25.	Реки бассейна Восточно-Сибирского моря	1,15

Таблица В5 - Таксы для исчисления размера вреда от сброса органических и неорганических вредных (загрязняющих) веществ в водные объекты (H_i)

№ п/п	Вещества с ПДК в интервале	H_i , тыс. руб./т
1	2	3
1.	Более 40 мг/дм ³	5
2.	5,0-39,9 мг/дм ³	10

Окончание таблицы В5

1	2	3
3.	2,0-4,9 мг/дм ³	170
4.	0,2-1,9 мг/дм ³	280
5.	0,06-0,19 мг/дм ³	510
6.	0,02-0,05 мг/дм ³	670
7.	0,006-0,019 мг/дм ³	4 350
8.	0,003-0,005 мг/дм ³	4 800
9.	0,001-0,002 мг/дм ³	12 100
10.	Менее 0,001-0,0007 мг/дм ³	240 100
11.	От 0,00008 мг/дм ³ и менее	2 960 000
12.	Взвешенные вещества	30

Масса сброшенного вредного (загрязняющего) вещества в составе сточных вод и (или) загрязненных дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод определяется по формуле С.2.

$$M_i = Q \cdot (C_{\phi i} - C_{дi}) \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad (\text{В.13})$$

где M_i - масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества, т;

i - загрязняющее вещество, по которому исчисляется размер вреда;

Q - расход сточных вод и (или) загрязненных дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод, с превышением содержания i -го вредного (загрязняющего) вещества определяется по приборам учета, а при их отсутствии - расчетным путем в соответствии с методами расчета объема сброса сточных вод и их характеристик, $\text{м}^3 / \text{час}$;

$C_{\phi i}$ - средняя фактическая за период сброса концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества в сточных водах и (или) загрязненных дренажных (в том

числе шахтных, рудничных) водах, определяемая по результатам анализов аккредитованной лаборатории как средняя арифметическая из общего количества результатов анализов (не менее 3-х) за период времени T , $мг / дм^3$;

$C_{ди}$ - допустимая концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества в пределах норматива допустимого (предельно допустимого) сброса или лимита сброса при его наличии на период проведения мероприятий по снижению сбросов вредных (загрязняющих) веществ в водные объекты, $мг / дм^3$;

Допустимая концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества в пределах норматива допустимого (предельно допустимого) сброса или лимита на сбросы при его наличии для организаций, осуществляющих водоотведение в соответствии с Федеральным законом "О водоснабжении и водоотведении", вносящих плату за негативное воздействие на окружающую среду, применяется с коэффициентом, равным 1,4 (кроме случаев аварийного и залпового сброса сточных вод).

В случае, если установлено, что фоновая концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества в воде водного объекта превышает допустимую концентрацию, для расчета применяется значение фоновой концентрации.

T - продолжительность сброса сточных вод и загрязненных вод с повышенным содержанием вредных (загрязняющих) веществ, определяемая с момента обнаружения сброса и до его прекращения, час;

10^{-6} - коэффициент перевода массы вредного (загрязняющего) вещества в т.

При отсутствии данных о фактическом расходе или объеме сброшенных сточных вод, а также невозможности использования расчетного метода в соответствии настоящей методикой, это количество может быть приравнено к расходу или объему воды, потребляемому организацией для целей питьевого и хозяйственно - бытового водоснабжения за период, равный периоду сброса сточных вод с превышением допустимых концентраций вредных (загрязняющих) ве-

ществ, которые установлены нормативом допустимого (предельно допустимого) сброса или лимитом сброса при его наличии.

Фактический объем сбрасываемых загрязненных дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод определяется по данным измерительной техники, работы насосно-силового и другого оборудования, объема сечения сбросных каналов, а при их отсутствии по данным документов, на основании которых возникает право пользования водными объектами.

В том случае, если произошел аварийный сброс сточных вод и (или) загрязненных дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод на водосборные площади (овраг, балка и т.д.), то масса сброса загрязняющих веществ определяется по их концентрации в месте поступления аварийного (залпового) сброса в водный объект.

Продолжительность сброса вредных (загрязняющих) веществ при нарушении водного законодательства, в том числе при аварийных сбросах, определяется с момента его обнаружения и до момента прекращения сброса.

В случае если водопользователь извещает контролирующие органы о сбросе сточных вод и (или) дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод с превышением допустимых концентраций вредных (загрязняющих) веществ, которые установлены нормативом допустимого (предельно допустимого) сброса или лимитом сброса при его наличии, то период продолжительности сброса определяется с момента извещения.

За момент прекращения сброса принимается дата его фактического прекращения, устанавливаемого органом исполнительной власти, осуществляющим федеральный и (или) региональный государственный контроль и надзор за использованием и охраной водных объектов, по результатам выполнения водопользователем предписания об устранении нарушений, связанных с превышением допустимых концентраций вредных (загрязняющих) веществ, которые установлены нормативом допустимого (предельно допустимого) сброса или лимитом сброса при его наличии, подтверждаемого результатами анализов качества сбрасываемых вод.

сываемых сточных вод и (или) дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод, а также при необходимости анализов качества вод водного объекта.

В случае, если водопользователь извещает контролирующие органы о прекращении сброса сточных, в том числе дренажных (шахтных, рудничных), вод с превышением показателей, устанавливаемых в нормативах допустимых сбросов абонентов, лимитах на сбросы, или в нормативах водоотведения (сброса) по составу сточных вод, за момент прекращения сброса принимается дата такого извещения при условии подтверждения результатами лабораторных исследований, проведенных организацией, аккредитованной в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации факта, прекращения сброса сточных, в том числе дренажных (шахтных, рудничных), вод с превышением данных показателей.

При повторном установлении факта нарушения в течение 5 рабочих дней с момента получения органом исполнительной власти, осуществляющим федеральный и (или) региональный государственный контроль и надзор за использованием и охраной водных объектов, информации о прекращении сброса и невыполнении нарушителем водного законодательства мероприятий по снижению концентраций вредных (загрязняющих) веществ в сбрасываемых сточных водах и (или) загрязненных дренажных (в том числе шахтных, рудничных) водах до установленных в первичном предписании, выданном органом исполнительной власти, осуществляющим федеральный и (или) региональный государственный контроль и надзор за использованием и охраной водных объектов, момент прекращения сброса устанавливается по данным лаборатории, привлеченной указанным органом исполнительной власти для проведения анализов качества сбрасываемых сточных вод и (или) дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод, а также при необходимости анализов качества вод водного объекта, или по данным отчета организации об устранении нарушений. При этом продолжительность сброса определяется с момента его первичного обнаружения.

При отсутствии документов, на основании которых возникает право пользования водными объектами для сброса сточных вод и (или) дренажных (в том

числе шахтных, рудничных) вод, разрешений на сброс вредных (загрязняющих) веществ в окружающую среду (водные объекты) при исчислении размера вреда масса вредных (загрязняющих), в которой концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества ($C_{дi}$) принимается равной фоновому показателю качества воды водного объекта.

При отсутствии количественного выражения указанного показателя в расчет принимается значение предельно допустимой концентрации вредного (загрязняющего) вещества в воде водного объекта в зависимости от установленного целевого использования водного объекта или его значения (назначения), а в случае одновременного использования водного объекта для различных целей или использования водного объекта, имеющего различные значения (назначения), принимаются наиболее жесткие нормы качества воды водного объекта из числа установленных.

Расчет для нефтепродуктов (до обработки)

Масса, т

$$M_i = 1,05 \cdot (34360 - 1,4) \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 144306,12 \cdot 10^{-6},$$

где $Q = 1,05 \text{ м}^3 / \text{час}$ ($Q = 25,2 \text{ м}^3 / \text{сут}$, формула А.80);

$$C_{фи} = 34360 \text{ мг} / \text{дм}^3 \text{ (таблица 5);}$$

$$C_{ди} = 1,4 \text{ мг} / \text{дм}^3;$$

$$T = 4 \text{ часов (} T = 14400 \text{ сек);}$$

Ущерб, тыс. руб./т

$$Y = 1,25 \cdot 1,36 \cdot 2,17 \cdot 280 \cdot 144306,12 \cdot 10^{-6} = 148,74,$$

где $K_{вг} = 1,25$ (таблица В.3);

$$K_B = 1,36 \text{ (таблица В.4, р.Енисей);}$$

$$K_{ин} = 2,17;$$

$$H_i = 280 \text{ тыс. руб./т. (таблица В.5);}$$

Расчет для нефтепродуктов (после обработки)

Масса, т.

$$M_i = 0,05 \cdot (17210 - 1,4) \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 3441,72 \cdot 10^{-6},$$

где $Q = 0,05 \text{ м}^3 / \text{час}$ ($Q = 1,1 \text{ м}^3 / \text{сут}$, формула А.125)

$$C_{\phi i} = 17210 \text{ мг} / \text{дм}^3 \text{ (таблица 11, } C_{\phi i} = 17,21 \text{ г} / \text{дм}^3 \text{);}$$

$$C_{\text{Ди}} = 1,4 \text{ мг} / \text{дм}^3 ;$$

$T = 4$ часа (продолжительность сброса $T = 14400$ сек).

Ущерб, тыс. руб.

$$Y = 1,25 \cdot 1,36 \cdot 2,17 \cdot 280 \cdot 3441,72 \cdot 10^{-6} = 3,55,$$

где $K_{вГ}$ - 1,25 (таблица В.3);

$$K_B = 1,36 \text{ (таблица В.4, р.Енисей);}$$

$$K_{ин} = 2,17;$$

$$H_i = 280 \text{ тыс. руб./т (таблица В.5).}$$


Таблица В.6 - Ущерб, наносимый водным объектам

ЗВ	С, мг / дм ³	М, т	Y, тыс. руб	Ставка платы за 1 тонну ЗВ на 2018г. рублей	Плата за сброс, руб.
Нефтепродукты	34360	$144306,12 \cdot 10^{-6}$	148,74	14711,7	11016,12
	17210	$3441,72 \cdot 10^{-6}$	3,55	14711,7	2295,5

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись Т. А. Кулагина

«17» июля 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение экологической безопасности отходов при размещении на шламоот-
вале промышленного предприятия

20.04.01 «Техносферная безопасность»

20.04.01.03 «Чрезвычайные ситуации в техносфере»

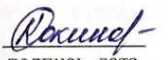
Научный руководитель


подпись, дата
15.07.2019 г.

доцент, к.т.н.

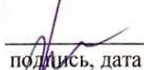
О. В. Чурбакова

Выпускник


подпись, дата
15.07.2019 г.

К. В. Докина

Рецензент


подпись, дата

доцент, к.т.н.

И.В. Варфоломев

Красноярск 2019