

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

Институт нефти и газа

Кафедра проектирования и эксплуатации газонефтепроводов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_/А. Н. Сокольников

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Деэмульгирование сточных вод магнитными наночастицами

Руководитель

канд. техн. наук, доцент В. И. Верещагин

Выпускник

М. О. Борисов

Красноярск 2021

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме:  
«Деэмульгирование сточных вод магнитными наночастицами»

Консультанты по  
разделам:

Экономическая часть

И. В. Шадрина

Безопасность жизнедеятельности

Е. В. Мусяченко

Нормоконтролер

О. Н. Петров

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) по теме «Деэмульгирование сточных вод магнитными наночастицами» содержит 67 страниц текстового документа, 39 использованных источника, 6 листов графического материала.

**МАГНИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ, СТОЧНЫЕ ВОДЫ, ОЧИСТКА, ВОДОНЕФТЯНАЯ ЭМУЛЬСИЯ.**

Объектом исследования выпускной квалификационной работы являются магнитные наночастицы для очистки сточных вод.

Цель ВКР: увеличение эффективности проведения процесса очистки сточных вод, за счет применения магнитных наночастиц.

Для решения данной цели необходимо решить следующие задачи.

1 Исследовать магнитные наночастицы полученные с помощью метода лазерной абляции, и доказать их преимущество по сравнению с другими сорбентами.

2 Разработать принципиальную схему установки для очистки сточных вод и провести описание процесса её работы.

3 Изобразить схему очистных сооружений с использованием предлагаемой установки.

В выпускной квалификационной работе проводится разработка нового вещества, позволяющего вывести степень очистки сточных вод на новый уровень и включает в себя: поиск наилучшего материала для синтеза наночастиц, получение наночастиц методом лазерной абляции, а также расчет и сравнение нефтеёмкости с другими популярными сорбентами.

В технологической части выпускной квалификационной работы представлена технологическая схема проведения очистки сточных вод на предприятии.

В разделе «Безопасность и экологичность» решены вопросы по обеспечению безопасности жизнедеятельности, пожарной и взрывопожарной

безопасности, предусмотрены мероприятия по охране труда, а также приведены правила по ликвидации отходов и устранению загрязняющих веществ.

В экономической части работы выполнен расчет затрат на синтез и апробацию наночастиц, рассчитан фонд оплаты труда лаборанта, расходы на электроэнергию, затраты на амортизацию, а также проведено сравнение стоимости наночастиц с другими сорбентами.

## СОДЕРЖАНИЕ

Реферат .....	3
Введение.....	7
Основная часть .....	9
1 Основные схемы очистки сточных вод.....	9
1.1 Химические методы очистки сточных вод.....	9
1.1.1 Нейтрализация.....	9
1.1.2 Флокуляция.....	10
1.2 Биохимические методы очистки сточных вод.....	11
1.2.1 Аэробный способ очистки.....	12
1.2.2 Анаэробный способ очистки.....	13
1.3 Физические методы очистки.....	14
1.3.1 Отстаивание .....	14
1.3.2 Флотация .....	16
1.3.3 Фильтрование .....	17
2 Характеристика действующих очистных сооружений .....	19
2.1 Устройства очистки ливневых, смывочных, подтоварных и паронагревательных сточных вод .....	20
2.1.1 Решетки .....	20
2.1.2 Песколовка.....	22
2.1.3 Тонкослойный отстойник.....	23
2.1.4 Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды .....	23
2.1.5 Фильтр с зернистой загрузкой .....	26
3 Деэмульгирование с помощью магнитных наночастиц.....	27
3.1 Общие сведения.....	27
3.2 Преимущества наночастиц перед другими сорбентами .....	28
3.3 Поиск оптимального размера наночастиц .....	32
3.4 Получение магнитных наночастиц.....	31
3.5 Экспериментальный расчет нефтеёмкости магнитных наночастиц.....	34

3.6 Принципиальная схема установки для очистки.....	36
3.7 Очистка эмульсии нефть-вода .....	37
4 Технологическая часть .....	39
5 Экономическая часть .....	40
5.1 Расчет капитальных вложений для проведения исследования .....	40
5.2 Расчет эксплуатационных затрат на проведение исследования .....	41
5.2.1 Расчет расходных материалов .....	41
5.2.2 Расчет затрат на текущий ремонт .....	42
5.2.3 Определение затраченного времени на проведение исследования .....	42
5.3 Расчет временных затрат на проведение и обработку результатов .....	44
5.4 Расчет эксплуатационных затрат.....	45
5.4.1 Расчет фонда оплаты труда лаборанта.....	45
5.4.2 Расчет налоговых отчислений и накладных расходов .....	47
5.4.3 Расчет затрат на электроэнергию .....	48
5.4.4 Расчет затрат на вспомогательные материалы и амортизацию .....	49
5.5 Экономическая целесообразность применения наночастиц .....	51
6 Безопасность и экологичность .....	53
6.1 Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при проведении работ .....	53
6.2 Инженерные и организационные решения по обеспечению безопасности работ .....	54
6.3 Санитарные требования к помещению и размещению используемого оборудования .....	55
6.4 Обеспечение безопасности технологического процесса .....	57
6.5 Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности .....	58
6.6 Обеспечение безопасности в аварийных и чрезвычайных ситуациях ....	59
6.7 Экологичность проекта.....	61
Заключение .....	62
Список использованных источников .....	63

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема техногенного загрязнения планеты становится все важнее в современном мире, в числе ведущих стоит загрязнение сточных вод продуктами нефтепереработки, так как потребности человека в нефти и ее производных увеличиваются с каждым днем.

Поскольку в наше время качественная вода является важным атрибутом жизни человека, перед нами стоит задача в разработке совершенно нового и эффективного метода очистки сточных вод. Ведь при попадании нефти и нефтепродуктов в почву есть шанс попадания и в грунтовые воды, а в дальнейшем и в наш питьевой стакан.

В данный момент развития технологий, нет такого устройства, позволяющего осуществлять очистку по скорости и эффективности сопоставимой с несколькими используемыми установками. Сейчас наиболее перспективной и многообещающей являются методы очистки с использованием магнитных наноконпонентов, многие развитые страны проводят разработки в данном направлении. Россия не должна отставать в темпе данных разработок, а быть первооткрывателем данных систем очистки.

К сожалению экологическая ситуация в мире не спешит улучшаться и штрафы за различные выбросы, повлекшие за собой вред экологии будут только расти, перед нефтегазовой отраслью встает проблема минимизации или исключения этих выбросов, а также разработке малозатратных и прогрессивных систем очистки.

Целью работы является увеличение эффективности проведения процесса очистки сточных вод за счет применения магнитных наночастиц.

Поставленная цель достигается выполнением следующего ряда задач.

1. Исследовать магнитные наночастицы полученные с помощью метода лазерной абляции, и доказать их преимущество по сравнению с другими сорбентами.

2. Разработать принципиальную схему установки для очистки сточных вод и провести описание процесса её работы.

3. Изобразить схему очистных сооружений с использованием предлагаемой установки.

Актуальность данной работы заключается в возможности создания метода очистки заметно превосходящего уже существующие. Данный метод позволит сэкономить время и ресурсы за счет исключения неэффективных очистных установок и заменой их предлагаемой



# ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

## 1 Основные методы очистки сточных вод

Для проведения очистки сточных вод от нефтепродуктов используются различные физические, химические и биохимические методы очистки. В химический способ очистки входят следующие методы: нейтрализация, флокуляция, коагуляция. В физический: фильтрование, отстаивание и центрифугирование. В биохимический: анаэробный и аэробный методы. Система очистки сточных вод на современных нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях состоит из совокупности всех этих методов, но даже не смотря на относительно высокую эффективность, необходимо проводить модернизацию данных систем.

### 1.1 Химические методы очистки сточных вод

Химическая очистка сточных вод возможна благодаря способности молекул веществ, загрязняющих воду взаимодействовать с различными химическими реагентами, образуя безопасные продукты.

Производя химические превращения, данный метод позволяет:

- обесцвечивать;
- извлекать примеси;
- дезинфицировать.

#### 1.1.1 Нейтрализация

Нейтрализация – это реакция, проходящая между ионами водорода сильных кислот и ионами гидроксила в основаниях. Данная реакция приводит к образованию молекул воды. Для нейтрализации загрязнений в сточных водах используют различные кислоты, кислые газы, которые содержат:  $N_2O$ ,  $CO_2$ ,

NO<sub>2</sub>. Процессы нейтрализации сточных вод происходят на нейтрализационной установке, изображенной на рисунке 1.

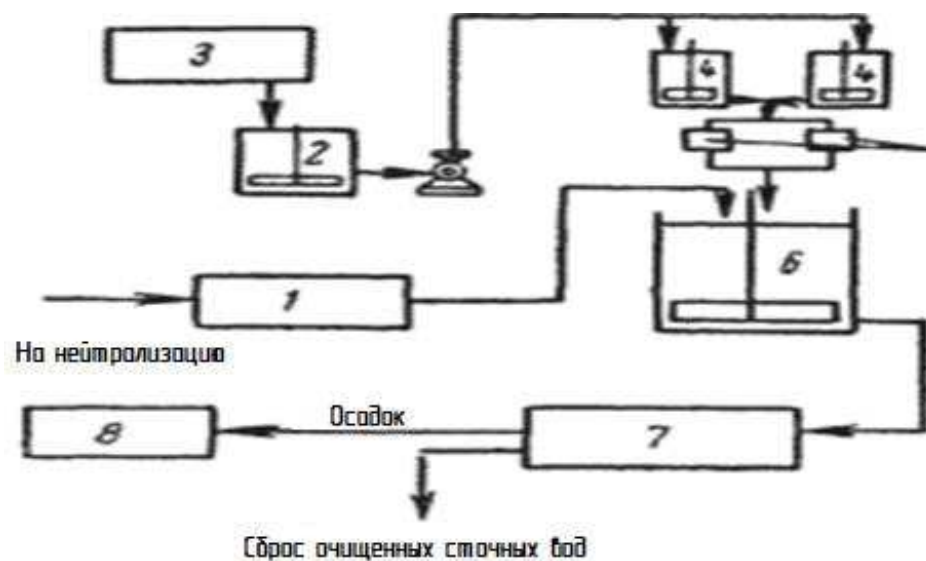


Рисунок 1 – Схема нейтрализационной установки: 1 – резервуары усреднители; 2 – аппараты гашения извести; 3 – склад негашёной извести; 4 – баки для растворения; 5 – дозаторы; 6 – нейтрализаторы; 7 – резервуары отстойники; 8 – установка обезвоживания

Для проведения нейтрализации, есть различные способы для применения, такие как: разбавление реагентами, пропускание через нейтрализаторы, перемешивание кислых и щелочных сточных вод. В процессе проведения нейтрализации допускается образование осадков. Для проведения нейтрализации сточных вод, могут использоваться щелочные реагенты, такие как: цемент, доломит, аммиачная вода [1].

### 1.1.2 Флокуляция

Флокуляция – это процесс разделения твердой и жидкой фаз. Во время флокуляции происходит образование так называемых флокул, оседание которых происходит благодаря наличию силы тяжести. Флокуляция происходит при добавлении в загрязнённые сточные воды флокулянтов,

благодаря которым происходит образование устойчивых механических связей между твердыми фазами, и их оседание вследствие этого процесса.

Принцип действия данного метода основан на присоединении растворенных молекул на поверхности твердых частиц, которые содержатся в сточной воде и образованием между ними устойчивой связи. После присоединения одних к другим начинается процесс их оседание, осевшие агломераты называют флокулами. Флокуляция происходит в несколько этапов, первым этапом является прикрепление каждой макромолекулы к одной коллоидной частицы. Во втором этапе происходит прикрепление свободных сегментов на поверхности макромолекул. Процесс флокуляции наглядно показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Процесс флокуляции

## 1.2 Биохимические методы очистки сточных вод

Биохимическая очистка возможна благодаря добавлению в загрязнённые сточные воды отдельных штаммов микроорганизмов, которые потребляют загрязнитель в процессе своей жизнедеятельности. В данный метод входят аэробный и анаэробный способы очистки.

Положительными сторонами являются: широкий спектр удаления органических, а также неорганических загрязнителей, низкие эксплуатационные затраты, высокий процент очистки.

Недостатками являются: высокие капитальные вложения на этапе строительства, время необходимое для проведения одного цикла очистки, необходимость строго соблюдать технологию и выдерживать температурный режим.

### **1.2.1 Аэробный способ очистки**

Данный способ основан на использовании аэробных штаммов микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходим кислород.

Аэробный процесс очистки включает в себя 3 этапа:

- проведение фильтрации от механических частиц;
- окисление органики, в процессе образуется активный ил, состоящий из колоний бактерий;
- проведение обеззараживания и переработки осадка.

Чтобы обеспечить доступ кислорода в сточные воды, имеются специальные перфорированные трубы [2]. В процессе своей жизнедеятельности бактерии помимо поедания нефтепродуктов выделяют тепло, чем повышают температуру всей системы. Для предотвращения гибели колоний бактерий вследствие повышения температуры, в биореакторах устанавливают датчики контроля микроклимата и систему контроля, которая поддерживает необходимую температуру. Процесс аэробной очистки происходит в биореакторе изображенном на рисунке 3.

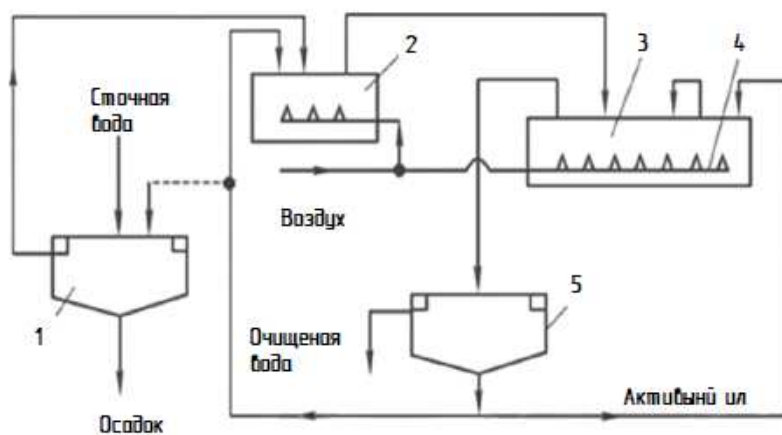


Рисунок 3 – Биореактор для аэробной очистки

### 1.2.2 Анаэробный способ очистки

Анаэробный процесс очистки протекает без доступа кислорода. Данный способ используют для обработки осадков. Анаэробная очистка состоит из 4 этапов:

- гидролиз, происходит разложение углеводов на воду и простые соединения;
- предварительное окисление, происходит выделения кислот и спиртов;
- завершение окисления;
- переработка полученных соединений бактериями, с выделением метана в атмосферу.

Все вышеперечисленные этапы тесно связаны друг с другом и при нарушении проведения одного этапа, становится невозможным проведение других. Жизнедеятельность данных бактерий не приводит к выделению энергии, и увеличению температуры, поэтому система контроля за температурой может не устанавливаться. Но возникает другая проблема, так как данные бактерии выделяют метан необходима установка датчиков контроля метана и строительство на ровной местности, которая продувается ветрами.

### **1.3 Физические методы очистки**

В качестве самостоятельного способа физические методы очистки сточных вод применяются в тех случаях, когда вода, очищенная таким методом пригодна для использования для нужд производственного процесса, либо может быть слита в водоем если нет шанса нанесения вреда его экологическому состоянию.

В остальных случаях физические методы служат для предварительной сточной очистки сточных вод [3].

Наиболее часто встречающимися на предприятиях являются следующие методы:

- отстаивание;
- флотация;
- фильтрация.

#### **1.3.1 Отстаивание**

Отстаивание основано на разности плотностей воды и нефтепродуктов, загрязняющих её, из-за чего становится возможным разделение воды и нефтепродукта на слои.

Частицы нефтепродуктов под действием сил поверхностного натяжения приобретают сферическую форму, и их размеры находятся в диапазоне от 2 до  $3 \cdot 10^2$  мкм. Величина, обратная размеру частицы, называется степенью дисперсности. Концентрация загрязняющих воду нефтепродуктов перед отстаиванием в среднем составляет около 100 мг/л.

Устройства, предназначенные для отстаивания, называются нефтеловушками (рисунок 4).

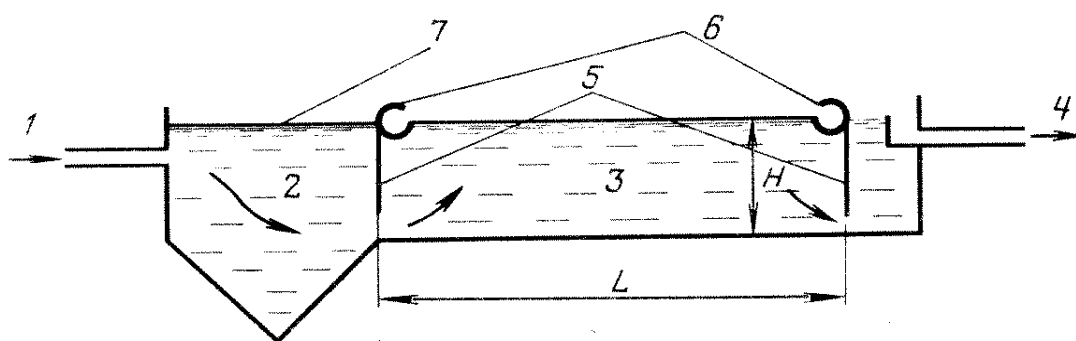


Рисунок 4 – Схема типовой нефтеловушки: 1 – вход сточных вод; 2 – камера приема; 3 – ёмкость отстаивания; 4 – выход очищенной воды; 5 – вертикальные полупогруженные перегородки; 6 – трубы сбора нефти; 7 – нефтепродукты, распределённые пленкой

Сначала вода попадает в камеру приема и, пройдя под перегородкой, попадает в ёмкость для отстаивания, в этой зоне начинается разделение нефти и воды. Очищенная вода, пройдя под второй перегородкой, выводится из нефтеловушки, а нефтепродукты образуют пленку на поверхности воды и удаляются специальным устройством. Для правильного выбора нефтеловушки необходимо учесть следующие факторы: поток воды не должен иметь турбулентный характер, во всех точках этого потока скорость воды должна быть равна друг другу.

Температура воды производит значительное влияние на скорость и эффективность работы устройства, так как увеличение температуры влечет за собой снижение вязкости воды и увеличивает скорость всплытия частиц. К примеру, если температура воды ниже 30 °С происходит осаждение твердых фракция нефтепродуктов, в диапазоне от 30 до 40 °С, частицы находятся во взвешенном состоянии, и только если температура больше 40 °С происходит их всплытие.

### 1.3.2 Флотация

Флотационный метод очистки основан на адсорбции пузырьками воздуха мелких частиц нефтепродуктов, с их последующим всплытием и сбором. При использовании данного метода скорость всплытия частиц нефти в 100...1000 раз превышает скорость их всплытия в обычных условиях.

Флотационный метод очистки сточных вод основан на присоединении пузырьков воздуха к частицам нефтепродуктов, с последующим их всплытием и сбором. Скорость всплытия нефтепродуктов при использовании данного метода очистки в 100...1000 раз превышает скорость всплытия частиц нефтепродуктов при обычном отстаивании. Именно по этой причине флотация является гораздо эффективнее отстаивания

Флотация бывает двух типов напорная и безнапорная. При напорной флотации выделяющийся воздух образует мелкие пузырьки, которые поднимают собой нефтепродукты, находящиеся в сточных водах. При безнапорной флотации эти пузырьки воздуха создаются искусственно, а именно с помощью специального устройства, помещенного в воду.

При напорной флотации (рисунок 5) воздух растворяется в воде под избыточным давлением до 0,5 МПа, для чего в трубопровод перед насосом подается воздух, а затем водовоздушная смесь в течение 8...10 мин выдерживается в специальной напорной емкости, откуда и подается во флотатор, где происходит сброс давления, образование пузырьков воздуха и собственно флотационный процесс разделения воды и примеси. При снижении давления на входе воды во флотатор воздух, растворенный в воде, выделяется практически мгновенно, образуя пузырьки.



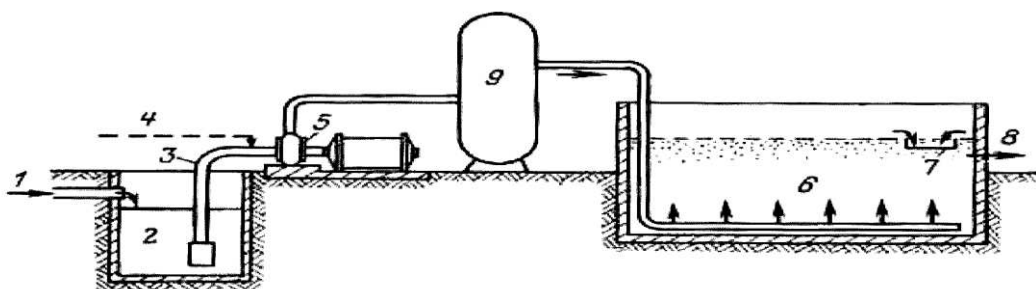


Рисунок 5 – Схема установки для напорной флотации: 1 – поступление воды; 2 – резервуар приема; 3 – всасывающая труба; 4 – воздухопровод; 5 – насос; 6 – флотатор; 7 – пеносборник; 8 – выход очищенной воды; 9 – напорная емкость

При безнапорной флотации (рисунок 6) образование пузырьков происходит за счет механических (насосом, эжектором) или электрических сил и во флотатор вводится готовая дисперсная система пузырьки – вода. Оптимальные размеры пузырьков равны 15...30 мкм. Скорость всплывания пузырьков такого размера с захваченными частицами нефти составляет в среднем 0,009м/с, что в 900 раз превышает скорость всплывания частицы нефти размером 1,5 мкм.

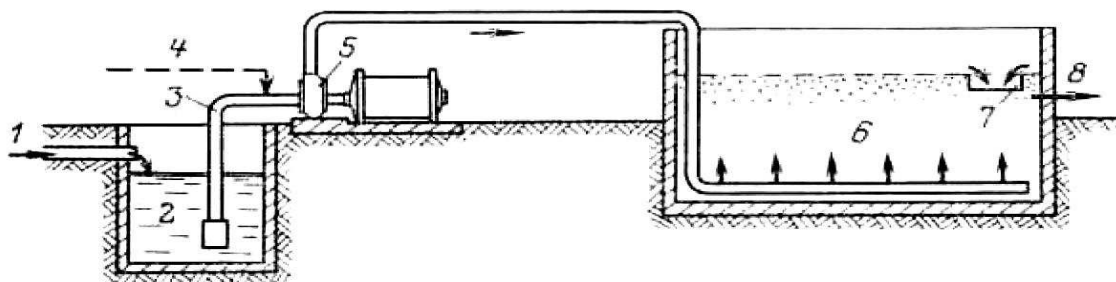


Рисунок 6 – Схема установки для безнапорной флотации: 1 – вход воды; 2 – приемный резервуар; 3 – всасывающая труба; 4 – воздухопровод; 5 – насос; 6 – флотационная камера; 7 – пеносборник; 8 – отвод очищенной воды

### 1.3.3 Фильтрация

Фильтрация загрязнённых нефтепродуктами сточных вод осуществляется на заключительной стадии очистки. Процесс фильтрации

происходит благодаря возможности прилипания эмульгированных частиц нефти к поверхности фильтрационного материала (рисунок 7). Концентрация нефтепродуктов перед фильтрами не высока и равняется  $10^{-4} \dots 10^{-6}$  в объёмных долях, так как перед фильтрованием сточные воды проходят предварительную очистку (флотацию, отстаивание) [3].

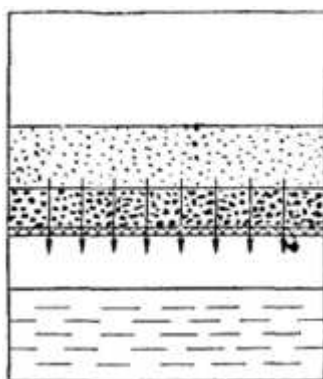


Рисунок 7 – Схема зернистого фильтра

При фильтровании сточных вод частицы нефтепродуктов выделяются из потока воды на поверхности зерен фильтрующего материала и заполняют наиболее узкие поровые каналы. При гидрофобной поверхности (не взаимодействующей с водой) частицы хорошо прилипают к зернам, при гидрофильной (взаимодействующей с водой) прилипание затруднено из-за наличия гидратной оболочки на поверхности зерен. Однако прилипающие частицы вытесняют гидратную оболочку и начиная с какого-то момента времени фильтрующий материал работает как гидрофобный.

## 2 Характеристика действующих очистных сооружений

На нефтехранилище имеется две системы очистных сооружений. Первая предназначена для очистки поверхностных (ливневых), смывочных с территории при аварийных разливах нефтепродуктов, подтоварных и паронагревательных сточных вод. Вторая система используется для очистки сточных вод от мойки автоцистерн и автомобилей [4].

Для очистки основной массы сточных вод на типовой нефтебазе предусмотрены очистные сооружения, принципиальная технологическая схема которых представлена на рисунке 8.

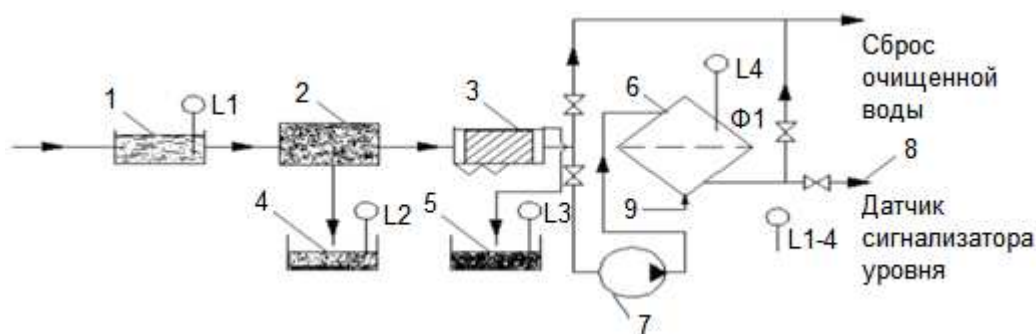


Рисунок 8 – Принципиальная технологическая схема основных очистных сооружений: 1 – накопительная емкость; 2 – песколовка; 3 – тонкослойный отстойник; 4 – шламосборник; 5 – нефтесборник; 6 – фильтр с зернистой загрузкой; 7 – дренажный насос; 8 – загрязненная вода; 9 – промывочная вода; L1, L2, L3, L4, L4-1 – датчики сигнализаторы уровня; Ф1 – фильтр

Сточные воды через систему ливневого стока по трубопроводам самотеком сбрасываются на очистные сооружения. Первой ступенью очистки являются решетки, проходя через которые сточные воды поступают в аккумулирующую емкость. Далее из аккумулирующей емкости самотеком вода попадает в песколовку, где происходит очистка от тяжелых примесей минерального происхождения. Шлам от песколовки направляется в специальный шламосборник, откуда передается на утилизацию специализированным организациям. Далее сточные воды из песколовки попадают самотеком в

секцию тонкослойного отстойника, блока глубокой очистки, где происходит очистка от неусловленных в песколовке крупных дисперсных частиц, тяжелых нефтяных фракций и всплывающих нефтепродуктов. С верхних слоев отстаивающейся воды всплывающие нефтепродукты удаляются с помощью устройства для сбора нефтепродуктов с поверхности воды В. М. Пивоварова, которое представляет собой плавающий корпус и частично погруженный в воду нефтепродуктосборный элемент с приводом и с горизонтальной осью вращения. При этом собранные нефтепродукты направляются в специальный сборник, который является местом временного хранения. Из сборника шлам нефтепродуктов передается на утилизацию специализированной организации по договору. Далее сточные воды направляются на доочистку на фильтр с зернистой загрузкой с помощью дренажного насоса [5].

## **2.1 Устройства очистки ливневых, смывочных, подтоварных и паронагревательных сточных вод.**

### **2.1.1 Решетки**

Для очистки сточных вод от крупноразмерных загрязнений в составе очистных сооружений предприятий используются решетки-сетки. При прохождении сточных вод через решетки крупные загрязняющие элементы задерживаются в прутьях, расположенных с зазором около 1,5 см, мусор, оставшийся на решетке, помогает удерживать дополнительный мусор более мелких размеров. Далее загрязненная вода проходит через сетку в которой остается более мелкий мусор, который проник через решетки. Удаление пойманного осадка в решетках и сетках происходит вручную [6]. Максимальная производительность данных очистных сооружений равна 20 м<sup>3</sup>/час.

Принципиальная схема решетки-сетки изображена на рисунке 9. По данным предприятий средняя концентрация загрязняющих частиц в сточных

водах на входе в сетки решетки составляет 2950 мг/л. После прохождения данного очистного сооружения 2450 мг/л. Концентрация нефтепродуктов составляет 1950 мг/л, после прохождения сетки 1900 мг/л.

Все решетки-сетки, установленные на территории предприятия соединяются с общим трубопроводом, который в свою очередь соединен с другими установками очистки.

На предприятиях находятся несколько решеток-сеток расположенных в специальных углублениях. Решетки-сетки соединены с ливневыми трубопроводами, которые ведут к очистным сооружениям.

Так как очистка решеток-сеток происходит вручную, то места для поднятия решеток обозначаются выемками для удобного открытия, после чего необходимо достать сетку и провести сбор уловленного данной очистной системой загрязнения и отправить на утилизацию.

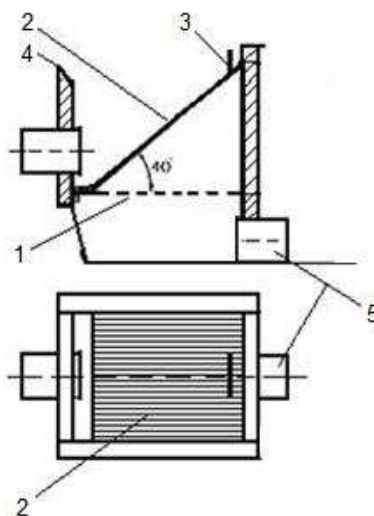


Рисунок 9 – Решетка-сетка: 1 – сетка; 2 – решетка; 3 – ручка для подъема решетки; 4 – приямок для стекания воды; 5 – канализационный трубопровод

## 2.1.2 Песколовка

Песколовки на территории предприятий используются для удаления нерастворимых механических соединений [7]. Песколовка состоит из железобетонного каркаса имеющего прямоугольную форму. В состав песколовки входят осадочная и проточная части, через которые прямолинейно движется вода (рисунок 10).

Песколовки используют для сбора из сточных твердых механических веществ имеющих размер от 0,15 до 0,30 мм.

При движении через песколовку происходит удержание твердых механических веществ, нефти и нефтепродуктов, а также оседание тяжелых фракций. Значения твердых механических веществ на входе в песколовку равны 2450 мг/л, после песколовки 650 мг/л, а нефти и нефтепродуктов 1850 и 800 мг/л. соответственно.

Так как конструкция песколовки является устаревшей, то удаление всех оставшихся тяжелых фракций и твердых механических веществ осуществляется вручную в конце смены

При работе песколовки образуется шлам, который попадает в ёмкость для шлама объемом 1000 л., при заполнении данной ёмкости шлам должен сдаваться на переработку.

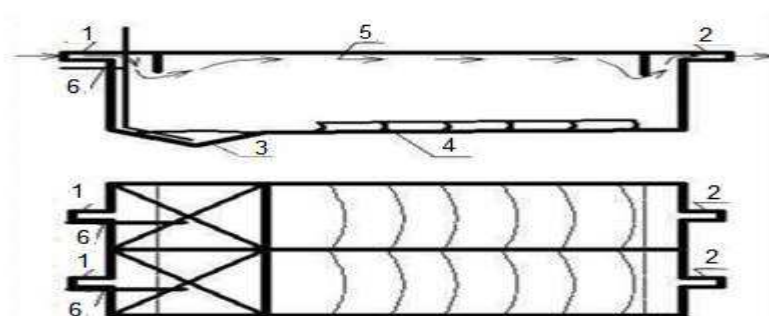


Рисунок 10 – Схема устройства горизонтальной песколовки: 1 – подводящий трубопровод; 2 – отводящий трубопровод; 3 – накопитель осадка; 4 – скребки; 5 – направление потока сточных вод; 6 – трубопровод удаления осадка

### 2.1.3 Тонкослойный отстойник

Для очистки сточных вод от нефтепродуктов и нефти которые всплывают на поверхность, а также доочистке на предприятиях используется тонкослойный отстойник. Тонкослойный отстойник работает по перекрестной схеме, и является модернизированной версией устройства для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды. Сначала сточная вода попадает в зону приема, после чего движется в тонкослойный модуль, где происходит осаждение крупных хлопьев с захватом более мелких [8].

Из-за процесса осаждения, образуется уплотненный осадок, удаление которого происходит водяным напором. Загрязняющие вещества, которое не осели в виде хлопьев собираются с помощью нефтесборщика.

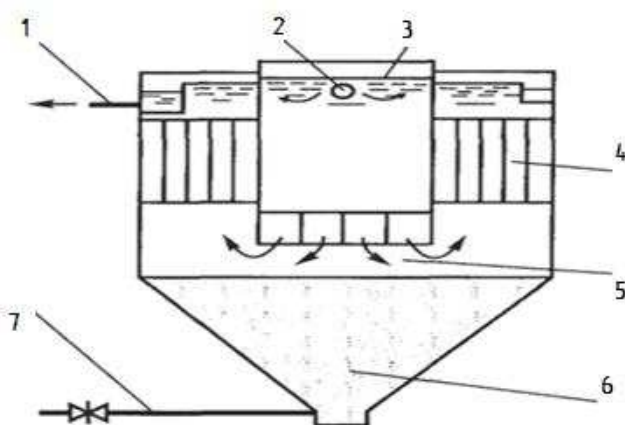


Рисунок 11 – Устройство тонкослойного отстойника: 1 – отвод осветленной воды; 2 – подача исходной воды; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – наклонные тонкослойные блоки; 5 – зона распределения воды; 6 – зона накопления осадка; 7 – удаление осадка

### 2.1.4 Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды

Устройство, предназначенное для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды или нефтесборщик может использоваться в зависимости от его конструкции для сбора различных веществ таких как: мазут керосин

бензин, нефть. Нефтесборщик располагается на поверхности воды и при его работе образуется воронка, которая собирает разлитую нефть и нефтепродукты с поверхности воды подавая через специальные шланги в ёмкость, отведенную для сбора.

В состав устройства для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды входят, изображенного на рисунке 12: цилиндрический нефтепродуктосборный барабан 1 с приводом, который задает направление вращения, эластичные лопасти 2. Корпус 3, рамной конструкции с заданной плавучестью и образующий с указанным барабаном 1 нефтепроводной канал 4, для изменения длины которого предусмотрена телескопическая вставка 5,двигающейся по своим направлениям. Кювета 6, замкнутая по периметру, образуется из стенок рамы, имеет дно с уклоном в сторону патрубка 7 с внутренней резьбой. В кювете 6 находится датчик 8, помещенный в герметичную емкость, которая установлена так чтобы иметь возможность перемещения по направлению 9. Датчик 8 имеет на конусообразном дне патрубок 10 с наружной резьбой, соосный патрубок 7, а в верхней части шток 11. Система удерживается на поверхности воды благодаря понтону 12, обрамляющего корпус 3. Устройству для сбора нефти и нефтепродуктов задается центровка и погруженность таким образом, чтобы барабан 1 был в жидкости равномерно, приблизительно на высоту эластичных лопастей 2.

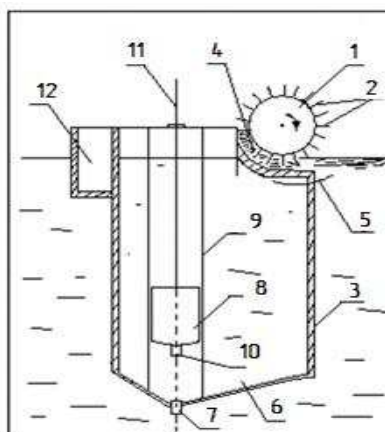


Рисунок 12 – Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды (в разрезе)



Устройство работает следующим образом.

При вращении барабана 1 с лопастями 2 в направлении, указанном стрелкой, нефтепродукты с поверхности воды дискретно захватываются лопастями 2, и продвигаются по нефтепроводному каналу 4 в кювету 6, образованную корпусом 3. Если толщина слоя на поверхности воды равна или более высоты эластичной лопасти 2, то телескопическая вставка 5 задвинута в корпус по направляющим и устройство работает с максимальной производительностью по нефтепродуктам, которая может регулироваться скоростью вращения барабана, и не зависит от свойств нефтепродуктов.

Если же толщина слоя нефтепродуктов незначительна, то выдвигается телескопическая вставка 5 на такую величину, чтобы глубина жидкости над порогом, образованным крайней кромкой выдвигаемой вставки, была соизмерима с толщиной всплывшего нефтепродукта. Нефтепродукты переливаются через кромку водослива без воды или при ее минимуме в нефтепроводный канал 4 и далее также дискретно лопастями подаются в кювету 6. Поступившие в кювету 6 вместе с водой нефтепродукты обезвоживаются посредством вибрации корпуса 3 и всего оборудования на нем, т.к. именно на корпусе располагается двигатель, приводящий барабан 1 в действие, вытесняют воду из кюветы и заполняют ее до определенного уровня, отслеживаемого датчиком 8. Герметичный датчик 8, установленный с возможностью перемещения по направляющим 9, имеющий на конусообразном дне патрубков 10 с наружной резьбой, выполнен по плавучести таким образом, что когда в кювете 6 находится вода, то архимедова сила способна поднять датчик 8 вверх.

При наполнении кюветы 6 нефтепродуктами, плотность которых меньше, а значит и архимедова сила меньше, датчик 8 либо опустится вниз, либо будет занимать какое-нибудь промежуточное положение, зависящее от количества нефтепродуктов в емкости 6. Визуально количество нефтепродуктов в кювете 6 можно отследить по штоку 11. При наполнении кюветы 6 нефтепродуктами, посредством штока 11 патрубков 10 с внешней резьбой вкручивают в соосный

патрубок 7 с внутренней резьбой, расположенный в дне кюветы 6. Дно кюветы 6 имеет уклон в сторону своего патрубка для удаления всей воды из нее. По завершении процесса соединения патрубков все устройство может выниматься из отстойника и кювету 6 опорожняют в нефтешламосборник, затем устройство возвращают в отстойник, рассоединят патрубки и процесс повторяется.

### 2.1.5 Фильтр с зернистой загрузкой

Конечную стадию очистки сточных вод на предприятии представляет собой фильтры с зернистой загрузкой, изображен на рисунке 13, на который, с помощью насоса подается вода.

Использование данного фильтра помогает удалить остатки мелких механических частей, остатков нефти и нефтепродуктов и др. органических соединений. Сначала вода с помощью насоса и специального устройства попадает на фильтр с песчано-гравийным наполнением.

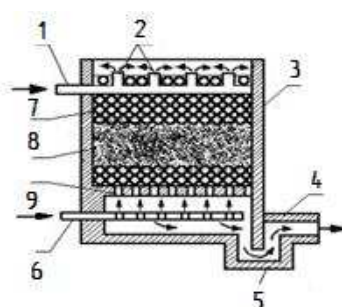


Рисунок 13 – Фильтр с зернистой загрузкой: 1 – патрубок для подачи сточной воды; 2 – распределительное устройство; 3 – корпус фильтра; 4 – патрубок для отвода очищенной воды; 5 – приямок; 6 – устройство для подачи промывочной воды; 7 – гравийная загрузка; 8 – песок; 9 – опорная металлическая решетка

Промывка и очистка фильтра осуществляется при помощи горячей воды, подающейся под напором. Очистку таких фильтров обычно проводят около 4 раз.

### 3 Деэмульгирование с помощью магнитных наночастиц

#### 3.1 Общие сведения

Нефть, загрязняющая воду, представляет собой эмульсию вида нефть в воде. Очистка магнитными наночастицами возможна благодаря электростатическому притяжению, так как водонефтяные эмульсии имеют отрицательный заряд, а магнитные наночастицы – положительный. Следовательно, магнитные наночастицы прилипают к эмульсии и этим обуславливается возможность управления ей с помощью внешнего магнитного поля. Важно, чтобы сила приложенного магнитного поля была больше чем, силы сопротивления среды и силы тяжести. Основное преимущество магнитных наночастиц для разделения водонефтяной эмульсии, это быстрая реакция на приложенное магнитное поле и уверенное движение в сторону излучателя.

В качестве активного компонента были выбраны наночастицы оксида железа, так как они очень просты в получении и обладают всем необходимым набором свойств, обеспечивающим их функциональность. Преимуществом оксидов железа перед непосредственно наночастицами самого железа является то, что оксид железа проявляет суперпарамагнитные свойства при комнатной температуре, так же является более устойчивым к окислению, что положительно сказывается на магнитных характеристиках в течение долгого времени.

Для создания магнитной жидкости наиболее подходящим является магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), его преимущество перед другими стабильными оксидами железа (например, маггемитом ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )) заключается в его более высоких магнитных характеристиках. Так же в составе магнитных наночастиц для суспензии могут быть использованы и частицы другого состава (например, на основе Co или Ni), но это будет зависеть от типа загрязнения и вещества, являющегося загрязнителем воды. Для улучшения способа очистки могут быть

использованы различные поверхностно-активные вещества, которые будут препятствовать агломерации наночастиц и не дадут им осесть на дно сосуда. Покрытие наночастиц железа различными полимерными молекулами, имеющими положительный заряд может во много раз улучшить процесс очистки, состав этих полимерных молекул может изменяться от вида загрязнителя и этим обуславливается универсальность метода очистки с помощью магнитных наночастиц.

### **3.2 Преимущества наночастиц перед другими сорбентами**

Существующие виды сорбентов можно разделить на несколько групп. К первой группе относятся сорбенты, в производстве которых в качестве исходных материалов используются растительное и природное сырье, такие как: отходы переработки древесины (трав), различная шелуха либо скорлупа, опавшие с деревьев листья, торф. А также природные материалы такие как: опоки, цеолит, диатомит. К этой группе относится использующийся на Ванкорском месторождении «Peat Sorb» (Канада), а также «Унисорб» (Красноярск), «Эколан» (Краснодар). Сорбционная емкость сорбентов, относящихся к первой группе колеблется в районе 5...12 г нефти на 1 г сорбента. Плотность данной группы сорбентов составляет около 100 кг/м<sup>3</sup>. Данная группа нефтяных сорбентов представляет собой устаревшую технологию, в качестве производства которых используется в основном торф, места добычи которого не подлежат рекультивации. Цена на сорбенты данного типа находится в районе 400 рублей за 1 кг, после применения подлежат утилизации.

Ко второй группе относятся биосорбенты. Биологические сорбенты представляют собой сорбенты, иммобилизированные культурами микроорганизмов, обеспечивающих разложение нефти и нефтепродуктов. В качестве таких сорбентов применяются как естественные (гидрофобизированный силикагель, иммобилизированный культурой *Candida*

Intermedia, микроорганизмы активного ила), так и искусственные (различные расплавы полимеров с применением активированного угля). К данной группе относится, например, «Деворойл» (Москва). Количество применяемого биосорбента которое необходимо для проведения биодеструкции зависит от региона, показателей химического состава грунта, климатических условий и многих других факторов. Главным недостатком биосорбентов является привязанность к температурному режиму, в котором допустимо их применение. Также для каждой аварии и разлива необходим свой штамм бактерий. Поэтому эффективная биодеструкция возможна лишь в условиях строгого соблюдения температурного режима и предварительного анализа загрязняющего продукта, что осуществить на территории нашей страны практически не представляется возможным. Кроме этого, для проведения биодеструкции необходимо определенное время, которого нет, когда происходит авария со значительным выбросом нефтепродуктов.

К третьей группе можно отнести синтетические сорбенты нового поколения. Таким сорбентом является смесь полимерных волокон в виде нетканого материала «Мегасорб» (Россия). Данная группа сорбентов является наиболее совершенной по сравнению с ранее перечисленными группами. Положительными сторонами данной группы являются: неприхотливость к климатическим условиям, возможность повторного использования, большая нефтеёмкость, возможность использования в качестве фильтров в очистных установках. Но несмотря на всю технологичность данной группы сорбентов, они также обладают и отрицательными сторонами. К примеру, несмотря на способность эффективно проводить абсорбцию нефти, сорбенты данной группы также поглощают и воду, что влечет за собой применения еще одного технологического процесса – очистке нефти от воды.

На данный момент на производствах нашей страны используются различные сорбенты искусственного или естественного происхождения относящиеся к первой группе нефтяных сорбентов. Их недостаток заключается в том, что они хоть и эффективно поглощают нефть и нефтепродукты, но

делают это в основном с поверхности игнорируя образовавшиеся лиганды нефти и воды. Также данные сорбенты не имеют возможность повторного использования, что влечет собой увеличение расходов на их утилизацию.

Сорбенты, состоящие из наночастиц покрытые различными поверхностно активными веществами можно вывести в отдельную группу, так как они обладают всеми положительными качествами всех трех ранее перечисленных групп, но исключают их недостатки. Отличительной чертой применения магнитных наночастиц является их способность удаления молекул нефти находящихся между молекулами воды, а также возможность многократного использования после промывки. Даже после ухудшения качества очистки, что свидетельствует об истощении поверхностного покрытия наночастиц, имеется возможность провести их повторное покрытие и сократить расходы на приобретение новых.

### **3.3 Поиск оптимального размера наночастиц**

В работе [10] было теоретически показано, что у частиц диаметром меньше 6 нм, магнитный момент становится невелик, а наночастица слабо реагирует на внешнее неоднородное магнитное поле, поэтому такие частицы не представляют дальнейшего интереса для изучения. Максимально эффективный состав суспензии достигается с использованием наночастиц с размером, варьирующимся в диапазоне 6...24 нм, при котором они не коагулируют и как следствие будут подходить для многократного использования. Тепловое равновесия достигается практически мгновенно у наночастиц диаметром до 24 нм (таблица 1.), следовательно, они демонстрируют суперпарамагнитные свойства, поэтому наиболее подходящий размер наночастиц для магнетита варьируется в диапазоне 6...24 нм.

Таблица 1 – Зависимость времени релаксации от размера наночастицы [10]

Размер наночастицы (нм)	23	24	25	26	27
Время релаксации (с)	0,0054	0,0509	0,5850	8,3149	46,116

### 3.4 Получение магнитных наночастиц

Существует множество методик получения наночастиц, но все они имеют определенные недостатки. Для отработки методики очистки суспензии нефть-вода было решено воспользоваться методом лазерной абляции, позволяющим легко варьировать как размер получаемых наночастиц, так и легко осуществлять стабилизацию полученных наночастиц различными лигандами [8]. При этом, физические свойства наночастиц очень сильно меняются в зависимости от метода их получения и использованного лигандного покрытия, предотвращающего агломерацию наночастиц в коллоидном растворе. Именно поэтому наночастицы полученные различными методиками нуждаются в доскональном изучении и паспортизации [9].

В данной работе магнитные наночастицы получались методом лазерной абляции, при облучении объёмного образца лазером Nd:YAG при  $\lambda=1064$  нм, с дальнейшей стабилизацией поверхности наночастиц различным полимерным покрытием. В данной работе исследовались два образца наночастиц Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> с различным полимерным покрытием полученные при облучении объёмного образца лазером Nd:YAG при  $\lambda=1064$  нм. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исследуемые образцы

№ образца	г/л	V, мл	Растворитель
Образец 1	0,2	50	H <sub>2</sub> O+ПВП (MW=35000) 0,5 масс. %
Образец 2	0,2	50	H <sub>2</sub> O+NH <sub>2</sub> (MW=35000) 0,5 масс. %

На рисунках 14-15 представлены снимки с просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) Joel 2000. На основе полученных снимков ПЭМ были измерены поперечные размеры наночастиц, и составлена гистограмма распределения частиц по размерам

Образец 1 – коллоидный раствор, содержащий наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , изображены на рисунке 14, полученный при облучении объёмного образца лазером Nd:YAG при  $\lambda=1064$  нм. Растворитель:  $\text{H}_2\text{O}+\text{ПВП}$  ( $\text{MW}=35000$ ) 0,5 масс. %. Содержание в веществе: 0,2 г/л в объёме  $V=50$  мл.

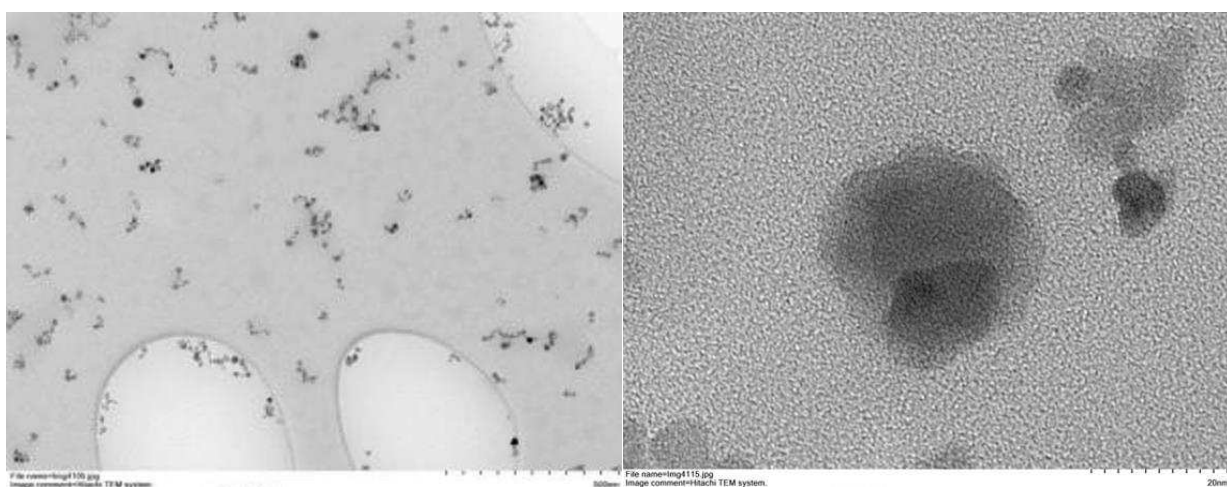


Рисунок 14 – Снимок образца 1 при увеличении 10x (а) и 100x (б)

Образец 2 – коллоидный раствор наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , изображены на рисунке 15, полученный при облучении лазером Nd:YAG при  $\lambda=1064$  нм. Растворитель:  $\text{H}_2\text{O}+\text{ПВП}$  ( $\text{MW}=35000$ ) 0,5 масс. % Содержание в веществе: 0,2 г/л в объёме  $V=50$  мл.



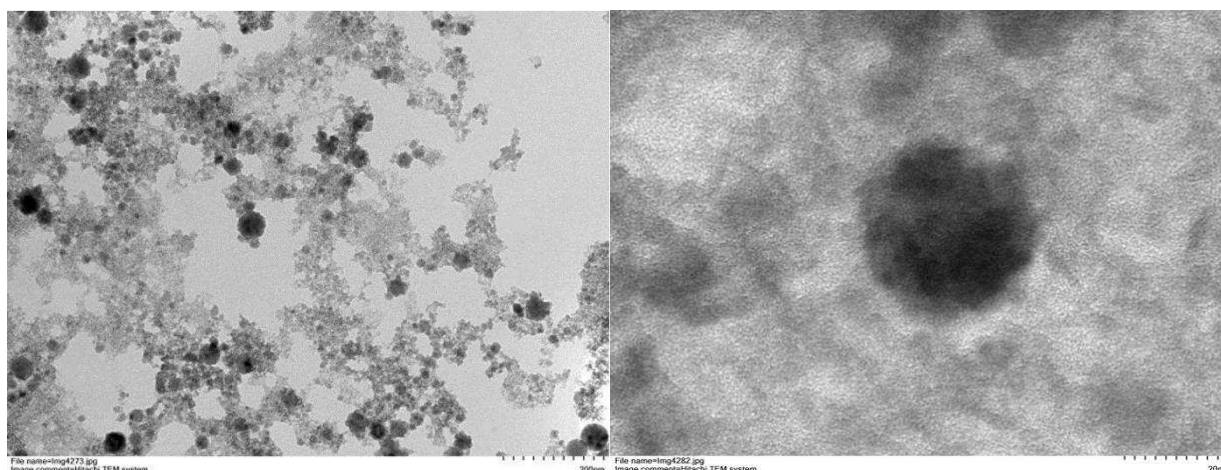


Рисунок 15 – Снимок образца 2 при увеличении 10х (а) и 100х (б)

На основе полученных снимков ПЭМ были измерены поперечные размеры наночастиц (таблица 3, плакат 2).

Сравнение снимков показало, что метод лазерной абляции позволяет получать коллоидные растворы наночастиц магнетита с довольно широким распределением по размерам. Стабилизация поверхности наночастиц поливинилпирролидона (ПВП) приводит к образованию наночастиц меньшего размера по сравнению с другими образцами, в то время как покрытие наночастиц  $\text{NH}_2$  структурами дает им больший магнитный отклик.

Таблица 3 – Характеристики образцов

№ образца	г/л	V, мл	Растворитель	$r'$ , нм	$\Gamma_{\max}$ , нм	$\Gamma_{\min}$ , нм	
Образец 1	0,2	50	$\text{H}_2\text{O} + \text{ПВП}$ (MW=35000) масс. %	0,5	20-25	$46,7 \pm 0,3$	$11,0 \pm 0,3$
Образец 2	0,2	50	$\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_2$ (MW=35000) масс. %	0,5	20-40	$100,0 \pm 0,3$	$14,0 \pm 0,3$

Можно заметить, что метод лазерной абляции позволяет получать наночастицы с широким распределением по размерам [10]. Поэтому кроме среднего размера так же необходимо оценить и распределение наночастиц по размерам. Такой анализ необходим для того, чтобы оценить какой диапазон размеров наночастиц преобладает в коллоиде и, соответственно, давать

преимущественный магнитный вклад. Путем проведения экспериментов было выяснено, что самой большой намагниченностью насыщения, среди всех исследуемых, обладают частицы  $Fe_3O_4$ . При проведении обжига при температуре 200 °С, также выяснилось, что данные наночастицы прекрасно попадают в необходимый промежуток для проявления суперпарамагнитных свойств.

### 3.5 Экспериментальный расчет нефтеёмкости магнитных наночастиц

Для определения нефтеёмкости магнитных наночастиц была использована методика подвешивания удерживающего материала с помещенными внутрь него наночастицами. Суть эксперимента заключается в том, что берется синтетический материал «Спанбонд», данный материал был выбран с учетом того что наночастицы представляют собой мелкодисперсный порошок, который сложно удержать другими материалами.

Для чистоты эксперимента сначала был проведен опыт по измерению нефтеёмкости самого материала «Спанбонд», его нефтеёмкость находится в районе 5г/г. Далее на данный материал были помещены наночастицы массой 1г после чего полностью опущены в емкость с нефтью и оставлены на 10 минут, при температуре в помещении 20 °С. По истечении данного времени спанбонд был подвешен на электронные весы, до установления постоянного веса. Нефтеёмкость (НЕ) определялась по следующей формуле

$$HE = \frac{m_1 - (m_2 + m_3)}{m_3} \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса спанбонда и наночастиц с адсорбированной нефтью, г;

$m_2$  – масса спанбонда с адсорбированной нефтью, г;

$m_3$  – масса сорбента, г.

$$HE = \frac{28,8 - (10 + 1)}{1} = 17,8, \text{ г.}$$

Сравним нефтеёмкость наночастиц с нефтеёмкостью других сорбентов, наглядно показанных в работе [11], таблица 4, плакат 5.

Таблица 4 – Характеристики других нефтяных сорбентов

Материал	Нефтепоглощение г/г	Водопоглощение г/г	Степень отжима нефти, %
Природные органические материалы			
Солома пшеничная	4,1	4,3	36
Камышовая сечка	6,1	4,6	31
Шелуха гречихи	3,0...3,5	2,2	44
Кора осины	0,3...0,5	0,8	25,0
Древесные опилки	1,7	4,3	10,0...20,0
Лигнин гидролизный	1,5-3,0	4,1	25,0
Отходы ватного производства	8,3	0,2	60,0
Торф	17,7	24,3	74,0
Мох сухой	3,5...5,8	3,1...3,5	0,0
Шерсть	8,0...10,0	4,5	87,0
Уголь бурый измельченный	1,0...2,0	0,2	10,0...81,0
Синтетические органические материалы			
Пенополистирол	9,3	4,5	0,0
Полипропилен	1,6	0,8	0,0
Шины измельченные	3,6	7,2	55,0
Каучуковая крошка	5,1	0,3	0,0
Смола формальдегидная	23,3	0,1	0,0
Фенолформальдегидная смола	4,4	14,5	0,0
Поролон	14,5...35,2	1,3...25,9	75,0...82,0
Синтепон	46,3	42,0-52,0	94,0

### Продолжение таблицы 4

Материал	Нефтепоглощение г/г	Водопоглощение г/г	Степень отжима нефти, %
Лавсан	4,7...14,1	4,3...13,9	60,0...82,0
Неорганические материалы			
Вспененный никель	2,9	3,0	0,0
Стекловолокно	5,4	1,7	60,0
Графит модифицированный	40,0...60,0	0,5...10,0	10,0...65,0
Перлит	5,7...7,0	0,5	0,0

Как можно заметить нефтепоглощение наночастиц превосходит многие сорбенты из этого списка, но их главным преимуществом является 100% степень отжима, так как разрушение связей между нефтью и наночастицами проводится с помощью промывки этанолом из-за чего наночастицы полностью очищаются.

### 3.6 Принципиальная схема установки для очистки

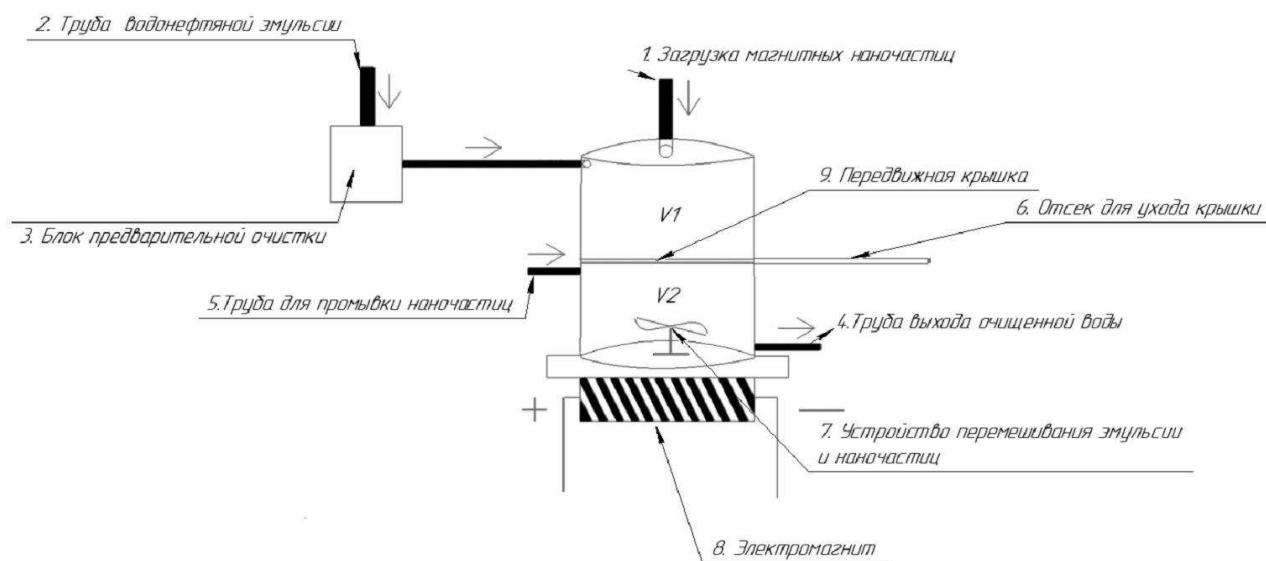


Рисунок 16 – Схема очистной установки

Данная установка, изображенная на рисунке 16, позволит производить очистку водонефтяной эмульсии постоянно, не останавливая и не перекрывая поток эмульсии. Водонефтяная эмульсия при прохождении через блок предварительной очистки 3 очищается от различных механических примесей. При поступлении эмульсии в объем V1 начинается загрузка магнитных наночастиц которые перемешиваются благодаря потоку эмульсии. При заполнении 95% объема V1 крышка 9 приходит в движение. Под действием силы тяжести весь объем эмульсии с помещенными в нее магнитными наночастицами еще раз перемешивается благодаря движению потока в объем V2. Далее крышка плотно закрывается и приходит в движение устройство 7, домешивая наночастицы в эмульсии. Следом включается электромагнит 8, который притягивает наночастицы к которым уже прикрепились частицы нефти. Открывается электрозадвижка на трубе 4 куда уходит очищенная вода, после чего задвижка закрывается. Далее через трубу 5 поступает этанол для разрушения связей между наночастицами и нефтью, отключается электромагнит 8 и приходит в движение смеситель 7. После разрушения связей снова включается электромагнит 8 притягивая к себе наночастицы без нефти, после открывается дренажная линия куда уходит нефть и этанол. После всех этих действий процесс повторяется.

При исчерпании срока службы наночастиц либо потери ими большего количества покрытия на стадии промывки электромагнит не включается. Наночастицы вместе с этанолом и нефтью уходят в дренажную линию.

### **3.7 Очистка эмульсии нефть-вода**

Очистка водонефтяной эмульсии проходила с добавлением 0,008 г наночастиц на мл. эмульсии, с добавлением 3 % масс. нефти и перемешиванием в ультразвуковой ванне в течение 1 часа, после чего пробирка ставилась на постоянный неодимовый магнит на 1 мин, до возникновения устойчивого осаждения частиц. Далее очищенная вода сливалась и проводился анализ на

наличие остаточной концентрации нефти с помощью спектрофотометра. Схема экспериментального процесса очистки со снимком наночастицы с адсорбированными каплями нефти представлена на рисунке 17 и плакате 1.

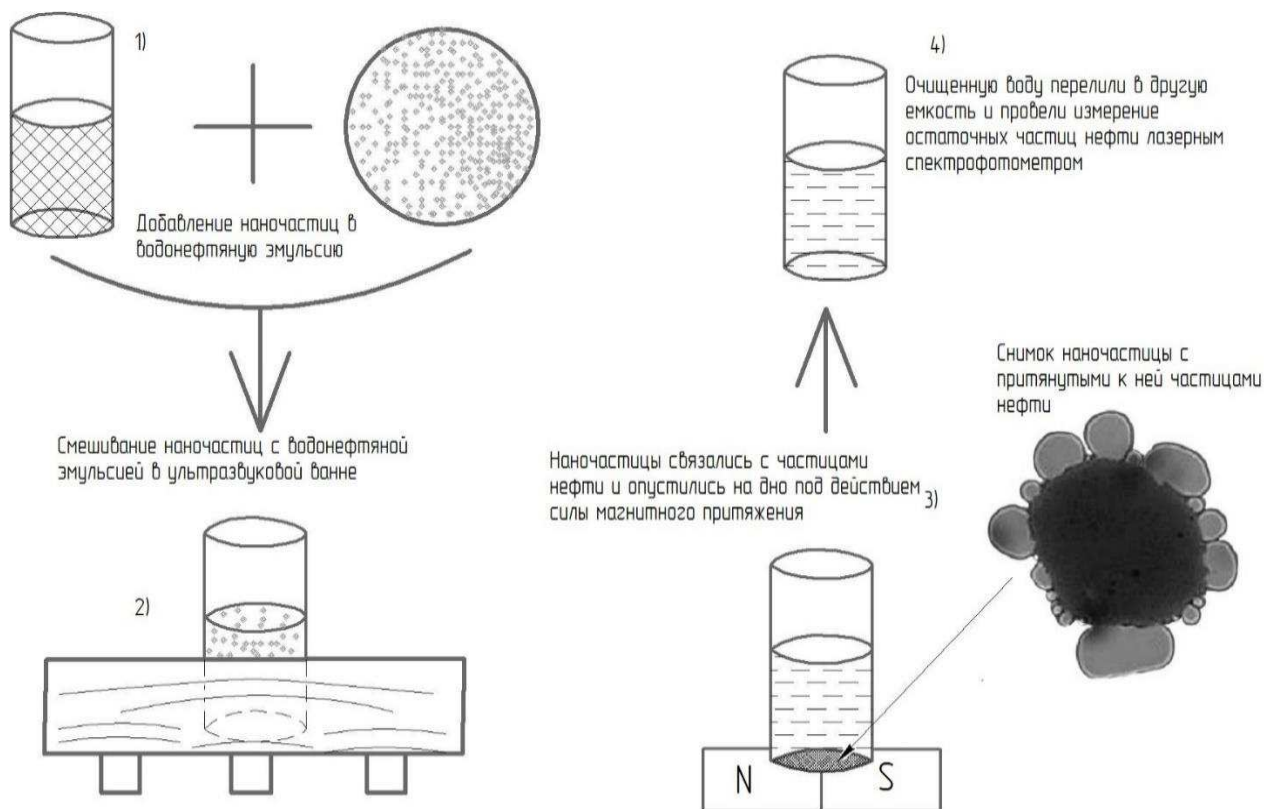


Рисунок 17 – схема экспериментального процесса очистки

После промывки наночастиц попеременно этанолом и водой для разрушения связей между нефтью и наночастицами были проведены повторные эксперименты для определения возможности повторного использования и воздействия промывочных средств на покрытие частиц. Которые показали, что в течение 5 опытов степень очистки колеблется в районе 90 %.

#### 4 Технологическая часть

По известным данным самым наиболее встречающимся загрязнителем в гидросфере являются нефтепродукты и нефть. Так как 80 % отобранных проб воды, содержат нефтепродукты даже в самых минимальных концентрациях.

Сточные воды служат загрязнителем и могут привести к поднятию уровня грунтовых вод из-за негерметичности имеющихся очистных сооружений и стоков труб сетей общезаводской канализации. Нефть и нефтепродукты, попадая в гидросферу, влияют на качество воды, наносят экономический ущерб, а также ухудшают условия жизни близлежащих населенных пунктов.

Схема, предложенная на рисунке 18 и плакате 4 является видоизменённой схемой биологической очистки, являющейся наиболее эффективной. Зона активной очистки ранее являющаяся биологическим отстойником, заменена на предложенную принципиальную установку.



Рисунок 18 – Предлагаемая схема очистных сооружений

## 5 Экономическая часть

В экономической части выпускной квалификационной работы будут рассчитаны затраты на проведение эксперимента по получению магнитных наночастиц и проведение экспериментальной очистки, загрязненной нефтепродуктами воды. Затраты на проведение эксперимента будут состоять из следующих этапов:

- проведение расчета капитальных вложений для эксперимента;
- расчет расходных материалов;
- расчет затрат на текущий ремонт;
- определение численности персонала, необходимого для проведения эксперимента;
- расчет фонда оплаты труда лаборанта и страховых взносов;
- определение затрат на электроэнергию;
- экономическая целесообразность применения наночастиц

### 5.1 Расчет капитальных вложений для проведения эксперимента

К капитальным вложениям относятся затраты на приобретение лабораторного оборудования.

Исследование проводилось на следующих приборах: Электронный микроскоп, спектрофотометр, лазер Nd:yag, ультразвуковая ванна.

Для удобства все данные по затратам на капитальные вложения (оборудование и комплектующие материалы) сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Капитальные вложения

Наименование оборудования	Требуемое количество, шт	Цена за ед., тыс. руб	Цена, тыс. руб
Ультразвуковая ванна «YA XUN YX2100»[13].	1	2.95	2.95
Микроскоп «Микромед Микмед 5.0» [14].	1	7.60	7.60



Продолжение таблицы 5

Наименование оборудования	Требуемое количество, шт	Цена за ед., тыс. руб	Цена, тыс. руб
Персональный компьютер в сборе + клавиатура и мышь [15].	1	38.90	38.90
Nd:yag LS-2132UTF [16].	1	50,00	50,00
Спектрофотометр УФ-3000 [17]	1	380.00	380,00
Набор химической посуды [18]	1	2.10	2.10
Итого:			481,55

Таким образом, общие затраты на приобретение оборудования для синтеза и проверки магнитных наночастиц – 481550 руб.

## 5.2 Расчет эксплуатационных затрат на проведение исследования

### 5.2.1 Расчет расходных материалов

Расчет расходных материалов подразумевает покупку необходимого количества нефтепродуктов для проведения экспериментального процесса очистки и металлических стержней для синтеза наночастиц. Покупка нефтепродуктов проходила на автозаправочных станциях.

Все затраты на покупку материалов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Затраты на приобретение материалов для эксперимента

Наименование	Ед.изм.	Цена, руб /ед.изм.	Количество	Сумма, руб
Стержень из чистого железа [19]	л	395	0,05	790
Минеральное моторное масло Газпромнефть мото	л	348	1	300
Бензин автомобильный АИ-92	л	200	1	42
Магнит неодимовый [20]	шт	660	1	660
Итого:				1792

Как видно из таблицы, на материалы для синтеза наночастиц и проведения опытов потребовалось 1792 руб.

### **5.2.2 Расчет затрат на текущий ремонт**

Затраты на текущий ремонт ( $Z_{т.р.}$ ) определяются по проценту от стоимости оборудования, требующего восстановления, с использованием следующей формулы:

$$Z_{т.р.} = 0,05 \cdot CT_0, \quad (2)$$

где  $CT_0$  – стоимость оборудования для исследования, которое подлежит ремонту, руб;

0,05 – процентный коэффициент стоимости ремонтных работ.

Ремонту подлежит все вышеперечисленное оборудование, требующееся для исследования. Следовательно, его суммарная стоимость составляет 481550 руб.

Подставим известные величины в формулу (2):

$$Z_{т.р.} = 0,05 \cdot 481550 = 24077,5 \text{ руб.}$$

По итогу, затраты на текущий ремонт составят 24077,5 руб.

### **5.2.3 Определение затраченного времени на проведение исследования**

Определим трудоёмкость получения наночастиц и проведения экспериментального процесса очистки.

По фактическим замерам на синтез наночастиц и экспериментальную очистку загрязненной воды получены следующие данные (таблица 7)

Таблица 7 – Перечень выполняемых операций и их продолжительность

Наименование операции	Длительность, мин
Подготовка лазера	10
Подготовка необходимой посуды и металла для синтеза наночастиц	25
Запуск синтеза	5
Ожидание окончания синтеза	300
Отключение установки	5
Сушка синтезированных наночастиц	15
Нанесение наночастиц на предметное стекло микроскопа	10
Измерение максимального, минимального и расчет среднего размеров наночастиц	30
Исследование правильности получения состава наночастиц	180
Получение эмульсии вода+загрязнитель	60
Добавление наночастиц в эмульсию и перемешивание	60
Ожидание осаждения наночастиц с приложением магнитного поля	2
Слив очищенной воды и промывка наночастиц	10
Анализ очищенной воды на спектрофотометре	120
Анализ полученной информации с занесением в журнал	15
Итого затрат времени на проведение одного замера:	$10+25+5+300+5+15+10+30+180+60+60+2+10+120+15=$ =847 минут или 14 часов 7 минут

Как итог, на синтез наночастиц и проведение одного опыта по очистке воды требуется 14 часов, следовательно, на проведение испытаний для масла и бензина потребуется 28 часов.

### 5.3 Расчет временных затрат на проведение и обработку результатов

Эксперимент проводится лаборантом, занятость которого составляет 40 часов в неделю (при пятидневной рабочей неделе и 8-ми часовом рабочем дне).

Число рабочих дней в месяце примем равным 20.

Годовая трудоемкость человеко-часов (ГТ) определяем по следующей формуле:

$$ГТ = 12 \cdot k \cdot \tau, \quad (3)$$

где  $k$  – количество рабочих дней в месяц;

$\tau$  – продолжительность рабочего дня, ч;

12 – количество месяцев.

$$ГТ = 12 \cdot 20 \cdot 8 = 1920.$$

По найденной годовой трудоемкости определим численность лаборантов по формуле

$$N = \frac{ГТ}{1970}, \quad (4)$$

где  $ГТ$  – то же, что и в формуле (3);

1970 – действительный годовой фонд времени одного рабочего при 40-часовой рабочей неделе на 2021 год [21].

Необходимая численность лаборантов по формуле (5) составит:

$$N = \frac{1920}{1970} = 0,98 \approx 1.$$

Следовательно, для выполнения исследования в лаборатории необходим один лаборант 4 – го разряда.

## 5.4 Расчет эксплуатационных затрат

### 5.4.1 Расчет фонда оплаты труда лаборанта

Фонд оплаты труда (ФОТ) определяется по формуле

$$ФОТ = ЗП_{осн} + ЗП_{доп}, \quad (5)$$

где  $ЗП_{осн}$  – основная заработная плата, руб.;

$ЗП_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата определяется по формуле

$$ЗП_{осн} = ЗП_{тар} + П + РК + СН, \quad (6)$$

где  $ЗП_{тар}$  – тарифная составляющая заработной платы, руб.;

$П$  – премии, руб.;

$РК$  – районный коэффициент (30 % от тарифной составляющей);

$СН$  – северная надбавка (30 % от тарифной составляющей).

Тарифная составляющая заработной платы определяется по формуле

$$ЗП_{тар} = \Sigma T \cdot S_{ч}, \quad (7)$$

где  $\Sigma T$  – суммарное время на весь объем работ, ч;

$S_{ч}$  – часовая тарифная ставка исследователя (лаборанта) (при окладе 14186 руб составляет 88,66 руб/ч).

$$ЗП_{\text{тар}} = 28 \cdot 88,66 = 2482,48 \text{ руб.}$$

Размер премии составляет 60 % от тарифной составляющей заработной платы. Премия определяется по формуле

$$П = ЗП_{\text{тар}} \cdot 0,6, \quad (8)$$

где  $ЗП_{\text{тар}}$  – то же, что и в формуле (8);  
0,6 – премиальный коэффициент.

$$П = 2482,48 \cdot 0,6 = 1489,5 \text{ руб.}$$

Так как значения районного коэффициента и северной надбавки имеют одинаковое процентное соотношение, то их можно вычислить по формуле

$$РК = СН = ЗП_{\text{тар}} \cdot 0,3, \quad (9)$$

где  $ЗП_{\text{тар}}$  – то же, что и в формуле (7);  
0,3 – районный коэффициент и северная надбавка.

Рассчитаем значение формулы (9), получим:

$$РК = СН = 1489,5 \cdot 0,3 = 446,8 \text{ руб.}$$

Зная значения всех составляющих формулы (6), рассчитаем основную заработную плату:

$$ЗП_{\text{осн}} = 2482,48 + 1489,5 + 446,8 + 446,8 = 4865,58 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата ( $ЗП_{\text{доп}}$ ) составляет 12 % от основной и

рассчитывается по следующей формуле:

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,12, \quad (10)$$

где  $ЗП_{\text{осн}}$  – то же, что и в формуле (6);

0,12 – часть дополнительной заработной платы.

$$ЗП_{\text{доп}} = 4865,58 \cdot 0,12 = 583,86 \text{ руб.}$$

Подставляя значения формул (6) и (10) в формулу (5) определяем ФОТ:

$$\Phi OT = 4865,58 + 583,86 = 5449,44 \text{ руб.}$$

Таким образом, на оплату труда лаборанта будет выделено 5449,44 руб.

#### **5.4.2 Расчет налоговых отчислений и накладных расходов**

Отчисления на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональные заболевания (для второго класса профессионального риска) составляют 30 % от ФОТ и делятся на доли:

- 22 % – в пенсионный фонд;
- 2,9 % – в фонд обязательного социального страхования;
- 5,1 % – в фонд обязательного медицинского страхования.

Отчисления на социальное страхование определяются по формуле

$$ОСС = \Phi OT \cdot 0,3, \quad (11)$$

где  $\Phi OT$  – фонд оплаты труда;

0,3 – процент отчислений на социальное страхование.

$$OCC = 4865,58 \cdot 0,3 = 1459,67 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 60 % от ФОТ и определяются по формуле

$$NP = \text{ФОТ} \cdot 0,6, \quad (12)$$

где  $\text{ФОТ}$  – то же, что и в формуле (11);

0,6 – часть накладных расходов.

$$NP = 4865,58 \cdot 0,6 = 2919,35 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты на обязательное социальное страхование и накладные расходы составят, соответственно 1459,67 и 2919,35 руб.

#### 5.4.3 Расчет затрат на электроэнергию

Техника, в зависимости от её вида, может потреблять различные виды топлива. Затраты на потребление энергии для исследования могут быть определены по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_o, \quad (13)$$

где  $\mathcal{E}_c$  – стоимость электроэнергии для оборудования, руб;

$\mathcal{E}_o$  – стоимость электроэнергии на освещение участка, руб.

Стоимость электроэнергии для проведения синтеза и проведения очистки воды определяется по следующей формуле

$$\mathcal{E}_c = 0,736 \cdot \sum N \cdot C_{\text{э}} \cdot T, \quad (14)$$

где  $\sum N$  – суммарная мощность, кВт;



$C_{\text{эз}}$  – стоимость 1 кВт/ч на 2021 год, руб/кВт·ч [22];

$T$  – число часов работы оборудования.

$$\mathcal{E}_c = 0,736 \cdot 1,045 \cdot 4,35 \cdot 14 = 46,84 \text{ руб.}$$

Стоимость электроэнергии на освещение участка определяется по формуле

$$\mathcal{E}_o = \sum W_{\text{л}} \cdot T_{\text{Г}} \cdot C_{\text{о.э}}, \quad (15)$$

где  $\sum W_{\text{л}}$  – удельная мощность ламп освещения мест производства, кВт;

$T_{\text{Г}}$  – число часов горения ламп, ч;

$C_{\text{о.э}}$  – стоимость осветительной электроэнергии, руб./кВт·ч.

$$\mathcal{E}_o = 0,65 \cdot 24 \cdot 4,35 = 67,86 \text{ руб.}$$

Подставим значения в формулу (14) и получим:

$$\mathcal{E} = 46,84 + 67,86 = 114,7 \text{ руб.}$$

Таким образом, суммарные затраты на электроэнергию для проведения синтеза наночастиц и экспериментальной очистке водонефтяной эмульсии составят 114,7 руб.

#### **5.4.4 Расчет затрат на вспомогательные материалы и амортизацию**

Расход вспомогательных материалов может быть определён укрупнено, в размере 15 % от потребляемой энергии:

$$BM = \mathcal{E} \cdot 0,15, \quad (16)$$

где  $\mathcal{E}$  – затраты на электроэнергию для проведения испытания, руб.

$$BM = 114,7 \cdot 0,15 = 17,205 \text{ руб.}$$

Величина месячных отчислений на амортизацию определяется по формуле

$$A_M = \frac{1}{12} \cdot 0,01 \sum OC \cdot H_a, \quad (17)$$

где  $\Sigma OC$  – первоначальная стоимость основных фондов, руб;

$H_a$  – норма амортизационных отчислений, %.

$$A_M = \frac{1}{12} \cdot 0,01 \cdot 481550 \cdot 20 = 8025,83 \text{ руб.}$$

Эксплуатационные затраты на проведение эксперимента по синтезу наночастиц и очистке воды определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{ЭК}} = \Phi OT + OCC + HP + \mathcal{E} + BM + A_M \cdot \frac{1}{2}, \quad (18)$$

где  $\Phi OT$  – то же, что и в формуле (6);

$OCC$  – то же, что и в формуле (12);

$HP$  – то же, что и в формуле (13);

$\mathcal{E}$  – то же, что и в формуле (14);

$BM$  – то же, что и в формуле (17);

$A_M$  – то же, что и в формуле (18).

$$Z_{\text{ЭК}} = 5449,440 + 1459,670 + 2919,350 + 114,700 + 17,205 + 8025,830 = 18190,99 \text{ руб.}$$

Полученные данные сведём в таблицу 8.

Таблица 8 – Эксплуатационные затраты на проведение эксперимента

Наименование затрат	Затраты, руб.
	На один синтез и эксперимент
Фонд оплаты труда	5449,440
Социальное страхование	1459,670
Расходы на электроэнергию	114,700
Накладные расходы	2919,350
Расходы на вспомогательные материалы	17,205
Амортизационные отчисления	8025,830
Итого:	18190,99

### 5.5 Экономическая целесообразность применения наночастиц

Проведем сравнение цены за 1 кг внедряемого сорбента, по сравнению с теми, что используются на предприятиях сейчас.

Для сравнения возьмем торфяные сорбенты «Spill Sorb», «ПрофСорб Эко», «Унисорб». Приравняем эксплуатационные затраты на синтез нашего сорбента и затраты на добычу и получение торфяных сорбентов, несмотря на то, что у торфяных сорбентов эти затраты гораздо выше.

Торфяные сорбенты: «Spill Sorb», «ПрофСорб Эко», «Унисорб» имеют цену за 1 кг 596 [23], 900 [24] и 388 [25] рублей соответственно (рисунок 19). Тогда как 1 кг синтезированных наночастиц обходится примерно в 480 рублей, и это несмотря на то, что наночастицы имеют возможность повторного использования после промывки, а сорбенты на основе торфа подлежат утилизации, что влечет за собой дополнительные затраты. Сведем данные цены за 1 кг в таблицу 9.

Таблица 9 – Сравнение стоимости различных сорбентов за 1 кг

Название сорбента	Стоимость, руб/кг.
Магнитные наночастицы	480
Spill Sorb	596
ПрофСорб Эко	900
Унисорб	388

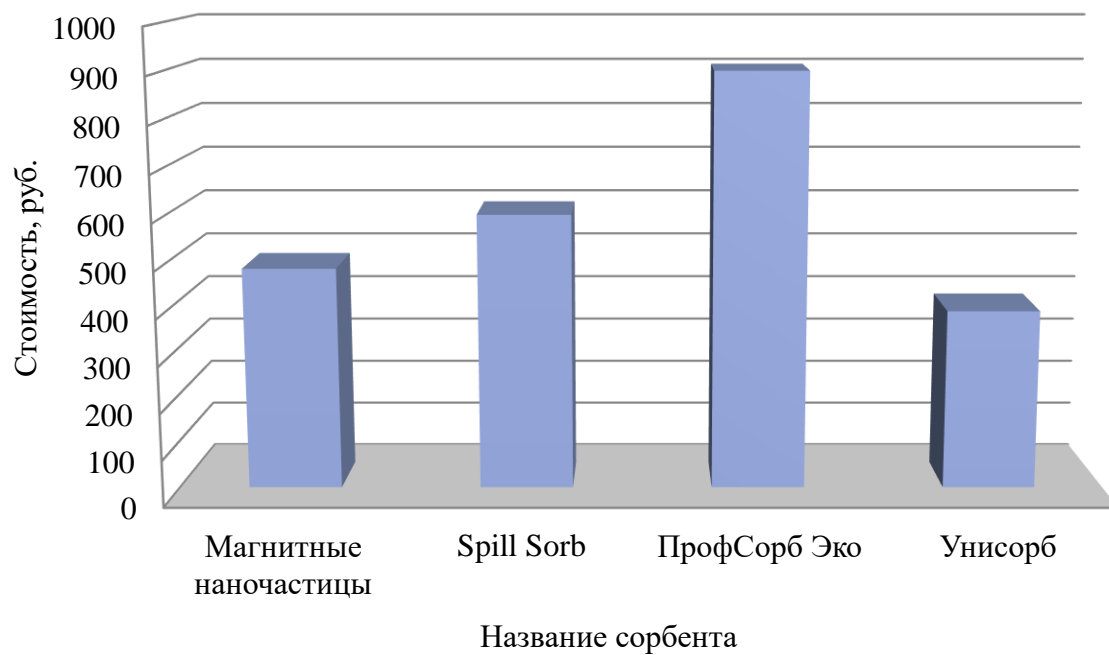


Рисунок 19 – Стоимость одного килограмма различных сорбентов

## **6 Безопасность и экологичность**

Нефтяная индустрия обладает опасными производственными факторами, на крупных предприятиях происходит добыча и работа с токсичными и взрывоопасными газами и жидкостями, поэтому значительное внимание следует уделять безопасности на таких производствах.

Так как наличие сточных вод является неотъемлемой частью нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, то на каждом таком объекте необходимы комплексные очистные сооружения для минимизации вероятности попадания загрязнения в грунтовые воды, и причинения вреда окружающей среде.

### **6.1 Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при проведении работ**

В данной выпускной квалификационной работе разрабатывается новый адсорбент, позволяющий модернизировать имеющуюся систему очистки сточных вод на нефтебазах, а также производить работы с применением данного вещества непосредственно на местах технологических аварий. Так как применение данной технологии происходит непосредственно в зоне разлива или в местах очистки сточных вод, возможно наличие следующих вредных и опасных производственных факторов:

- образование взрывоопасной среды внутри очистных сооружений;
- токсичность очищаемой среды и ее паров, в зависимости от уровня загрязнения воды;
- загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;

– недостаточная освещенность на рабочем месте.

По основному виду экономической деятельности установлен I класс профессионального риска, характеризующий уровень производственного травматизма, профзаболеваемости и расходов по обеспечению по программе обязательного социального страхования. Страховые тарифы на обязательное страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве составляют 0,2 % к начисленной оплате труда [26].

При авариях данный адсорбент не несет вредного воздействия на окружающую среду при своевременном проведении его сбора мощным магнитом. Из-за абразивности порошка возможно уменьшение межремонтного периода оборудования и увеличение риска возникновения производственной аварии. Так же при работе на открытых местностях из-за дисперсности адсорбента, при наличии ветра возможен его разброс на большие расстояния и попадание в дыхательные пути человека, находящегося без средств индивидуальной защиты.

## **6.2 Инженерные и организационные решения по обеспечению безопасности работ**

Работы по устранению аварий на месте разлива, контролю качества очистки и диагностике очистных сооружений проводятся на открытом пространстве круглый год, предпочтительно в дневное время суток.

Территория нефтебазы расположена в Туруханском районе Красноярского края, который относится к Ib (IV) климатическому региону со средней температурой января  $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$  и июля  $+19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , средней скоростью ветра 1,3 м/с. Климат Туруханского района резко-континентальный, среднегодовая температура составляет  $-8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; среднегодовое количество осадков – 237 мм; влажность воздуха 68 % [27]. Данный климатический регион был выбран с учетом того, что большинство месторождений Красноярского края располагаются именно в данном регионе.

Работы, связанные с устранением разливов посредством предлагаемого адсорбента и контроль за качеством работы очистных сооружений с его применением, относятся к категории Па – работы средней тяжести с интенсивностью энергозатрат 151...200 ккал/час (постоянная ходьба, перемещение мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя, и требующая определенного физического напряжения) [28].

Параметры микроклимата в воздухе рабочей зоны представлены в таблице 10 [28].

Таблица 10 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в воздухе в рабочей зоне

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
	оптим.	оптим.	оптим.
Теплый	21...23	40...60	0,2
Холодный	19...21	40...60	0,2

Для поддержания оптимальных параметров воздушной среды вспомогательные и административно-бытовые помещения оснащены системами централизованного отопления, работающими от котельной. Также здания оборудованы системами вентиляции для предотвращения загазованности.

Энергетические затраты работ складываются из затрат на дополнительное освещение рабочих мест и на работу диагностического оборудования и измерительных приборов.

### **6.3 Санитарные требования к помещению и размещению используемого оборудования**

На территории нефтебазы находятся опасные сооружения, такие как отстойники для биологической и химической очистки сточных вод, все они имеют ограждения и предупредительные знаки, для предотвращения

несчастных случаев. Ко всем конструктивным элементам резервуаров и очистных сооружений обеспечен свободный доступ.

При диагностике очистных сооружений и резервуаров для сбора загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны могут остаться пары нефтепродукта. Источниками выделений паров нефтепродукта обычно являются различные неплотности оборудования, арматура резервуаров, аварийные клапаны. Эти пары являются высокотоксичными веществами, поражающими главным образом нервную систему, обладают кожно-резорбтивным действием. Поступают в организм преимущественно через дыхательные пути, кожные покровы.

Всем работникам, выполняющим работы по диагностированию, предоставляются средства индивидуальной защиты: шланговый противогаз, комбинезон, ботинки, перчатки, спасательный пояс и канаты; для защиты глаз от пыли, брызг, едких веществ, отлетающих и твердых частиц, работающие пользуются защитными очками; при производстве электрогазосварочных работ применяются соответствующие защитные маски и очки со светофильтром.

Вентиляция внутри резервуара осуществляется с помощью открытых световых люков и люков-лазов.

Уровни вибрации и шума находятся в пределах допустимых значений и равняются: 70 Гц и 65 Дб соответственно, при максимальном допустимом значении уровня шума при данных работах, равном 90 Дб. Частичная вибрация наблюдается на стенке резервуара только при его закачке или опорожнении. Основным параметром вибрации является виброускорение, нормативное значение которого равно  $2 \text{ м/с}^2$  [29].

Разряд зрительных работ – II (очень высокой точности). Освещение рабочих мест составляет 190 лк, при допустимых уровнях освещенности от 50 до 300 лк [30].

Освещение внутри резервуара и при осмотре очистных устройств обеспечивают переносными светильниками напряжением 12 Вольт с питанием от разделительных трансформаторов. Применение автотрансформаторов



внутри резервуара запрещено. При недостаточном освещении допускается использование переносных электросветильников, изготовленных во взрывобезопасном исполнении, напряжением не более 12 Вольт [31].

#### **6.4 Обеспечение безопасности технологического процесса**

При диагностике резервуаров наибольшую опасность для здоровья человека представляют остатки нефтепродукта внутри резервуара. Бензин, являющийся горючей жидкостью, представляет высокую пожарную опасность. Кроме того, он имеет в своем составе углеводородный состав молекул от  $C_5$  до  $C_{11}$ , которые, испаряясь, создают взрывоопасную концентрацию смеси с воздухом, а бензины с повышенной концентрацией серы, представляют угрозу для жизни и здоровья людей своей высокой токсичностью (класс опасности – 3) [32].

ПДК бензинов в воздухе рабочей зоны составляет  $100 \text{ мг/м}^3$ , паров нефти составляет  $300 \text{ мг/м}^3$  [33].

Контроль воздушной среды проводится на расстоянии от 10 до 12 м от резервуаров и у обвалования с подветренной стороны, с помощью газоанализаторов. При достижении предельно допустимой концентрации вредных веществ принимаются меры по выявлению и устранению источников повышенной загазованности.

Анализ газовоздушной среды проводится перед началом работ, после каждого перерыва в работе и в течение всего времени выполнения работ с периодичностью, указанной в наряде-допуске, но не реже чем через 1 час, а также по первому требованию работающих.

При внезапном увеличении загазованности выше ПДК в зоне производства работ необходимо приостановить все виды работ и в первую очередь огнеопасные. Работникам надеть имеющиеся средства индивидуальной защиты органов дыхания, и срочно покинуть опасную зону, сообщить о случившемся руководителю ремонтных работ.

## 6.5 Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности

Возможные причины и источники возникновения пожара:

- возгорание вследствие использования искрообразующего инструмента;
- возгорание резервуара вследствие удара молнии при не исправном молниеотводе;
- пожар из-за нарушения техники безопасности, такие как курение на запрещенной территории, использование открытого огня;
- возгорание из-за неисправного оборудования.

Пожаровзрывоопасность нефтепродуктов характеризуется способностью смеси их паров с воздухом воспламеняться и взрываться. Взрывоопасность определяется величинами нижнего и верхнего пределов взрываемости, пожароопасность – величинами температур вспышки, воспламенения и самовоспламенения.

Нефть и бензины, которые могут храниться на нефтебазе обладают своими температурными и концентрационными характеристиками. У бензина пределы взрываемости: нижний – 0,75 %, верхний – 5,20 %. Температурный предел взрываемости: нижний – -39 °С, верхний – -7 °С. Температура самовоспламенения паров в воздухе 250...370 °С [34]. Так как бензины являются более взрывоопасными и пожароопасными по сравнению с нефтью, то выполнение требований пожарной безопасности по бензинам автоматически влечет за собой выполнение и требований по нефти.

Обеспечение пожарной безопасности при эксплуатации и ремонте очистных сооружений и резервуаров должны отвечать требованиям проектной документации, правил пожарной безопасности в Российской Федерации.

По взрывопожарной и пожарной опасности резервуары относятся к категории А (повышенная взрывопожароопасность) [35].

Установки пожаротушения, орошения, сигнализации, связи и первичные средства пожаротушения находятся в исправном состоянии и постоянной готовности к действиям. К узлам управления установками противопожарной

защиты и местам подключения к ним передвижной пожарной техники обеспечен свободный доступ. В наличии всегда имеются первичные средства пожаротушения: пожарные щиты, емкости для песка, огнетушители. Техническое содержание систем сигнализации, установок и средств пожарной автоматики удовлетворяет нормативным требованиям.

Электрооборудование, используемое в резервуарах и резервуарных парках, выполнено во взрывозащищенном исполнении.

Ежегодно перед наступлением грозового сезона проводят визуальный осмотр и ревизию молниеприемников, болтовых и сварных соединений контуров, обращая внимание на места соединения токоведущих элементов. Омическое сопротивление проверяется не реже одного раза в год в период наибольшего просыхания грунта, т.е. летом.

## **6.6 Обеспечение безопасности в аварийных и чрезвычайных ситуациях**

При подготовке резервуаров к диагностике, а также во время самого диагностирования возможны следующие аварийные ситуации:

- разгерметизация резервуара по причине потери прочности и устойчивости стенки резервуара;
- возгорание резервуара вследствие удара молнии при неисправном молниеотводе;
- разлив нефтепродуктов при опорожнении резервуара перед диагностикой;
- разлив нефтепродуктов вследствие разгерметизации очистных сооружений;
- пожар нефтепродукта вследствие теплового воздействия на него.

Любые аварийные ситуации при работе с нефтепродуктами носят крайне опасный характер. Наиболее опасной ситуацией является взрыв или пожар резервуара, к которому может привести нарушение технологического процесса

или изношенность оборудования.

Аварии сопровождаются, как правило, выбросом некоторого количества нефтепродуктов и сопряжены со значительным экологическим и экономическим ущербом.

В случае возникновения аварийной ситуации с угрозой взрыва необходимо немедленно вывести людей из зоны производства работ, в дальнейшем действовать в соответствии с планом ликвидации аварий. При возникновении пожара на одной из установок, работник обязан перекрыть поступление загрязненной жидкости, сообщить по радиации вышестоящим органам о возникновении возгорания и при наличии поблизости средств пожаротушения приступить к ликвидации возгорания.

Нефтебазы относятся к первой категории по группам гражданской обороны, проводятся как плановые, так и внеплановые учения. На предприятии проходят непрерывные технологические процессы так как, каждое очистное устройство имеет свое время завершения одного цикла очистки, и поэтому пока одно оборудование может простаивать, другое совершает процесс доочистки.

Наличие обслуживающего и контролирующего персонала зависит от количества очистных сооружений, и для каждого предприятия может быть свой набор данных сооружений, а как следствие и свое количество рабочего персонала. Применение предлагаемой в данной работе технологии предполагает собой исключение некоторый не столь эффективных сооружений, и возможное сокращение обслуживающего персонала. Все непрерывно работающие сооружения, такие как пруды отстойники оснащены перилами и решетками для ходьбы, для исключения падений из-за малого сцепления с поверхностью.

Весь рабочий и обслуживающих персонал, проводящий работы в резервуарах отстойниках или очистных установках, обеспечивается всеми необходимыми средствами индивидуальной защиты. На территории нефтебазы находятся резервуары с хранимыми нефтепродуктами, которые являются объектами повышенной пожароопасности.

На предприятии имеются все коммуникации, так-как для обходчиков прудов отстойников, обязателен горячий душ на территории нефтебазы имеется котельная, а также электроснабжение, связь, и канализация, так как предприятия обычно представляют собой вахтовые городки.

## **6.7 Экологичность проекта**

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка нового способа очистки сточных вод с помощью вещества, которое успешно может применяться при авариях с попаданием нефти и нефтепродуктов во внешнюю среду и в составе действующих очистных сооружений. Использование данного вещества позволит увеличить общую эффективность очистных сооружений и позволит быстро и результативно собирать нефть и нефтепродукты в случае различных аварий.

При использовании данного метода очистки вода, проходящая контроль, удовлетворяет действующим требованиям ПДК, а при применении в составе действующих очистных сооружений, позволяет крайне увеличить степень очистки.

При возникновении аварий и попадании нефтепродуктов в почву необходимо утилизировать слой загрязненной почвы и провести рекультивационные работы. Для минимизации объема, который может попасть в почву, необходимо использовать различные методы обнаружения утечек из трубопроводов, а также применять запорно-регулирующую арматуру.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были решены следующие задачи: исследованы магнитные наночастицы полученные с помощью метода лазерной абляции, и доказано их преимущество по сравнению с другими сорбентами; разработана принципиальная схема установки для очистки сточных вод и проведено описание процесса её работы; выполнен расчет эксплуатационных затрат.

А также проведен анализ потенциальных опасных производственных факторов при проведении работ и предложены соответствующие организационные решения по обеспечению безопасности работ.

Рассчитаны затраты на проведение исследования, синтез и апробацию наночастиц, рассчитан фонд оплаты труда, расходы на электроэнергию, затраты на амортизацию.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Карелин, Я. А. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов : учеб. пособие / Я. А. Карелин. – Москва : Стройиздат, 1982. – 183 с.

2 Стахов, Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов : учебник Е. А. Стахов. – Ленинград : Недра, 1983. – 257 с.

3 Карелин, Я. А. Очистка производственных сточных вод : учебное пособие / Я. А. Карелин ; под. ред. С. В. Яковлева. – Москва : Стройиздат, 1985. – 336 с.

4 Дегтярев, Г. В. Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды / Г. В. Дегтярев, В. В. Стрельников, О. Г. Дегтярева // Экологические системы и приборы. – 2006. – № 2. С. – 48.

5 Очистка производственных сточных вод : учебник / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов. – Москва : Стройиздат, 1979. – 58 с.

6 Родионов, А. И. Защита биосферы от промышленных выбросов : учебное пособие / А. И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьев. – Москва : Колосс, 2005. – 392 с.

7 Туровский, И. С. Обработка осадков сточных вод : учебное пособие / И. С. Туровский. – Москва : Стройиздат, 1984. – 255 с.

8 ПБ 09-560-03 Правила промышленной безопасности нефтебаз и складов нефтепродуктов. – Введ. 20.05.2003. – Москва : Минюст РФ, 2003. – 63 с.

9 Лютоев, А. А., Смирнов, Ю. Г. Моделирование поведения магнитных наночастиц в жидкой среде с целью разработки технологии очистки загрязненных нефтью сточных вод. Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2013. – №4. – С. 424-435.

10 Светличный, В. А. Установка для синтеза наночастиц методом лазерной абляции / В. А. Светличный, А. А. Смуглов, И. Н. Лапин // Материалы IX международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». – С. 221-223.

11 Веприкова, Е. В., Терещенко, Е. А., Чесноков, Н. В., Щипко, М. Л., Кузнецов Б.Н. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей. Journal of Siberian Federal University. – 2010. – 3 – С. 285-304.

12 Qing Wang, Maura C. Puerto, Sumedh Warudkar, Jack Buehler, Sibani L. Biswal. Recyclable Amine-Functionalized Magnetic Nanoparticles for Rapid Demulsification of Crude Oil-in-Water Emulsions. The Royal Society of Chemistry 2018. – 2018. – №4. – С. 1553-1563.

13 ООО «GreenSpark» [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о ультразвуковых ваннах – Режим доступа : [https://krsk.service-gsm.ru/catalog/oborudovanie\\_i\\_instrumenty/ultrazvukovye\\_vanny/ultrazvukovaya\\_vanna\\_ya\\_xun\\_yx2100.html](https://krsk.service-gsm.ru/catalog/oborudovanie_i_instrumenty/ultrazvukovye_vanny/ultrazvukovaya_vanna_ya_xun_yx2100.html).

14 ООО «МИКРОСКОПES» [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о микроскопах – Режим доступа : [https://mikroskopes.ru/product/tsifrovoy-usb-mikroskop-so-shtativom-mikmyed-50/?utm\\_source=price-ru&pclid=40e0-37b57-b42b2](https://mikroskopes.ru/product/tsifrovoy-usb-mikroskop-so-shtativom-mikmyed-50/?utm_source=price-ru&pclid=40e0-37b57-b42b2).

15 ООО «Эльдорадо» [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о цене на компьютер в сборе – Режим доступа : <https://www.eldorado.ru/cat/detail/monoblok-lenovo-ideacentre-a340-24igm-f0e7003xrk/>.

16 ООО «Lootis tii» [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о лазере Nd:yag – Режим доступа : <https://lotis-tii.com/ndyag-lazers/double-pulsed-laser/ls-2131d-ls-2134d-ls-2145d>.

17 ООО «ЛабМедПоставка [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о лабораторном и медицинском оборудовании – Режим доступа : <http://krasnoyarsk.labmedpost.ru/spektrofotometry/kupit-spektrofotometr-uf-3000-ecovyu.html>.

18 ООО «СП Глобус» [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о цене на набор лабораторных принадлежностей – Режим доступа : <https://sp-globus.ru/p21578447-nabor-himicheskoy-posudy.html>.



19 ООО «AliExpress» [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о цене на металлические стержни – Режим доступа : [https://aliexpress.ru/item/1005001987308972.html?spm=a2g0o.detail.1000023.8.4c5d1e08LVIZDw&sku\\_id=12000018324552418](https://aliexpress.ru/item/1005001987308972.html?spm=a2g0o.detail.1000023.8.4c5d1e08LVIZDw&sku_id=12000018324552418).

20 ООО «SuperMagnit» [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о цене на неодимовые магниты – Режим доступа : <https://krasnoyarsk.supermagnit.net/magnitnyj-disk-30h20/>.

21 Годовой фонд рабочего времени [Электронный ресурс] : сайт содержит информацию о фонде рабочего времени на 2021 год – Режим доступа : <https://ppt.ru/news/142822>.

22 Тарифы на электроэнергию [Электронный ресурс] : сайт содержит информацию о ценах на электроэнергию в Красноярске // Росгидромет, 2021 – Режим доступа : [https://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/krasnojarskiy\\_kraj/39423/](https://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/krasnojarskiy_kraj/39423/).

23 ООО «ГлавПожСнаб» [Электронный ресурс] : сайт содержит информацию о цене на сорбент «SpillSorb» – Режим доступа : [http://www.glavpozhsnab.ru/catalog/opasnie\\_gruzi/sorbiryushie\\_izdelia/sorb\\_spill.html](http://www.glavpozhsnab.ru/catalog/opasnie_gruzi/sorbiryushie_izdelia/sorb_spill.html).

24 ООО «ТИКОСТЕП» [Электронный ресурс] : сайт содержит информацию о цене на сорбент «ПРОФСОРБ ЭКО» – Режим доступа : <https://tikostep.ru/sorbent-nefti-profsorb-eko-12-kg>.

25 ООО «ТАТСОРБ» [Электронный ресурс] : сайт содержит информацию о цене на сорбент «УНИСОРБ» – Режим доступа : <https://tatsorb.com/katalog/sorbentyi-neftesorbentyi/sorbent-unisorb>.

26 Приказ Минтруда России от 30.12.2016 N 851н «Об утверждении Классификации видов экономической деятельности по классам профессионального риска» (Зарегистрировано в Минюсте России 18.01.2017 N 45279)

27 Погода и климат [Электронный ресурс] : Туруханский район, Туруханск. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/23472.htm>.

28 СанПиН 2.2.4.548 – 96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы. – Введ. 01.10.1996. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 20 с.

29 СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1). Введ. 20.05.2011. – Москва : Минрегион России, 2010. – 41 с.

30 СНиП 23-05 – 95\* Естественное искусственное освещение. – Москва : Госстрой России, 2004. – 59 с.

31 ПОТ РО 112-002 – 98. Правила по охране труда при эксплуатации магистральных нефтепродуктопроводов. – Введ. 16.06.1998. Москва: КонсультантПлюс, 2018. – 103 с.

32 Мусияченко, Е. В. Безопасность жизнедеятельности / учебно-метод. пособ. // Е. В. Мусияченко, А. Н. Минкин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 47 с.

33 Постановление главного государственного санитарного врача от 28.02.2021 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21» «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

34 ГОСТ 12.1.004 – 91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 01.07.1992. Москва: Министерство внутренних дел СССР, 1992. – 64 с.

35 РД 153-39.4-050 – 00 Категории по взрывопожарной и пожарной опасности помещений и наружных установок объектов МНПП. – Введ. 01.06.2000. Москва : Транснефтепродукт, 2000. – 10 с.

36 ГОСТ 12.0.003 – 2015 Системы стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. – Введ. 01.03.2017. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 16 с.

37 ГОСТ 12.1.005 – 88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ. 01.01.1989. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 50 с.

38 ГОСТ 12.1.003 – 2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – Введ. 01.11.2015. – Москва : Стандартиформ, 2015. – 27 с.

39 ГОСТ Р 55709 – 2013 Освещение рабочих мест вне зданий. Нормы и методы измерений (Переиздание). Введ. 01.07.2014. – Москва : Стандартиформ, 2015. – 12 с.


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

Институт нефти и газа

Кафедра проектирования и эксплуатации газонефтепроводов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 /А. Н. Сокольников


«22» июня 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Деэмульгирование сточных вод магнитными наночастицами

Руководитель  17.06.21 г. канд. техн. наук, доцент В. И. Верещагин

Выпускник  16.06.2021. М. О. Борисов

Красноярск 2021

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме:  
«Деэмульгирование сточных вод магнитными наночастицами»

Консультанты по  
разделам:

Экономическая часть



И. В. Шадрина

Безопасность жизнедеятельности



Е. В. Мусияченко

Нормоконтролер



О. Н. Петров

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа(ВКР) по теме «Деэмульгирование сточных вод магнитными наночастицами» содержит 67 страниц текстового документа, 39 использованных источника, 6 листов графического материала.

**МАГНИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ, СТОЧНЫЕ ВОДЫ, ОЧИСТКА, ВОДОНЕФТЯНАЯ ЭМУЛЬСИЯ.**

Объектом исследования выпускной квалификационной работы являются магнитные наночастицы для очистки сточных вод.

Цель ВКР: увеличение эффективности проведения процесса очистки сточных вод, за счет применения магнитных наночастиц.

Для решения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1 Исследовать магнитные наночастицы полученные с помощью метода лазерной абляции, и доказать их преимущество по сравнению с другими сорбентами.

2 Разработать принципиальную схему установки для очистки сточных вод и провести описание процесса её работы.

3 Изобразить схему очистных сооружений с использованием предлагаемой установки.

В выпускной квалификационной работе проводится разработка нового вещества, позволяющего вывести степень очистки сточных вод на новый уровень и включает в себя: поиск наилучшего материала для синтеза наночастиц, получение наночастиц методом лазерной абляции, а также расчет и сравнение нефтеёмкости с другими популярными сорбентами.

В технологической части выпускной квалификационной работы представлена технологическая схема проведения очистки сточных вод на предприятии.

В разделе «Безопасность и экологичность» решены вопросы по обеспечению безопасности жизнедеятельности, пожарной и взрывопожарной

безопасности, предусмотрены мероприятия по охране труда, а также приведены правила по ликвидации отходов и устранению загрязняющих веществ.

В экономической части работы выполнен расчет затрат на синтез и апробацию наночастиц, рассчитан фонд оплаты труда лаборанта, расходы на электроэнергию, затраты на амортизацию, а также проведено сравнение стоимости наночастиц с другими сорбентами.