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

Инженерно-строительный институт

Кафедра «Инженерные системы здания и сооружения»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.В. Сакаш
подпись
« _____» _____ 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

08.03.01.06 «Строительство»
270800.62.06 − Водоснабжение и водоотведение

Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод

Научный руководитель/
руководитель _____ канд. хим. наук, профессор Т.И. Халтурина
подпись, дата
Выпускник _____ С.А. Козлова
подпись, дата
Консультанты:
Научная, технологическая и/
часть с автоматизацией _____ Т.И. Халтурина
подпись, дата
Экономическое обоснование _____ Т.П. Категорская
подпись, дата
Нормоконтролер _____ Т.И. Халтурина
подпись, дата

Красноярск 2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологии очистки нефтесодержащих сточных вод.

Работа состоит из пояснительной записки в 165 листов, состоящей из теоретической части, практической, расчетно-графической и 3^x приложений. Работа оснащена графиками и рисунками − 20 штук и информацией в табличной форме − 40 штук. Изучено 92 источника литературы. Вторая часть работы содержит 6 листов графического материала.

НЕФТЕСОДЕРЖАЩИЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЯ, ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД, ЭЛЕКТРОЛИЗЕР, НЕФТЕПРОДУКТЫ, ЭЛЕКТРООБРАБОТКА.

Объектом исследования является электрообработка нефтесодержащих сточных вод.

Актуальностью данного исследования можно считать внесение вклада в защиту окружающей среды от негативного влияния сбрасываемых сточных вод, посредством разработка технологической схемы обезвреживания загрязненных нефтепродуктами стоков, которая позволит достичь максимального эффекта очистки при минимальных затратах используемого для этой цели сырья.

Изучение процесса электрокоагуляционной обработки нефтесодержащих сточных вод, а также нахождение оптимальных условий для осуществления данного метода, можно считать главной целью моего исследования.

Для достижения поставленной цели выполнен ряд задач, которые также можно считать своего рода планом моего изучения: изучение теоретического материала связанного с очисткой нефтесодержащих сточных вод; проведение эксперимента; обработка данных полученных в ходе эксперимента; оптимизация эксперимента; разработка технологической схемы; технико-экономическое обоснование и автоматизация процесса.

В ходе данного исследования был изучен теоритический материал, касающийся методов и технологий по очистке нефтесодержащих сточных вод.

Итогами последующей работы можно считать практическое изучение метода электрокоагуляционной обработки нефтесодержащих сточных вод, в результате которого были выявлены наиболее влияемые на процесс обработки сточной жидкости, варьируемые факторы.

Была произведена оптимизация данного технологического процесса, что позволило определить рациональные условия для электрокоагуляции сточной жидкости.

Результаты научных исследований позволили не только контролировать и регулировать процесс электрокоагуляционной обработки, но и в последствие автоматизировать его.

Технико-экономическое обоснование разрабатываемых технологических схем способствовало выбору рациональной схемы обработки сточной жидкости не только сточки зрения технологического, но и экономического эффекта.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение …… 5

1 Исходные данные …….. 7

2 Анализ литературных источников и патентной документации по методам очистки нефтесодержащих сточных вод …… 8

2.1Методы обезвреживания сточных вод загрязненных нефтепродуктами…….. 8

2.1.1 Механическая очистка сточных вод …… 9

2.1.1.1Механическая очистка сточных вод, основанная на процессе отстаивания ……..... 9

2.1.1.1.1Нефтеловушка …… 9

2.1.1.2Механическая очистка сточных вод, основанная на процессе фильтрования …….. 10

2.1.1.3Механическая очистка сточных вод, основанная на процессе центрифугирования …… 11

2.1.1.3.1Сепаратор …….. 12

2.1.1.3.2Гидроциклон ……... 13

2.1.2 Физико-химический метод очистки сточных вод ……... 14

2.1.2.1Коагуляция ……... 15

2.1.2.1.1Электрогоагуляция ……... 16

2.1.2.1.2Гальванокоагуляция …… 17

2.1.2.2Флотация ……... 17

2.1.2.2.1Метод струйной флотации …….. 18

2.1.2.2.2Напорная флотация …….. 19

2.1.2.2.3 Электрофлотация …… 20

2.1.2.3 Сорбция …… 21

2.1.2.4 Мембранный метод …… 22

2.1.3 Биологический метод обработки сточных вод ……... 23

2.1.4 Химический метод обработки сточных вод …… 24

3 Экспериментальные исследования электрообработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты ……... 26

3.1 Методика определения нефтепродуктов в сточной воде …… 26

3.2 Исследование процесса электрообработки нефтесодержащих сточных вод …… 27

3.2.1 Планирование эксперимента по рототабельному плану второго порядка Бокса-Хантера …… 28
3.2.2 Оптимизация процесса обработки нефтесодержащих сточных вод…….. 34
3.3 Доочистка сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты …… 38
4 Технико-экономическое сравнение различных технологических схем обработки нефтесодержащих сточных вод ……. 40
4.1 Технологический расчет сооружений для очистки сточных вод содержащих нефтепродукты ……. 40
4.2 Экономическое обоснование выбора рационального метода очистки нефтесодержащих сточных вод …….. 50
4.2.1 Расчет социального годового экономического эффекта ….. 50
4.2.1.1 Ущерб от сброса сточных вод …….. 50
4.2.1.2 Платеж за выбросы загрязняющих веществ …… 52
4.2.2 Экономический расчет ……. 53
5 Автоматизация …….. 60
5.1 Энергосбережение насосных установок ……... 61
5.2 Автоматизация удаления осадка из отстойника …….. 66
Заключение …… 67
Списки использованных источников …….. 68
Приложение А − В ……..... 77-155

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ведущих проблем на данный период служит интенсивная защита экологически безопасного обитания человека и живых организмов.

Одними из опасных и токсичных экологических загрязнений имеют место быть сбросы недостаточно очищенных сточных вод, загрязненных нефтепродуктами. Нефтепродукты по своему физико-химическому составу относятся к классу вредных, токсичных веществ, которые негативно влияют на живые организмы, обитающие в водоеме, принимающем стоки, ухудшают качество воды источника, придают различные по интенсивности привкусы мясу рыб.

Нефтепродукты, находящиеся в составе загрязненных вод − это сложные смеси группы углеродов нефти, различных масел, мазут и их различные добавки. Имеющее место в сточных водах нефтепродукты характеризуются различной растворимостью в воде, а также могут быть высокотоксичными загрязнителями вод и окружающей среды.

Загрязненные нефтепродуктами сточные воды в основном по способу своего происхождения подразделяются на производственные и атмосферные.

Атмосферные стоки образуются в результате контакта атмосферных осадков в виде дождя, таяния снега и т.д. и нефтезягрязняющих веществ находящихся на территориях различного назначения и местонахождения.

Производственные сточные воды образуются в результате технологического процесса: стоки, образованные в процессе реакции, в результате промывки (обмывки) сырья или готовых частей оборудования, изделий, также могут находиться в исходном материале или являться охлаждающей средой технологического процесса или различного оборудования, применяемого в производстве.

Воды, подвергающиеся очистке, образуются при технологических процессах на промышленных предприятиях каким-либо образом использующих в качестве сырья нефть или ее компоненты, а также любое нефтесодержащее сырье. Такими предприятиями могут являться: различные производства, связывающие свою функциональную деятельность с добычей нефти, ее переработкой (перегонкой), транспортировкой, а также нефтебазы и склады разнообразных нефтепродуктов, топлив, сырья производства, металлургические и машиностроительные предприятия, ТЭЦ, ТЭС и т.п.[1]

Нефтепродукты в отработанных загрязненных жидкостях могут образовывать:

- нерастворимые пленки или плавающий слой, где нефтезагрязняющие частицы находятся в грубодисперсном, неустойчивом состоянии;
- эмульсии «вода-нефть», где частицы нефти находятся в растворенном или тонкодисперсном состоянии.

Нефтепродукты, загрязняющие применяемые на производстве в технологических процессах воды, могут проявлять различных характер

поведения, который в основном зависит от двух наиболее важных и значимых качеств: растворимость и плотность. Растворимость нефтепродуктов колеблется от низкой, до практически нулевой. Что касается плотности то, по сравнению с плотностью воды, она является меньше, что обуславливает главное свойство нефтечастиц − это всплывание. [2]

Из-за непостоянного и разнообразного состава нефтезагрязняющих веществ их контроль является сложной задачей, в связи с этим, на протяжении долгого периода времени, методы по определению состава этих веществ являлись не эффективными. С развитием гидрохимии, в течение нескольких десятилетий учеными были предложены многие методики с различными методами анализа: гравиметрический, пикнометрический и другие, но они не могли определить всю специфику нефтяного состава сточной жидкости, и являлись недостаточно чувствительными.

Интенсивное изучение всех методов и их специфических свойств, достоинств и недостатков привело к предложению наиболее выгодного, точного и чувствительного оптического метода определения нефтепродуктов, который подразделяется на ультрафиолетовый и инфракрасный спектрофотометрический метод. Для увеличения эффективности, усовершенствования и удаления имеющихся недостатков в методах определения нефтепродуктов, была предложена комбинация, состоящая из этих двух методов, что позволило дать наиболее точную, комплексную оценку состава нефтезагрязняющих веществ. [3]

Сброс стоков не соответствующих определенному качеству оказывает негативное воздействие на флору и фауну источника, что может привести к необратимым последствиям и даже гибели водоема. Для решения данной проблемы приходят к выводу о создании наиболее эффективных очистных сооружений, т.е. более глубокого очищения сточной воды, интенсификации существующих систем очистки и минимизации количества сбрасываемой воды, а также перевод предприятия на бессточную систему водоснабжения. Это позволит не только защитить окружающую среду от пагубного воздействия высокотоксичных нефтезагрязняющих веществ, но и сберечь определенное количество невосполнимого природного ресурса − нефти. [4,5]

На основании приведенных выше суждений, можно сделать вывод о том, что работа является актуальной, так как вносит вклад в защиту окружающей среды от негативного влияния сбрасываемых сточных вод.

Изучение процесса электрокоагуляционной обработки нефтесодержащих сточных вод, а также нахождение оптимальных условий для осуществления данного метода, можно считать главной целью моего исследования.

Для достижения поставленной цели выполнен ряд задач, которые также можно считать своего рода планом моего изучения: изучение теоретического материала связанного с очисткой нефтесодержащих сточных вод; проведение эксперимента; обработка полученных данных; оптимизация эксперимента; разработка технологической схемы; технико-экономическое обоснование и автоматизация процесса.

1 Исходные данные

Нефтесодержащие сточные воды образуются на территории Красноярского края расположенного в бассейне реки Енисей. Данная местность имеет относительно ровный рельеф, с абсолютными отметками поверхности земли, колеблющимися в пределах от 170 – 178 м. Данная местность занимает площадь в 2339,7 тыс.м^2. Территория красноярского края считается асейсмичной.

Климат данного края является резко-континентальным, в течение года наблюдаются значительные перепады температур воздуха. Средняя температура на севере края в зимний период составляет -36 ºС, на юге − -18 ºС; в теплый период года: на севере − +10ºС. на юге − +23ºС.

Основная часть выпавших осадков приходится на летний период года, в среднем годовой объем осадков красноярского края составляет от 326 мм. Снежный покров устанавливается в ноябре и сходит в начале апреля, высота колеблется в пределах 150-1000 мм, в некоторых местах снег сохраняется круглый год.

Нефтесодержащие сточные воды образуется в количестве 80 м^{3}сут с преобладающим содержанием нефтезагрязняющих веществ − 1000 мг/дм^3. Качественный состав сточной жидкости представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 − Качественный состав сточной жидкости

Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Значение
Взвешенные вещества	мг/дм^3	800
Нефтепродукты	мг/дм^3	1000
pH	-	8-9
Щелочность	мг-экв/дм^3	0,2-6,2
Сухой остаток	мг/дм^3	300-1400
Окисляемость	мг·О/дм^3	30-300
SO_4^{-2}	мг/дм^3	300-500
Cl^-	мг/дм^3	20-70

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

2.1 Методы обезвреживания сточных вод загрязненных нефтепродуктами

Обоснование применяемого метода очистки сточных вод зависит от количества (расхода) жидкости, подвергающихся очистке, их физико-химический состав и его постоянство, равномерность поступления и целесообразность извлечения тех или иных компонентов (примесей), а также огромное значение имеет характеристика самого источника, в который будет, непосредственно, производится сброс стоков. При сбросе стоков в водоемы различного назначения (культурно-бытового, хозяйственно-питьевого или рыбо-хозяйственного) концентрация нефтепродуктов должна соответствовать предельно допустимым концентрациям (ПДК) нефтепродуктов в воде водоемов, что составляет 0,3 мг/дм^3, 0,01-0,05 мг/дм^3.[6,7]

Такой эффект может быть достигнут путем глубокой очистки и доочистки сточных вод. В виду сложности и разнообразности состава очищаемых стоков необходимая степень их очистки может быть достигнута путем применения различных методов, а то и их комбинацией:

- грубая очистка или механическая;
- физико-химическая;
- биологическая;
- химическая.

Начальной стадией очистки отработанных жидких субстанций в основном является механический (грубый) метод. Если очищенная (осветленная) жидкость, после начальной ступени очистки, отвечает определенным санитарно-техническим нормам для повторного использования в технологических процессах производства или для сброса в водоемы, то эта ступень может быть единственной. Сущность метода механической обработки загрязненных вод заключается в удалении нерастворимых грубодисперсных частиц размером до $1 \cdot 10^{-9}$ под действием естественной гравитационной силе и включает такие процессы как отстаивание, фильтрование (процеживание) и центрифугирование.

При применении для удаления нефтезагрязняющих веществ из сточной воды разнообразных химических компонентов, реагентов, коагулянтов, флокулянтов, а также сорбентов метод очистки сточной воды относится к физико-химической обработке стоков.

Химический способ обезвреживания сточных вод подразумевает окисление различных нефтепримесей сильными окислителями (озоном, хлором или окисление с применением электрического тока).

Растворенные органические вещества могут быть изъяты из сточной жидкости при помощи микроорганизмов, которые и под действием кислорода воздуха (аэробный процесс) или без него (анаэробный) производят ее окисление. Стадия окисления происходит после предварительного потребления органики в качестве компонентов необходимых для их комфортного

существования и размножения. Весь цикл биологического окисления сопровождается активным наращиванием бактериальной массы в виде излишнего активного ила или биопленки.[8]

2.1.1 Механическая очистка сточных вод

2.1.1.1 Механическая очистка сточных вод, основанная на процессе отстаивания

Механический метод очистки нефтесодержащих сточных вод от загрязнений в основном является первой ступенью обезвреживания или как бы подготовкой стоков для дальнейшего перехода на следующую ступень очистки. Этот метод основан на гравитационной силе, что является одной из отличительных свойств этого метода, также это первопричина того, что данный метод по сравнению с другими наиболее дешевый и простой. Недостатком этого метода является его недостаточно глубокая очистка, большое остаточное нефтесодержание, что не предоставляет возможным принимать его в качестве самостоятельного, единственного метода очищения стоков.

Данный метод делает возможным без особых усилий извлечь из сточной воды грубодисперсные, нерастворенные органические и минеральные частицы, а также частичное удаление примесей, находящихся в коллоидном состоянии. Такие частицы загрязнений имеют легко разрушаемую структуру и под действием сил гравитации оседают (если их плотность более плотности воды) либо всплывают (плотность менее плотности воды). Как правило, нефтепримеси, находящиеся в сточных жидкостях подверженных очистке, всплывают. Так как имеют нерастворенную структуру, что способствует образованию на поверхности стока непроницаемой пленки.

Наибольший эффект очистки методом осаждения может быть достигнут при охлаждении исходной сточной жидкости, этот факт обусловлен тем, что образованная ледяная пленка (корочка) в верхней части отстойного сооружения может быть удалена без особых усилий и незначительных затрат.[9]

Для осуществления этого метода механической очистки нефтесодержащих сточных вод на принципе гравитационного разделения различных эмульсий наибольшее распространение получили такие сооружения как нефтеловушки.

2.1.1.1.1 Нефтеловушка

Нефтеловушка − это сооружение, работа которого основана на принципе отстаивания, т.е. гравитационного отделения грубодиспергированых (нерастворимых) частиц, находящихся в состоянии капелек, размер которых не менее $1 \cdot 10^{-9}$ и частично частичек примесей находящихся в коллоидном состоянии. Свое применение находят нефтеловушки при начальной концентрации загрязняющих веществ более 100 мг/л. По конструктивному исполнению данные сооружения подразделяются на вертикальные, горизонтальные, радиальные нефтеулавливающие устройства. Обязательным

конструктивным дополнением нефтеловушки, является устройство, отвечающее за полноценное накопление (собирание) с последующим транспортированием всплывающих нефтезагрязненных частиц в накопительные сооружения.

Поднимающиеся на поверхность загрязненные субстанции отводятся посредством разнообразных средств, для собирания, соединения или компоновки загрязнений, не погруженных в толщу очищаемой жидкости, после чего они транспортируются, складируются, а за тем утилизируются. Результативность работы данного сооружения заключается в удалении основной части грубодиспергированых (нерастворенных) и частично коллоидных всплывающих нефтепродуктов. [10]

Нефтеулавливающие устройства, в своем конструктивном исполнении используют главное свойство нефтезагрязняющих частиц − всплывание, так как удельный вес частиц нефти меньше удельного веса воды. Это свойство частиц гарантирует надлежащее очищение сточной жидкости на данном этапе очистки, рациональность использования данного сооружения, а также минимизацию затрат на осуществление обработки.

В качестве примера приведены изобретения, одно из которых позволяет снизить расходы на очистку сточной жидкости, так как обезвоживание полученного концентрированного осадка от нефтестока не требуется. Другие же изобретения, интенсифицируют процесс разделения непостоянных водонефтяных эмульсий под воздействием сил гравитации, с помощью наклонных к стенке корпуса продольных пластин или оборудуют установку вертикальными перегородками, что повышает интенсивность гравитационного разделения. [11,12,13]

2.1.1.2 Механическая очистка сточных вод, основанная на процессе фильтрования

Фильтрование и процеживание − эти методы, основанные на пропускании загрязненной сточной жидкости через слой фильтрационного материала, состоящего из пористой загрузки или через специальные волокнистые, синтетические материалы. Фильтрующий слой обуславливает пропускание воды через тело фильтрующей перегородки и задержанию загрязняющих веществ в теле фильтрата или непосредственно на его поверхности, процесс фильтрования или процеживания может осуществляться при помощи разности давлений или гравитационной силы.

Различие между фильтрованием и процеживанием является тот факт, что при процеживании сточной жидкости загрязнения задерживаются на поверхности фильтрационного материала, а при фильтровании в толще фильтрата. Еще одной из отличительных признаков этих процессов является более глубокое извлечение загрязнений из исходной загрязненной жидкости в процессе фильтрования, т.е. извлечение более мелких фракций загрязняющих частичек.[10]

Фильтрование может происходить с образование слоя осадка, т.е. не производится закупоривание пор фильтрующей среды, либо происходит закупоривание пор − это когда загрязнения, проникшие в поры, остаются там, такое фильтрование не лишено недостатков, например значительное количество воды на промывку фильтрующего слоя, а также снижение скорости фильтрования.

В качестве фильтрующих материалов большое распространение получили фильтровальная бумага, различные волокнистые и синтетические ткани, перегородки из пористых материалов (стеклянного или металлического порошка) и т. д. [14]

Сооружение механической очистки сточной жидкости посредством фильтрования через коалесцирующие пакеты от нефтепродуктов, нашли широкое применение для более глубокого и эффективного разделения загрязняющих веществ от стоков. Блок очистки может быть оборудован жесткой перегородкой или рядом параллельно расположенных фильтрующе-коалесцирующих пакетов, которые позволяют обеспечить более высокую степень очистки исходных сточных вод, так как фильтрующе-коалесцирующие пакеты из пористо-ячеистого материала способствуют более тщательному задержанию и эффективной коалесценции нефтезагрязняющих частичек, а, следовательно, более глубокой очистке сточной воды. [15-18]

2.1.1.3 Механическая очистка сточных вод, основанная на процессе центрифугирования

Центрифугирование заключает в себе свойство разделения неоднородных систем, состоящих из всплывающих загрязняющих веществ и очищаемой жидкости в центробежном или центростремительном силовом поле, при помощи главного рабочего элемента, которым является вращающийся ротор. Процесс ускорения способствует созданию силового поля, за счет вращательного движения тела центрифуги, центробежные силы влияют на частицы по-разному, что и является основной причиной для разъединения эмульсий, смешанных систем и т.п. Процесс центрифугирования заключающийся в разделении двух жидкостей с различающимися удельными весами, способствует тому, что жидкость, обладающая меньшим удельным весом по сравнению с другой удаляется из сооружения непрерывно, а вот более тяжелая эмульсия подвергается периодическому изъятию из сооружения производящего обработку стоков по принципу центрифугирования.

Сооружениями для рациональной и максимально эффективной, насколько это возможно на данном этапе, очистки загрязненных нефтяными частицами сточных вод при помощи метода центрифугирования являются сепараторы и гидроциклоны.

Сооружения могут быть оборудованы проницаемыми и непроницаемыми перегородками, и в зависимости от этого процесс центрифугирования будет основан или на принципе фильтрования, или принципе отстаивания. Проницаемые перегородки предают этому методу определенные

специфические черты: процесс основан на методе фильтрования, только вместо перепада давлений ведущую роль занимают силы центробежного или центростремительного поля. Если перегородка является не проницаемой, то ход процесса приобретает характер отстаивания, но осуществляется он не под действием силы гравитации, а под воздействием центробежных, центростремительных сил, создающих центробежное поле, и в итоге этот метод приобретает характер, основанный на принципе стесненного отстаивания.

Процесс центрифугирования наиболее интенсивнее производит очистку исходных нефтезагрязненных сточных жидкостей от загрязняющих веществ, чем фильтрование или процеживание, не только по глубине очищаемой способности сооружения, но и времени обрабатывания стока. Также этот процесс не зависит от начального количества находящихся в исходных водах нефтезагрязняющих веществ, но главным ее недостатком является значительный расход электроэнергии, а также достаточно сложное конструктивное исполнение сооружений. [10]

2.1.1.3.1 Сепаратор

Сепарированием называют процесс физико-механической обработки нефтесодержащих сточных вод, при котором образуется тяжелая, а также легкая фазы, образованные при интенсивном воздействии на тонкодисперсные гетерогенные системы, в процессе закручивающегося движения исходной жидкости, при этом химический состав исходной нефтесодержащей воды, подверженной очистке, остается без изменения.

Сооружения для осуществления процесса сепарирования (разделения) называются сепараторами. Они могут осуществлять обработку нефтесодержащих сточных вод как самостоятельные сооружения или же входить в состав комплекса очистных сооружений. Конструкции сепараторов для интенсификации процесса разделения фаз оборудуются коалесцирующими насадками, т.е. насадками, способствующими агломерации (укрупнению, слиянию) капельных частичек загрязняющего вещества и более интенсивному их выделению, что обеспечивает наибольшую полноту очищения сточной воды и высокий эффект сепарации или разделения водной эмульсии.

Устройства сепараторов в своем принципе действия могут применять силы центробежного характера, коалесцирующие насадки, принцип гравитационного осаждения (отстаивания), вибрации и т.д. и на этом основание по характеру своего воздействия подразделяются на центробежные сепараторы, вибрационные, коалесцирующие, отстойные и т.д. По технологическому назначению сепараторы могут относиться к классу очистителей, когда происходит очищение стоков в основном от грубых примесей, разделителей, для разделения жидких не идентичных фаз или сгустителей, увеличивает концентрацию нефтезагрязненного вещества посредством его сгущения и отделения от жидкой фазы.

Значимым недостатком этого сооружения являются его конструктивная особенность и сложность, а также энергоемкие затраты.

Во избежание имеющихся недостатков приходят к комбинации положительных свойств нескольких видов сепараторов, например: коалесцирующего и отстойного сепараторов − это способствует повышению его производительности, увеличению эффекта очистки, а также установка приобретает значительно меньшие габаритные размеры. Также к увеличению качества сепарации и упрощению конструкции вводят такие технические решения как сообщающиеся секции на разных уровнях гидрофобного слоя, то у верхней границе, то у нижней.[19,20,21]

2.1.1.3.2 Гидроциклоны

Гидроциклоны − устройства для обработки сточных вод механическим способом, посредством сил центростремительного характера. Отделение грубодиспергированных суспензий производится с помощью, вращающейся в цилиндрическом корпусе сточной жидкости, за счет тангенциальной подачи через патрубки.

Водоворотное движение поступающих на очистку нефтесодержащих сточных вод, подлежащих сбросу, имеющих загрязненный характер, совершающийся с помощью электрических приборов, и потребление электроэнергии является недостатком этого способа. Вращение благоприятствует слипанию частиц, тем самым интенсифицирует скопление и выделение удаляемых загрязнений из СВ. [2]

Устройство гидроциклонов и центрифуг имеют отличительную способность, выражающуюся в способе образования вращательного движения сточной жидкости. Если в гидроциклонах оно обусловлено тангенциальным подводом исходной нефтезагрязненной сточной жидкости, то в центрифугах центробежное поле создается за счет интенсивного вращательного движения элементов механизма.

Гидроциклоны по своему конструктивному исполнению подразделяются на открытые (безнапорные) и закрытые, т.е. напорные, соответственно работающие в условиях атмосферного давления либо со сверх повышенным давлением на сливе.

Применяют гидроциклоны в самых разнообразных отраслях промышленности, по своему функциональному назначению, т.е. разделению тонкодисперсных гетерогенных систем, они могут быть эффективнее, чем нефтеловушки или другие сооружения механической отчистки. Явным и значимым недостатком данных сооружений является не полное использование турбулентных завихрений в центральной части рабочей камеры, которые способствуют коалесценции имеющихся загрязнений из-за незначительной продолжительности нахождения сточной жидкости в теле аппарата. [22]

Для очистки нефтезагрязненых сточных вод, как показывает практика, наиболее выгодней применение открытых (безнапорных) гидроциклонов, чем закрытых (напорных), так как их конструктивное решение способствует наибольшему эффекту очистки, за счет создания увеличивающейся к центру угловой скорости.

Интенсифицируют процесс разделения потока при помощи различных конструктивных решений: диафрагм, за счет вращательного движения в нижней части при помощи диска, что позволяет создать турбулентное перемешивание для уменьшения толщины пленки суспензий, а также оборудование цилиндрической части сооружения флотационной камерой с механическими лопастными мешалками. [23,24,25]

2.1.2 Физико-химический метод очистки сточных вод

По завершению механической очистки использованных в технологических целях жидкостей, когда из ее состава основная часть, присутствующих грубодиспергированных загрязняющих частиц была удалена, она проходит на следующий этап − физико-химическую обработку, где происходит удаление оставшихся растворенных примесей. Физико-химическая обработка нефтесодержащих сточных вод имеет большое значение в процессе очистки стоков, этот метод может быть принят как самостоятельная ступень обработки загрязненных жидкостей, так и совместно с другими методами очистки нефтесодержащих сточных вод, такими как химической, механической или биологической ступенью воздействия на сток для увеличения глубины очищения жидкости от загрязнений.

Физико-химический метод допускает произвести обработку отработанных вод с большим эффектом очищения, а также этот способ гарантирует стабильность достигнутого уровня удаленных из сточной жидкости эмульгированных нефтезагрязняющих компонентов, имеющих место, находится в данной обрабатываемой жидкости, полную автоматизацию процесса и возможность удаления биологически не окисляемых химически вредных компонентов.

Этот метод обработки стоков подразделяется на несколько подвидов, обладающих спецификой воздействия на загрязненные стоки:

- коагуляция или реагентный способ обработки нефтезагрязненых сточных вод;
- флотация − обработка стоков на принципе молекулярного прилипания загрязняющих воду частиц и пузырьков воздуха;
- сорбция − процесс поглощения загрязнений из сточных жидкостей твердым телом;
- мембранный метод (диализ) − пропускание сточной воды через тело мембраны, обладающей селективными свойствами.

Рациональность выбора и применения того или иного метода физико-химической обработки сточной воды зависит от таких показателей как количество стока, необходимая степень ее очистки, качество поступающей на обработку воды, равномерность поступления по расходу и концентрации.

2.1.2.1 Коагуляция

Коагуляция − это один из методов физико-химической обработки сточной жидкости, основанный на искусственном создании рыхлых хлопьевидных структур. Хлопья осадка создаются при помощи введения в исходную сточную жидкость химических соединений (коагулянтов), которые в процессе гидролиза, взаимодействия с водой образуют соединения или агрегаты укрупненных дисперсных частиц, подвергающиеся седиментации, т.е. осаждению. [4]

На практике, в качестве реагентов активное употребление нашли основные соли металлов (алюминий, железо), которые при прохождении реакции гидролиза образую нерастворимый осадок (гидроксид метала). Образованные нерастворимые хлопья гидроксида металла, имеют способность адсорбировать на поверхности эмульгированные и частично растворившиеся в исходной жидкости нефтепродукты. Удаление образованных хлопьев, совершается при помощи сил гравитации.

Процесс коагуляционной обработки сточной жидкости происходит в определенной последовательности. Начинается он с приготовления раствора реагента (коагулянта) и его точного дозирования, следующей ступенью этого процесса, является контакт сточной жидкости и реагентного раствора. Наибольший эффект достигается при тщательном перемешивании коагулянта с исходной сточной водой, продолжается это взаимодействие (стадия химических реакций) с образованием хлопьев, сбора загрязняющих частичек, а также их сорбирование телом образованной агломерации с последующим разделением очищенной сточной води и осадка при помощи седиментации, т.е. процесса осаждения под действием силы гравитации. [2]

Обработка сточной жидкости различными по природе происхождения коагулянтами (реагентами) обусловлена наличием некоторых отрицательных качеств − значительный расход исходного реагента, при контакте со сточной жидкостью в процессе химических преобразований образуются побочные элементы, которые по своим физико-химическим свойствам могут негативно сказываться на сооружениях, аппаратах, трубопроводах и т.д. Еще одним не мало важным недостатком данного метода является образовавшийся осадок, он по природе своего происхождения имеет большую обводненность, а вот обезвоживанию поддается очень трудно.

Для улучшения процесса коагуляции, повышения скорости образования хлопьев, увеличения их площади, обладающей адсорбционной способностью и в итоге улучшение осаждения полученных флоккул, достигается совместным введением с реагентом флокулянтов − высокомолекулярные, растворимые в воде полимерные соединения. Они, как и коагулянты по природе происхождения могут быть натуральными, синтетическими, органическими и неорганическими. [2,4]

Главной задачей при реагентной обработке − это получение максимального эффекта очистки при минимальном использовании смеси коагулянта с флокулянтом. При обработке исходной сточной жидкости

комплексом соединений − коагулянт (например, пентагидроксохлоридом алюминия) и наиболее распространенный флокулянт − полиакриламид, достигается минимальное остаточное содержание загрязняющего вещества при рациональном использовании исходного комплекса соединений. [26]

2.1.2.1.1 Электрокоагуляция

Главной составляющей этого технологического метода является способ создания осадка, который обладает адсорбционными свойствами, применяя растворимые аноды и воздействуя на них электрическим током.

Наличие в очищаемой сточной нефтезагрязненной воде анодов, изготовленных из металлов, в качестве которых применяют алюминий или железо, под воздействием на них постоянного электрического тока начинают растворяться в сточной жидкости. Таким способом, совершается насыщение жидкости ионами металлов, те в свою очередь подвергаются гидролизу и образуют хлопья, обладающие нужными нам свойствами. [2]

Метод электрокоагуляции принимают для извлечения из сточных жидкостей тонкодисперсных коллоидных примесей. Установки для осуществления данного процесса называются электролизерами, которые состоят из прочного, герметичного корпуса, прямоугольной или цилиндрической формы. Внутри корпуса размещены ряды параллельно расположенных электродных пластин, изготовленных из растворимых под действием электрического тока металлов (алюминия или железа). Расположение анодов может быть как вертикальным, которое более распространено так и горизонтальным, и соответственно подача исходной жидкости нисходящая-восходящая, или горизонтальная.[27, 28]

В процессе обработки нефтесодержащей сточной жидкости методом электрокоагуляции не образуется побочных солей, например ионов сульфатов, что является его положительным качеством, а также хлопья гидроксидов металлов обладают повышенной активностью и более высокими сорбирующими свойствами, чем хлопья, образованные в процессе реагентной обработки. Но образованный осадок не исключен недостатков − это его рыхлость, легкость, что приводит к затруднению его отстаивания, а также наличие такого свойства как плохое уплотнение. Главной технической задачей является повышение качества очистки. Это достигается при помощи регулирования продолжительности влияния электрического тока, также физической величины выражаемой в силе его воздействия, количества, качества растворимых анодов, при этом создание условий для минимизации возможных нежелательных условий, больших затрат электроэнергии и т.п. [29,30]

2.1.2.1.2 Гальванокоагуляция

Гальванокоагуляция, так же как и электрокоагуляция основывает свой принцип действия на растворении стружки металлов под действием электрического тока, но имеет рад отличий и преимуществ, таких как отсутствие расходов листового материала, значительно меньшее потребление электроэнергии, простота конструкции.

Гальванохимическая обработка сточной жидкости имеет цель разделения жидкой субстанции от различных примесей в электрическом поле, созданном под воздействием электрического тока. Очистка происходит за счет контакта очищаемой сточной воды с гальванопарой, имеющей разные потенциалы, которая состоит из смеси металлической стружки, из алюминия или железа − выступающей в роли анода и катодного материала (кокс, графитовая стружка − углеродсодержащие материалы), который интенсифицирует процесс растворения металлической стружки.[31,32]

Недостатками данного метода являются контроль соотношения металлической стружки и кокса и неудобство загрузки и разгрузки в барабан установки, также как электрокоагуляция этот метод не лишен недостатка сложной обработки (обезвоживания) образовавшегося осадка.[33]

Интенсификация процесса может достигаться наибольшим контактом металлической стружки и углеродсодержащего материала посредством вращательного движения цилиндрической рабочей камеры гальванокоагулятора. Экспериментально была установлена зависимость между эффективностью очистки эмульгированных нефтезагрязняющих веществ в гальванокоагуляторе и воздействием электрического тока на смесь гальванопар с очищаемой жидкостью, на основании исследований в данной отрасли были проведены эксперименты из которых окончательным результатом выявлен положительный эффект при воздействии асимметричного тока на процесс гальванокоагуляци. Воздействие установки обеспечивающую подачу асимметричного тока позволило не только улучшить эффект очистки сточной жидкости от растворенных нефтесодержащих загрязняющих частиц, но и в несколько раз уменьшить количество расходуемой электроэнергии.[34,35]

2.1.2.2 Флотация

Главной особенностью флотационного метода является очищение нефтесодержащих сточных жидкостей на молекулярном уровне при помощи пузырьков воздуха, которые при взаимодействии с загрязнениями, находящимися в сточной жидкости, создают совместную комбинацию «частичка-пузырек воздуха», при наличии сил взаимного притяжения и прилипания. Образованные таким образом агрегаты стремятся на поверхность, тем самым образуя в верхней части слоя очищаемой воды пенный слой.

По физическому состоянию, образуемые в ходе этого метода пузырьки, должны быть не слишком большого размера, так как такой пузырек, будет стремиться к поверхности со слишком большой скоростью, это приведет к

тому, что данный пузырек и находящиеся в сточной жидкости загрязняющие частицы не будут успевать контактировать и образовывать совместный агрегат «частичка-пузырек воздуха», а следовательно и эффекта очистки тоже не будет. Но также образованные пузырьки не должны быть и слишком малы, это приведет к тому, что данному пузырьку просто не хватит сил для транспортирования эмульгированых частичек загрязнения на поверхность, что также ведет к падению эффекта применяемого метода обработки вод.

Насыщение сточной жидкости пузырьками должного размера осуществляется разнообразными устройствами, от вида применяемого устройства для создания пузырьков флотационная обработка подразделяется:

-механическую (струйную) флотацию;

- напорную;

- электрофлотацию.

Механическая флотация – это один из видов флотационного способа обработки сточной жидкости, отличительной чертой этого метода, является подача, а также распределение воздуха при помощи механических приспособлений.

Напорная флотация по своему характеру воздействия от остальных разновидностей флотации отличается наличием перепадов давления, которые и играют ведущую роль данного процесса.

Метод флотационной обработки нефтезагрязненых сточных вод, процесс которого протекает, под воздействием электрического тока называется электрофлотацией. [36]

2.1.2.2.1 Метод струйной флотации

Флотация механического типа свой особенностью включает диспергирование воздуха пневматическим способом, т.е. подачу воздуха установками пневматического типа с прохождением его через пористые материалы или распределением и дроблением его при помощи механических устройств (насадки, патрубки и т.д.)

Отличительной чертой данного метода является его незначительное потребление электроэнергии, что способствует минимизации материальных затрат.

Пода воздуха может осуществляться в любых количествах, но воздух имеет свойство плохо диспергироваться, результатом чего является образование пузырьков размером неудовлетворяющим для эффективного очищения сточной жидкости от присутствующих загрязняющих нефтезагрязняющих частиц и в итоге качество сточной жидкости падает, а следовательно и эффективность применяемого метода.

Для равномерного распределения и более полного насыщения очищаемых вод пузырьками воздуха используются некоторые виды механических устройств.

Диспергирование воздуха может быть осуществлено при помощи механических устройств перемешивания, т.е. сооружение флотатора

оборудуется лопастями, турбинами, механическими мешалками, которые в результате вращательного движения и взаимодействия струй воздуха производят его дробление на более мелкие пузырьки, что увеличивает эффект очистки, а также способствует равномерному распределению пузырьков во всем объеме сточной жидкости.

Недостатком этого метода является потребление электроэнергии на вращение перемешивающего устройства, а также сложность конструкции установки и быстрый износ движущихся частей.

Еще одним более упрощенным механизмом диспергирования воздуха является его пропускание через пористые материалы, это в свою очередь упрощает конструкцию сооружения, а также образованные таким образом пузырьки имеют более эффективный результат при очистке. Но и это приспособление не лишено недостатка − забивание пор шламом, что способствует не равномерному распределению пузырьков в объеме сточной жидкости.[37]

Интенсифицируют процесс струйной (механической) флотации, благодаря увеличению эффекта насыщения воды пузырьками воздуха, а достигается это не только увеличением количества подаваемого воздуха, его дроблением и равномерностью распределения в объеме сточной жидкости, но также может быть, достигнут при помощи подогрева очищаемой сточной воды почти до температуры кипения. Пар, образуемый в результате подогрева, также оказывает положительное воздействие на процесс флотации. [38]

2.1.2.2.2 Напорная флотация

К особенностям напорной флотации можно отнести предварительное перенасыщение раствора воздухом под действием повышенного давления т.е. его растворение в объеме обрабатываемой сточной жидкости. Следующей стадией очистки является поступление перенасыщенного раствора во флотационную камеру, где под действием атмосферного давления или перепада, происходит его выделение с частичками загрязняющих сточную воду веществ на поверхности в виде пены. Пену собирают механически или самотеком и удаляют для дальнейшей переработки.

К нежелательным условиям этого метода относится создание герметичности установки, ее сложная конструкция, а, следовательно, и затрудненная эксплуатация и незначительная степень насыщения сточной жидкости воздухом, именно это способствует падению эффекта очистки и рациональности использования данного сооружения при очищении стоков со значительной концентрацией нефтезагрязняющих частиц. [39]

Улучшение процесса напорной флотации достигается самыми разнообразными способами, одни из которых включают специфичность подачи обрабатываемой загрязненной жидкости, т.е. через различные насадки, тангенциально или по оси движения воздуха и т.д. Возможность подогрева очищаемой воды почти до температуры кипения, также оказывает большой улучшающий эффект на очистку стоков, рециркуляция части сточной воды

уже прошедшей процесс флотации влияет на диспергирование газов только в положительную сторону, что также является достоинством данного метода. [40,41]

Часто для интенсификации процесса флотации применяют различные химические соединения, которые при взаимодействии с исходной сточной жидкостью выделяют пузырьки газов, обладающих свойством прилипать к загрязнениям и выносить их на поверхность.

На сегодняшний день существует множество работ исследующих свойства различных коагулянтов на воздействие процесса флотации. Также повышение эффекта очистки при этом методе может быть достигнуто при предварительном намагничивании сточной жидкости, что благоприятно сказывается на степени извлечения нефтепродуктов из сточной жидкости. [36,42,43]

2.1.2.2.3 Электрофлотация

Данный метод является более эффективным и перспективным методом среди безреагентной обработки нефтезагрязненных сточных вод. Электофлотационная обработка нефтезагрязненных сточных вод является методом тонкой очистки, в основе которого лежит электролиз воды. Обработка исходной, использованной в технологических целях на промышленном предприятии жидкости, воздействием заряженных частиц проходящих, через нерастворимые катоды и аноды. Итогом такого воздействия является образование на теле металлических катодов и анодов образование кислорода и водорода в качестве пузырьков газа, которые способны контактировать с загрязняющими частичками с последующим слипанием и выносом образованной агломерации на поверхность в виде пены. [44]

Установки для осуществления данного метода называются электролизерами и имеют множество конструктивных решений.

Очищая нефтезагрязненные сточные воды методом электрофлотации можно получить более глубокую очистку жидкости, а, следовательно, и подтвердить рациональность использования данного метода обработки вод, при помощи изменения параметров воздействующего на очищаемую сточную воду постоянного электрического тока, а именно изменение плотности и напряжения тока. Большое значение на эффект извлечения загрязнений из исходных отработанных вод оказывает количество и качество создаваемых пузырьков газов.

Возникающие на теле катодов и анодов газовые пузырьки, достигают определенного размера по эффекту наращивания объема. Объем пузыречка растет на теле анода (катода) то тех пор, пока не достигнет определенного размера, который способствует отрыву пузырька от места своего расположения и дальнейшего его продвижения сквозь толщу воды к верхней части сооружения.

Пузырьки на теле анода или катода начинают свой рост в шероховатых местах или же в местах имеющих выпуклости, т.е. делается вывод, что на

процесс образования газовых пузырьков влияние оказывает материал электродов, а также их физическое исполнение (пластины или проволока, имеющие определенную толщину и т.д.). [45,46]

Преимуществом данного метода является высокая дисперсность газовой смеси по сравнению с другими разновидностями флотации, простота насыщения сточной жидкости воздухом, образованные пузырьки имеют большую эффективность слияния с загрязняющей частичкой, также при применении данного метода исключено повторное загрязнение вод посредством образования в ходе химических реакций ионов солей.

Также этот метод не лишен и недостатков, низкая насыщаемость, что способствует увеличению времени воздействия тока на очищаемую сточную соду, а это ведет к увеличению потребления электроэнергии и значительным материальным затратам, еще одним из недостатков является засоряемость электродов, в виде отложений, что способствует снижению эффекта очистки и усложненным процессом их очищения. [47]

2.1.2.3 Сорбция

Одним из самых эффективных способов физико-химической очистки нефтезагрязненных сточных вод является метод сорбции. Процесс сорбции заключается в поглощении (сорбировании) загрязняющих веществ, другим веществом (сорбентом).

Физико-химическая обработка сточной жидкости методом сорбции, в основном применяется как метод доочистки, т.е. доведение стоков до нужной, регламентируемой документом концентрации.

В качестве сорбентов могут выступать самые разнообразные пористые материалы природного и минерального происхождения (зола, опилки, глины, синтетические материалы, угли и т.д.). Производство их может осуществляться самыми разнообразными способами и из различного сырья (шелуха, синтетические полимерные материалы и т.д.). [48-53]

Применение сорбентов самое разнообразное, какие-то могут обладать свойствами всплывания на поверхность воды, это свойство очень полезно при утилизации разливов нефти, другие сорбционные материалы наоборот после поглощения и насыщения своего тела загрязняющими частицами могут осаждаться. Самое распространенное применение − это фильтрование сточных жидкостей через слой сорбционного материала. [54,55]

Процесс сорбции могут осуществлять материалы, которые поглощают нефтезагрязняющие частицы поверхностью своего тела, и эта разновидность сорбции получила название адсорбция, которая более распространена для очистки нефтесодержащих сточных вод. Если поглощение загрязняющих частиц происходит не поверхностью сорбционного материала, а всей массой или объемом тела, то данный процесс называется абсорбцией.

Одной из главных характеристик сорбентов является их активность, которая может быть статической и динамической. [56]

Особенностью сорбентов может являться их способность восстанавливать свое сорбционное воздействие, при помощи регенерации. Положительной стороной этого процесса является то, что замена сорбента на новую партию не требуется, а отрицательной то, что затраты на сам процесс регенерации, а также тот факт, что сорбционная способность с каждым восстановлением теряет свою эффективность.

Интенсификация процесса сорбции заключается главным образом в продлении срока службы сорбента, а достигаться это может разными способами: предварительная обработка очищаемой воды флокулянтами, что способствует уменьшению нагрузки на сорбент; воздействие на процесс тепловой энергии, световой или электромагнитной. [57,58]

2.1.2.4 Мембранный метод

В основе мембранного метода лежит применение полупроницаемой перегородки, через которую под напором фильтруется сточная жидкость, но отличие ее в том, что она не способствует задержанию загрязняющих веществ в теле мембраны, а способствует разделению жидких растворов и прохождению только очищенной жидкости.

При анализе мембраны, обязательно обращают свое внимание на такие технические характеристики как, способность к разделению жидкостей, ее проницаемость (селективность), прочность и стоимость. [59]

Мембранный метод имеет несколько разновидностей

- микрофильтрация − процесс очистки происходит под действием давления, и сочетает в себе как фильтрование, так и примембранное разделение загрязняющих веществ;
- ультрафильтрация − наличие двух растворов, одно из которых это очищаемая вода, а другой раствор является перенасыщенным извлекаемыми загрязнениями;
- обратный осмос − самопроизвольное перемещение загрязнений в более концентрированную среду называется процесс осмоса, именно он и является ведущим звеном данного метода, а происходит это под действием давления, которое по своей величине превышает осмотическое. [60]

Общими недостатками разновидностей данного метода является накопительный концентрированный слой загрязнений около полупроницаемой мембраны, что способствует ухудшению работы данной установки, а также поддержание плотности устройства требует определенных затрат.

Этот метод позволяет глубоко очистить нефтесодержащие сточные воды при этом свести к минимуму потребление электроэнергии, обрабатываемые воды не нагреваются и не подвергаются химическому воздействию. Улучшить эффект очитки позволит комбинация методов биологической и мембранной технологий. [61]

2.1.3 Биологический метод обработки сточных вод

Биологическая обработка сточных вод, содержащих нефтезагрязняющие частицы, происходит с использованием микроорганизмов, которые усваивают органические загрязнения в качестве единственного источника углеродсодержащих соединений. В основе данного метода лежит принцип биохимического разложения органических соединений.[59]

Нефтепродукты по своему физико-химическому составу относятся к соединениям трудноокисляемым живыми микроорганизмами, это ухудшает процесс биоразложения, и в свою очередь, снижает эффективность работы биологических сооружений. Для решения данной проблемы были выведены определенные штаммы для окисления нефтезагрязненных эмульгированых соединений. [62,63]

Процесс биохимического окисления может происходить совместно с другими методами обработки нефтесодержащих сточных вод, например, совместно с коагуляцией, когда неорганический коагулянт, совместно с биоорганизмами контактирует с очищаемой жидкостью, это метод позволяет достичь более глубокого и интенсивного извлечения из исходных вод нефтесодержащих загрязнений. [64]

Сооружения для осуществления метода биологической обработки получили называние биореакторы. В биореакторах биомасса может быть закреплена наразличного рода носителях, в качестве которых могут выступать различные пористые синтетические материалы, с предварительной обработкой, для лучшего прикрепления загрязнений и биомассы, и без нее. [65,66]

По своему функциональному назначению биореакторы классифицируются на:

- периодического действия, т.е. все процессы очистки (окисление, нитрификация-денитрификация, отстаивание излишней биозагрузки) осуществляются в одном сооружении, это упрощает конструкцию, также они способны очищать стоки с разными концентрациями загрязнений и при колебаниях расходов, но необходимость применения биокатализатора является недостатком.

- непрерывного действия, т.е. процессы, могут протекать в разных частях сооружения или даже в разных сооружениях, но условия для всех стадий процесса биохимического разложения постоянны, в связи с этой особенностью в результате эффект работы сооружения зависит от количества и качества стока, равномерности поступления и постоянства концентраций загрязнений.

- мембранные биореакторы, использование мембран способствует интенсификации процессов биологической очистки, так как обеспечивает удержание биоорганизмов в сооружении, что влечет к более интенсивному увеличению их массы, улучшению эффекта отделения от очищенной воды. [67,68,69]

2.1.4 Химический метод обработки сточных вод

Метод химического воздействия нефтесодержащих отработанных вод, в технологической схеме очистки может быть применен в качестве доочистки стоков до оптимальных для сброса или повторного использования в производстве требований или как последняя ступень очистки, а точнее завершающее обеззараживание. Также возможно применение как предшествующая ступень перед биологической очисткой, для создания оптимальных и благоприятных условий для ее протекания.

Химическая обработка подразделяется на несколько видов, таких как нейтрализация, восстановление и окисление. Для нефтесодержащих сточных вод наиболее приемлемым методом является окисление различными химическими соединениями (сильные окислители) и электролизом.

Процесс химического воздействия по принципу окисления происходит под действием сильных окислителей, хлора, озона, а также некоторых других химических соединений. В результате данной обработки воды становятся менее загрязненными, а токсичные соединения подвергаются химическому окислению и приобретают характер менее токсичных или вовсе нетоксичных соединений.

Наиболее выгодными по технико-экономическим показателям, а также в наибольшей степени применяемыми химическими реагентами, в процессе окисления, оказались хлор и озон.

При хлорировании применяют хлор или его соединения, например, гипохлорид натрия или хлорную известь и т.д. Применяя в данном процессе хлор или его производные, образуются побочные соединения, которые провоцируют повторное загрязнение вод.

Озон химическое соединение, позволяющее проводить процесс окисления при нормальных температурах, без образования побочных продуктов, способствующих повторному загрязнению. Это химическое соединение способствует уменьшению цветности, устранению привкусов, запахов, т.е. улучшает органолептические свойства вод.

Но и этот окислитель не лишен недостатков, сложность насыщения воды газом (озоном), большие и сложные конструкции установок, неполное растворение газа в жидкости, что способствует потерям реагента и как результат затратам. Газ озона взрывоопасен и токсичен, что обязывает более тщательному контролю использования реагента и установок в процессе эксплуатации. [2,70]

Многие методы обработки нефтесодержащих использованных в технологических целях вод не дают необходимого эффекта очистки, для повторного их применения в системе водоснабжения или же сброса в источник, на этом основании был предложен способ обработки сточной жидкости при помощи воздействия на нее импульсного электрического разряда.

Воздействие импульсного электрического разряда производится как при помощи электродов, так и без них и способствует электрохимическому окислению нефтезагрязняющих частиц в сточных водах.

По итогам экспериментов и анализам их результатов авторами был сделан вывод, что воздействие на нефтесодержащие сточные воды импульсного разряда ведет к повышению скорости и глубины очистки стоков от нефтезагрязняющих частиц. [71,72,73]

Анализ современного состояния и перспектив развития технологий очистки нефтесодержащих сточных вод позволяет сделать вывод о том, что целесообразность выбора того или иного метода и схемы очистки сточных вод от нефтепродуктов зависит от состава, концентрации, режима поступления и объема стоков, технологических требований к очищенной воде, необходимости и возможности регенерации и повторного использования воды с учетом региональных условий.

Методы электрообработки получили развитие как эффективные и прогрессивные технологии очистки воды, так как они не увеличивают солевой состав очищенной воды и образуют значительно меньшее количество осадка. Для условий Сибири и Крайнего Севера электрохимические методы имеют существенные преимущества перед традиционными методами обработки воды.

Использование гальванокоагуляции позволит применять более рациональные объемно-планировочные решения, обеспечивающие экономию в строительной стоимости.

Несмотря на перспективность и экономичность гальванокоагуляции для очистки сточных вод до настоящего времени еще недостаточно полно изучены механизмы процесса очистки нефтесодержащих стоков, не определены оптимальные режимы, обеспечивающие эффективную очистку.

Изучив и проанализировав литературные источники и патентную документацию, были изучены различные методы обработки нефтесодержащих сточных вод, наибольший интерес вызвали методы электрохимической обработки − такие методы как электрокоагуляция и гальванокоагуляция.

Данные методы наиболее рациональны по технико-экономическому обоснованию в применении в данных территориальных условиях. В своей основе эти методы обработки нефтесодержащих сточных вод имеют как положительные, так и отрицательные стороны, опираясь на это необходимо не только изучить и исследовать интересующие нас методы обработки сточной жидкости, но и предусмотреть способы интенсификации данных процессов.

Учитывая изложенный выше вывод, была поставлена следующая задача:

1. Изучение процесса обработки нефтесодержащих стоков электрохимическим методом – электрокоагуляцией, для определения оптимальных режимов с помощью ротатабельного планирования эксперимента по методу Бокса-Хантера.

3 Экспериментальные исследования процесса электрообработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты

3.1 Методика определения нефтепродуктов в сточной воде

Наличие нефтепродуктов в сточных водах является весьма распространенными и опасными загрязняющими веществами, они наносят огромное негативное влияние на экологию окружающей среды. Содержание в стоках этих веществ − это обобщенный показатель, являющийся важнейшей характеристикой при оценке качественного состава стоков. Определение количественного нефтезагрязнения позволяет в значительной мере снизить степень антропогенного воздействия тем самым обеспечить контроль над соблюдением сохранности экологии окружающей среды.[3]

На протяжении долгого времени осуществлять контроль над количественным показателем наличия нефтезагрязнений являлось очень трудной задачей, так как спектр веществ составляющих нефтезагрязнения весьма разнообразен. В связи с этим были предложены самые разнообразные методики анализа сточной жидкости на наличие нефтезагрязнений, но наибольшее распространение получил метод инфракрасной спектроскопии.[74]

Метод инфракрасной спектроскопии − наиболее универсальный и точный метод определения количества нефтезагрязнений, состав которых в основном на 90% составляют алифатические и алициклические углеводороды. В основе процедуры анализа лежит выделение нефтезагрязнений при помощи экстракции с последующим их отделением от других классов загрязнений и определении количественного показателя по интенсивности их поглощения в инфракрасной области спектра фотометрическим способом.

Для осуществления данного метода в настоящее время применяют прибор типа «Концентратомер КН-2». Данный прибор состоит из корпуса, имеющий в наличии электронную систему, на внешней части расположено цифровое табло и кнопки. Прибор имеет кюветный отсек (для размещения кюветы), обязательно оборудованный откидной крышкой и находящийся сверху корпуса прибора. Технические характеристики прибора «Концентратомер КН-2» представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 − Технические характеристики прибора «Концентратомер КН-2»

Наименование	Единица измерения	Значение
Интервал определения значений массовой концентрации нефтепродуктов	мг/дм^3	0,02-100
Основная приведенная погрешность	%	2
Объем измерительной кюветы	мг	2,8
Потребляемая мощность	Вт	15
Питание от сети переменного тока	В	220
Питание от аккумуляторной батареи	В	12
Габаритные размеры	мм	115×250×280
Масса прибора	кг	5

Комплектация прибора:
- прибор «Концентратомер КН-2»;
- эксплуатационная документации (паспорт, руководство по эксплуатации, методика поверки);
- хроматографические колонки (6 шт.) и штатив.

Методика измерения массовой концентрации нефтепродуктов в сточных водах на приборе «Концентратомер КН-2»состоит из основных трех частей:

1 Экстракция (предварительно анализируемую пробу смешивают с реагентами (серной кислотой, хлоридом натрия и четыреххлористым углеродом)) − данный этап измерения проводят при помощи прибора экстрактора, в результате происходит расслоение водной и органической части;

2 Обработка полученного экстракта (предварительно осушенного сульфатом натрия) − целью данного этапа является получение элюата после пропускания экстракта через хроматографическую колонку.

3 Проведение измерения на приборе «Концентратомер КН-2» − устанавливают в прибор заполненную полученным раствором элюата кювету и фиксирование значение на электронном табло прибора.

Все измерения, используемые средства, вспомогательные приборы, реагенты и материалы, требования к условиям измерения, технике безопасности и квалификации операторов, подготовки прибора к использованию произведено согласно нормативному документу. [75]

Данная методика включена в государственный реестр для экологического контроля и мониторинга по химическому анализу и оценки состояния окружающей среды.

3.2 Исследование процесса электрообработки нефтесодержащих сточных вод

На протяжении всего времени наука и техника никогда не останавливалась в развитии и совершенствовании своих технологии по анализированию и изучению различных технологических и научных процессов. Главной научной методикой исследования того или иного процесса является экспериментальное исследование.

Эксперимент − искусственное создание специальных условий, в которых экспериментатор исследует такие свойства как поведение, изменение испытуемого объекта.

Достоинствами данного метода является повышенный контроль над процессом, достаточно точные полученные в ходе эксперимента данные. В противовес всему этому лежит тот отрицательный факт, что искусственно созданные условия значительно отличаются от реальных, эти условия не учитывают различные внешние воздействия риски и т.д. лабораторные условия, другими словами, идеальны.

Исследование процесса или объекта по характеру получения данных может быть классифицировано как пассивный эксперимент или активный.

Пассивный эксперимент подразумевает накапливание информации путем наблюдения за объектом при обычном их функционировании, а активный эксперимент позволяет уменьшить количество опытов, сократить время исследования и добиться большего эффекта путем искусственного воздействия на ход процесса по специально подготовленной программе. [76]

3.2.1 Планирование эксперимента по ротатабельному плану второго порядка Бокса-Хантера

В ходе экспериментального исследования полученная информация должна быть полной, достоверной и максимально точной, при этом сам эксперимент должен соответствовать определенным правилам:

- целесообразность применяемого метода;
- экономичность;
- рациональная продолжительность и т.п.

Достижение всех необходимых требований достигается при наиболее полном и максимально подходящем методе планирования эксперимента.

Любой эксперимент подразумевает проведение определенного количества опытов − изучение исследуемого процесса в одних и тех же условиях некоторое количество раз при фиксировании результатов исследования. Обработку нефтесодержащих сточных вод производили под действием постоянного тока в электролизере вместимостью 1000 мл, с использованием растворимых алюминиевых электродов площадью 2,96 дм^2, где расстояние между пластинами составляло 10 мм.

Результат (отклик) зависит от различных внешних воздействий, которые принято называть контролируемыми или варьируемыми факторами.

Планирование эксперимента − это выбор оптимальных условий для проведения определенного количества опытов, для получения достоверных и точных результатов, для последующего их анализа и составления математической модели. [77]

Планирование эксперимента позволяет повысить эффект экспериментального исследования процесса. В инженерной практике в основном применяются планы первого и второго порядков.

План первого порядка подразумевает получение уравнения регрессии, т.е. математической зависимости независимых переменных, на зависимую, только в первых степенях и их произведений.

План второго порядка подразумевает получение уравнения регрессии, состоящего также из факторов находящихся во второй степени.

На практике в основном свое внимание концентрируют на экспериментальном составлении матрицы, где столбцы выполняют роль факторов, а строки − опытов.

Матрица по своему функциональному назначению является планом эксперимента, который может быть ротатабельным или ортогональным.

Бокс и Хантер предложил ротатабельный план второго порядка, целью которого являлось получение композиционного ротатабельного плана, на

основании которого получаемая выходная величина всегда равноудалена от центра плана. [76]

В качестве контролируемых и управляемых факторов в ходе эксперимента приняты:

x_1 – начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм^3;

x_2 – плотность тока, А/м^2;

x_3 – производительность, дм^3/мин.

Оценивающие факторы:

y_1 – остаточное содержание нефтепродуктов, мг/дм^3;

y_2 – расход электроэнергии, кВт·ч/дм^3.

Плотность тока – физическая величина характеризующая силу электрического тока проходящего через активную (рабочую) площадь металлического анода, А/м^2.

Данная характеристика отвечает за кинетику растворения металлического анода.

$$j = \frac{I}{F}, \qquad (3.2.1.1)$$

где I – сила тока, А;

F – площадь анода, м^2.

Производительность – величина действия устройства, характеризующая эффективность произведенной работы данным оборудованием в соответствии с его конструктивными особенностями, техническими характеристиками и производственной квалификацией рабочих, дм^3/мин.

$$P = \frac{V}{t}, \qquad (3.2.1.2)$$

где V – объем сточной жидкости, дм^3;

t – время, мин.

Расход электроэнергии – это количество электрической энергии приходящейся на единицу обрабатываемой сточной жидкости, кВт·ч/дм^3.

$$W = \frac{I \cdot E \cdot t}{V}, \qquad (3.2.1.3)$$

где I – сила тока, А;

E – напряжение, В;

t – время, ч;

V – объем сточной жидкости, дм^3.

Для осуществления главного необходимого условия − ротатабельности плана, необходимо рассчитать величину звездного плеча, зависящую от количества контролируемых факторов (при k<5)

$$\alpha = 2^{\frac{k}{4}}, \qquad (3.2.1.4)$$

где k − количество факторов.

$$\alpha = 2^{\frac{3}{4}} = 1,68 .$$

Уровни варьирования контролируемых и управляемых факторов, определены на основе проведенного эксперимента и сведены в таблицу 3.2, где Δx − шаг изменения параметра; x_0 − нулевое значение параметра.

Таблица 3.2 − Уровни варьирования контролируемых и управляемых факторов

	x_1	x_2	x_3
Δx	300	15	1
x_0	700	30	2
+1	1000	45	3
-1	400	15	1
+1,68	1204	55,2	3,68
-1,68	196	4,8	0,32

Ротатабельный план или план полного факторного эксперимента − совокупность точек с координатами «+» или «-» находящихся в пространстве матричного планирования (таблица 3.3).

Количество опытов с 1 по 8 являются ядром плана, 9-14 звездными точками, которые удалены от ядра (центра) плана на величину звездного плеча (α), опыты с 15-20 являются дублирующими, выполняющие роль усреднения и анализа результатов эксперимента.

Заполнение матрицы начинается со столбцов 2, 3 и 4, которые соответствуют плану экспериментов, чередование знаков + и – происходят через один, после два и четыре знака. Столбцы с порядковыми номерами 5-10 выполняют соответствующие математические преобразования соответствующих значений с учетом знаков, 11-15 столбцы таблицы содержат численные значения контролируемых и оценочных факторов.[78,79]

Влияние отдельных факторов, а также возможность зависимости одних факторов от других имеет математическую зависимость в виде уравнения регрессии второго порядка

$$Y_i^{'} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{1-2} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{2-3} \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_{3-1} \cdot x_3 \cdot x_1 + \beta_{1-1} \cdot x_1^2 + \beta_{2-2} \cdot x_2^2 + \beta_{3-3} \cdot x_3^2, \quad (3.2.1.5)$$

где β − коэффициенты полинома;

x_1, x_2 и x_3 − контролируемые факторы.

Таблица 3.3 − Ротатабельный план второго порядка

	Кодированные значения									Натуральные значения			Отклик	
№	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_2 \cdot x_3$	$x_3 \cdot x_1$	x_1^2	x_2^2	x_3^2	Z_1	Z_2	Z_3	y_1	y_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1000	45	3	4,34	5,77
2	-1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	400	45	3	2,6	5,61
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	1000	15	3	9,26	1,03
4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	400	15	3	10,96	0,98
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	1000	45	1	3,5	14,05
6	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	400	45	1	1,3	16,0
7	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	1000	15	1	24,05	2,51
8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	4000	15	1	10,8	2,51
9	+1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	1204	30	2	13,8	5,64
10	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	196	30	2	5,13	4,8
11	0	+1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	700	55,2	2	5,7	13,8
12	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	700	4,8	2	18,6	0,47
13	0	0	+1,68	0	0	0	0	0	2,82	700	30	3,68	8,4	2,88
14	0	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	700	30	0,32	4,4	16,21
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	5,05	4,35
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	7,5	4,69
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	7,93	5,28
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	8,0	4,43
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	12,0	4,82
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	16,0	4,62
													∑179,32	∑120,45

На основании полученного матричного пространства, посредством математической обработки данных (приложение А.1) были выведены математические зависимости выходных параметров от варьируемых факторов, выраженные в уравнениях регрессии:

- для остаточного нефтесодержания

$$Y_1' = 9,462 + 2,2 \cdot x_1 - 4,76 \cdot x_2 - 0,964 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2,096 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,926 \cdot x_3 \cdot x_1 + 0,747 \cdot x_2^2 - 1,28 \cdot x_3^2 \quad (3.2.1.6)$$

-для расхода электроэнергии

$$Y_2' = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 0,23 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_3 \cdot x_1 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2 \quad (3.2.1.7)$$

Полученные уравнения проанализированы на значимость коэффициентов (или воспроизводимость) по критерию Стьюдента на уровне значимости в 5% и числе степеней свободы 5, незначимые коэффициенты были исключены из уравнения (приложение А.2).

Вывод о том, что уравнения регрессии адекватны, сделан опираясь на произведенный анализ по критерию Фишера (приложение А.3).

Для оценки влияния варьируемых факторов на значение выходного параметра (отклика), имеющиеся уравнения регрессии были приведены к натуральному масштабу:

-для остаточного нефтесодержания

$$Y_1^{'} = 6,052 + 0,0264 \cdot Z_1 - 0,63 \cdot Z_2 + 5,4 \cdot Z_3 - 0,00021 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,14 \cdot Z_2 \cdot Z_3 - 0,0064 \cdot Z_3 \cdot Z_1 + \\ +0,003 \cdot Z_2^2 - 1,28 \cdot Z_3^2 , \qquad (3.2.1.8)$$

-для расхода электроэнергии

$$Y_2^{'} = 3,159 - 0,0018 \cdot Z_1 + 0,389 \cdot Z_2 - 5,558 \cdot Z_3 - 0,131 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 0,0009 \cdot Z_3 \cdot Z_1 + 0,0025 \cdot Z_2^2 + \\ +1,408 \cdot Z_3^2 \qquad (3.2.1.9)$$

где Z_1 – исходной концентрации нефтепродуктов, мг/дм^3;

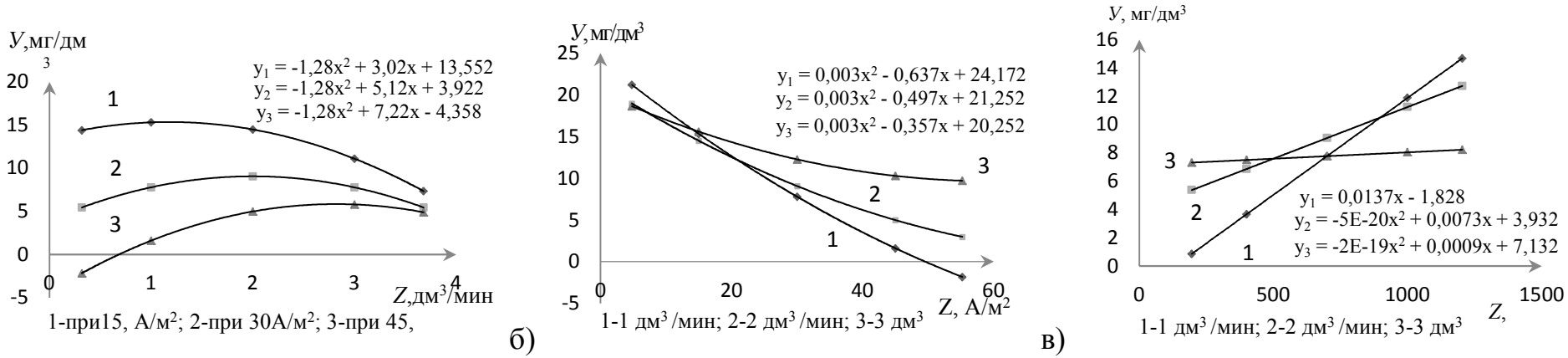
Z_2 – плотности тока, А/м^2;

Z_3 – производительности, дм^3/мин.

В результате спланированного эксперимента по рототабельному плану второго порядка Бокса-Хантера были получены математические модели по очистке сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты, которые позволили установить, что наибольшее влияние оказывает величина плотности тока, которая и определяет кинетику растворения анодов.

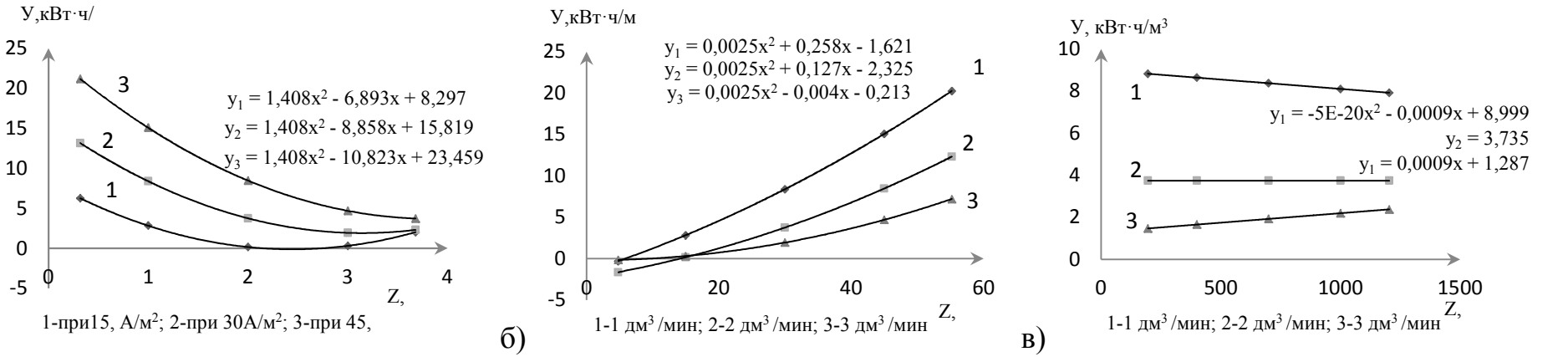
Задача в обработке экспериментальных данных заключалась не только в получении математических моделей, но и построение, при помощи программы Microsoft Excel, графических зависимостей (рисунок 3.1 и рисунок 3.2), что дает возможность увидеть, как изменяется выходной параметр (отклик) при варьировании факторов, т.е. зависимость отклика от того или иного фактора.

Должный результат получен при изменении сочетаний и значений параметров членов уравнений регрессий (приложение А.4).



а) от производительности; б) от плотности тока; в) от остаточного нефтесодержания

Рисунок 3.1 – Зависимости остаточного нефтесодержания от варьируемых факторов



а) от производительности; б) от плотности тока; в) от остаточного нефтесодержания

Рисунок 3.2 – Зависимости расхода электроэнергии от варьируемых факторов

На рисунке 3.1 изображены три графика, которые представляют собой зависимости остаточного нефтесодержания от таких факторов как производительности, при варьировании плотности тока; от плотности тока при варьировании производительности и третий от исходного нефтесодержания, в качестве изменяемого фактора – производительность.

Следующий рисунок 3.2 посвящен зависимости расхода электроэнергии от тех же факторов: от производительности, при варьировании плотности тока; от плотности тока при варьировании производительности и от исходного нефтесодержания, а качестве изменяемого фактора – производительность.

Все графические изображения выражающие зависимость исследуемых параметров отклика от варьируемых факторов, дополнены максимально приближенными математическими функциями (уравнениями аппроксимации), сущность которых заключается в выражении математической модели зависимости отклика от того или иного фактора.

Полученные с помощью факторного эксперимента уравнения регрессии (речь о которых шла ранее) являются не только математической моделью описывающей процесс электрокоагуляции, но и способствуют оптимизации эксперимента.

Целью оптимизации можно считать определение оптимальных условий для осуществления изучаемого процесса, результатом является получения наилучшего эффекта очистки (насколько это возможно), и при этом затраты на осуществления должны быт минимизированы.

3.2.2 Оптимизация процесса электрообработки нефтесодержащих сточных вод

Целью оптимизации уравнения полученного в ходе математической обработки экспериментальных данных является определение оптимальных условий, способствующих получению наилучшего результата при определенных условиях.

Полученные в ходе математических операций и графического изображения оптимальные зоны способствуют поиску условий для получения наилучших результатов по качеству очистки сточной жидкости. Также с их помощью можно управлять технологической схемой, производительностью, что благоприятно сказывается на устойчивой работе сооружения.[80]

Методов оптимизации экспериментальных данных существует большое количество, каждые из них имеет свои специфичные особенности, но задачей каждого из них является определение экстремальных (максимальных или минимальных) значений.[81]

Диссоциативно-шаговый метод оптимизации заключается в том, что имеется зафиксированный фактор, так называемый постулат, и изменяемые параметры. На основе из преобразований получают некоторые значения, из полученных параметров происходит построение поверхности отклика, а так как функция не имеет графических скачков, т.е. является гладкой, то можно

спрогнозировать возможное расположение экстремумов, при сравнении значений на определенном участке (зоне). [82]

Перебор всех значений отклика имеет большой объем математических преобразований, реализация которого практически невозможна, для решения этой проблемы приходят к выбору нескольких параметров отклика (на отклик по остаточному нефтесодержанию в сточной жидкости принимаем $У_1$ = 10,69; 13,68; 5,77, а по расходу электроэнергии рассчитываем на $У_2$ = 0,55; 2,54; 4,95; 14,78.), которые максимально соответствуют теоретическим и практическим значениям отклика. [83]

Уравнение регрессии имеет вид квадратичного, общий вид которого можно представить как

$$У = \beta_{ii} \cdot x_i^2 + \beta_i \cdot x_i + \beta_0 , \qquad (3.2.2.1)$$

где β_i – коэффициенты полинома;

x_i – контролируемые факторы.

Решением данного уравнения является

$$x = \frac{-\beta_i}{2 \cdot \beta_{ii}} \pm \sqrt{\frac{1}{\beta_{ii}} \cdot (\frac{\beta_i^2}{4 \cdot \beta_{ii}} - \beta_0 + y)} , \qquad (3.2.2.2)$$

где β_i , β_0 – коэффициенты полинома;

y – значение полинома.

После приведенного в приложении А.5 расчета, результаты которого на отклик по остаточному нефтесодержанию сведены в таблицу 3.4, а на отклик по расходу электроэнергии – в таблицу 3.5, составлена регулировочная диаграмма, с выделенной оптимальной зоной (рисунок 3.3).

Регулировочная диаграмма представляет собой проекцию поверхности отклика на плоскость, выраженную в изолиниях на определенных значениях отвечающих за остаточное нефтесодержание (черные изолинии) и расхода электроэнергии (красные изолинии).

Анализ пересечений красных и черных изолиний дает возможность определить оптимальные зоны, эти зоны на графике заштрихованы, которые отвечают за минимальное (насколько это возможно) остаточное нефтесодержание при рациональном использовании электроэнергии.

Регулировочные диаграммы позволяют не только найти оптимальные условия, которые одновременно удовлетворяют всем имеющимся откликам, но и способствуют контролю всего процесса электрообработки нефтесодержащих сточных вод.

Таблица 3.4 − Значения параметра производительности для уравнения регрессии на остаточное нефтесодержание

X_1	$У_1$	X_2				
		-1,68	-1	0	1	1,68
0	10,69	-1,375±2,97	-0,82±2	нет	нет	нет
	13,68	-1,375±2,55	-0,82±1,3	нет	нет	нет
	5,77	-1,375±3,56	-0,82±2,8	±1,7	0,82±0,64	1,375±0,41
-1	10,69	-0,62±2,08	-0,07±0,94	нет	нет	нет
	13,68	-0,62±1,42	нет	нет	нет	нет
	5,77	-0,62±2,86	-0,07±2,17	0,75±1,31	1,57±1,12	2,13±1,83
-1,68	10,69	-0,11±1,39	нет	нет	нет	нет
	13,68	нет	нет	нет	нет	нет
	5,77	-0,11±2,1	0,44±1,79	1,26±1,3	1,26±1,3	2,64±2,12
1	10,69	-2,13±3,8	-1,57±2,87	-0,75±1,79	нет	нет
	13,68	-2,13±3,47	-1,57±2,43	-0,75±0,94	нет	нет
	5,77	-2,13±4,27	-1,57±3,48	-0,75±2,66	0,07±0,85	нет
1,68	10,69	-2,64±4,34	-2,08±3,43	-1,26±1,88	нет	нет
	13,68	-2,64±4,06	-2,08±3,07	-1,26±1,09	нет	нет
	5,77	-2,64±4,76	-2,08±3,95	-1,26±2,71	-0,44±1,26	нет

Таблица 3.5 − Значение параметра производительности для уравнения регрессии на расход электроэнергии

X_1	$У_2$	X_2				
		-1,68	-1	0	1	1,68
0	0,55	-0,025±1,25	0,45±0,83	нет	нет	нет
	2,54	-0,025±1,73	0,45±1,45	1,15±0,68	нет	нет
	4,95	-0,025±2,17	0,45±1,95	1,15±1,48	1,84±0,94	2,31±0,37
	14,78	-0,025±3,42	0,45±3,28	1,15±3,30	1,84±2,8	2,31±2,67
-1	0,55	0,07±1,36	0,54±0,88	нет	нет	нет
	2,54	0,07±1,81	0,54±1,47	1,24±0,83	нет	нет
	4,95	0,07±2,23	0,54±1,97	1,24±1,55	1,94±1,04	2,41±0,56
	14,78	0,07±3,46	0,54±3,29	1,24±3,06	1,94±2,84	2,41±2,7
-1,68	0,55	0,07±1,44	0,61±0,97	нет	нет	нет
	2,54	0,07±1,86	0,61±1,53	1,31±0,93	нет	нет
	4,95	0,07±2,28	0,61±2,02	1,31±1,6	2,0±1,12	2,47±0,66
	14,78	0,07±3,49	0,61±3,32	1,31±3,1	2,0±2,87	2,47±2,72
1	0,55	-0,11±1,15	0,36±0,51	нет	нет	нет
	2,54	-0,11±1,65	0,36±1,29	1,05±0,51	нет	нет
	4,95	-0,11±2,1	0,36±1,84	1,05±1,4	1,74±0,13	2,22
	14,78	-0,11±3,38	0,36±3,22	1,05±2,99	1,74±2,77	2,22±2,64
1,68	0,55	-0,18±1,07	0,29±0,33	нет	нет	нет
	2,54	-0,18±1,6	0,29±1,23	0,98±0,35	нет	нет
	4,95	-0,18±2,07	0,29±1,8	0,98±1,35	1,68±0,75	нет
	14,78	-0,18±3,35	0,29±3,2	0,98±2,95	1,68±2,75	2,15±2,62

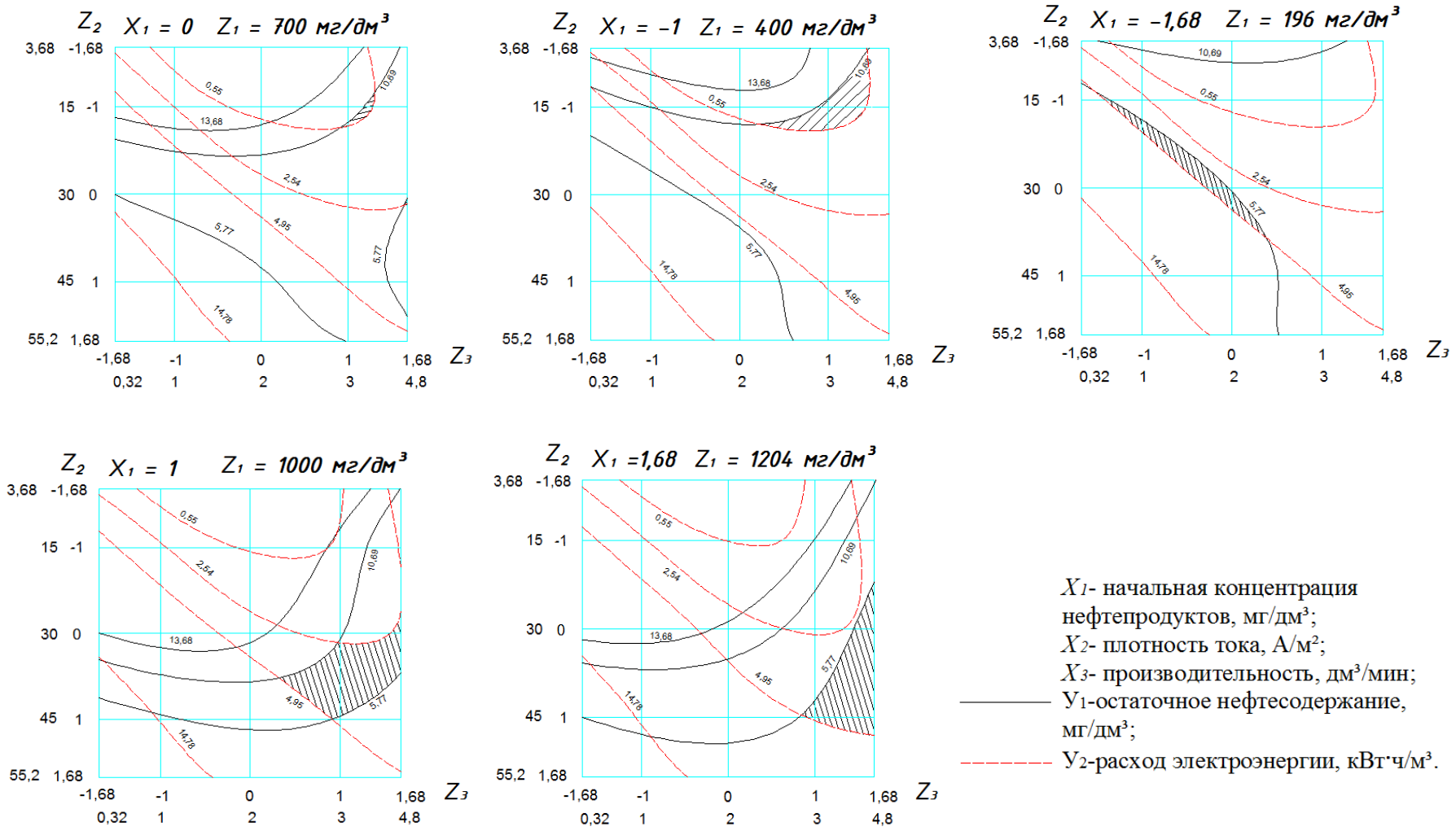


Рисунок 3.3 – Регулировочные диаграммы процесса электрокоагуляции

Процесс приведения системы электрокоагуляционной обработки сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты в оптимальное (наилучшее) состояние, когда эффект очистки максимален, а затраты минимизированы, производилось диссоциативно-шаговым методом, что позволило определить рациональные режимы электрообработки постоянным током.

Данное исследование в дальнейшем позволит регулировать процесс электрообработки сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты, получая в итоге стоки требуемого качества, также контролировать затраты на осуществления данного метода, в последующем возможность разработки технологической схемы обработки нефтесодержащих сточных вод и применения методов автоматизации данного процесса.

При анализе регулировочных диаграмм мы видим, что при рациональном проведении данного метода электрообработки нефтесодержащих сточных вод в результате получаем не достаточный эффект очистки, сточные воды не соответствуют нормам качества стоков допустимых до сброса, что требует применения методов доочистки.

3.3 Доочистка сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты

Необходимость в доочистке сочных вод содержащих нефтепродукты возникает достаточно часто, этому могут способствовать различные причины: несовершенство технологической схемы, ужесточение требований к качеству сточной жидкости направленной к сбросу в водный источник, изменение качественного и количественного состава сточной жидкости и т.д.

Положительными качествами данной ступени очистки является то, что воды прошедшие доочистку можно использовать в технологических процессах повторно, т.е. пустить воду в оборот, что снизит оказываемое негативное влияние на экологию окружающей среды, а также флору и фауну водного объекта от сброса недостаточно очищенных нефтесодержащих сточных вод.

Наибольшее распространение в практике приобрел метод доочистки основанный на фильтровании через различные сорбционные материалы. Он зарекомендовал себя как эффективный и надежный метод, который в свою очередь имеет достаточное количество положительных отзывов и его эксплуатация по сравнению с другими методами доочистки весьма проста.

В настоящее время фильтрационных материалов большое количество их природа происхождения очень разнообразна, они могут быть как естественного (песок, керамзит) так и искусственного (полимерные материалы) происхождения, с различными техническими характеристиками: масса, плотность, сорбционная способность и т.д.[84]

Целесообразность применения того или иного фильтрационного материала зависит от многих факторов: доступности сырья, его технические и экономические характеристики и в основном определяется при технико-экономическом сравнение вариантов.

Все чаще и интенсивней стали внедрять различные сорбционные материалы сырьем для производства, которых выступают различные отходы промышленных предприятий.

Применение этих сорбентов оправдано рациональностью их использование не только в экономическом направление, но и по техническим параметрам, свойства и технические характеристики этих материалов не уступают наиболее распространенным и зарекомендовавшим себя в производстве сорбентам, например, таким как различные виды активированных углей и т.д.

Изучая различные источники литературы используемым сырьем для производства сорбентов, выступают самые разнообразные отходы, например, отходы от подсолнечной лузги (растительное сырье), оливкового масла, а также валяльно-войлочного производства. Научные исследования показывают, что применяемые материалы обладают высокой сорбционной способностью, они экологически безопасны и экономически рациональны в применении.

Большое разнообразие сорбционных материалов на основе растительного сырья применяемого в целях доочистки нефтесодержащих сточных вод позволяет решать не только проблему с недостаточно очищенными стоками, но и проблему утилизации отходов, что благоприятно влияет на экономическую сторону предприятия и поддержание благоприятного экологического состояния окружающей среды. [85, 86,87]

Одним из альтернативных материалов, предлагаемых для сорбционной доочистки нефтесодержащих сточных вод, является гранулированный металлургический шлак Норильского ГМК. Данный шлак обладает большой механической прочностью и удельным весом, его состав содержит в основном преобладающее большинство оксидов алюминия и железа, способствующих образованию смешанного коагулянта, что в свою очередь интенсифицирует процесс коагуляции и повышает эффект очистки сточных вод содержащих нефтепродукты.[88]

Изучение данного материала как фильтрационного в качестве доочистки нефтесодержащих сточных вод позволило убедиться в его высокой коагулирующей способности. Данное свойство этого материала способствует более глубокой очистки стоков, а также позволяет решить одну из важнейших задач производства по утилизации образующегося металлургического шлака.[89]

Результаты проведенных исследований по электрокоагуляционной обработке нефтесодержащих сточных вод были использованы для разработки технологических схем очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты.

4 Технико-экономическое сравнение различных технологических схем обработки нефтесодержащих сточных вод

4.1 Технологический расчет сооружений для очистки сточных вод содержащих нефтепродукты

В результате обработки экспериментальных данных по составу сточной воды по количеству находящихся в ней загрязнений, а также изучению различных методов для очистки нефтесодержащих сточных вод предложены некоторые технологические схемы для доведения качественного состава стоков, до нормы, в результате которой сток может быть допущен до сброса или возвращен в оборот для использования в технологических целях.

Технологические схемы с применением различных методов очистки:

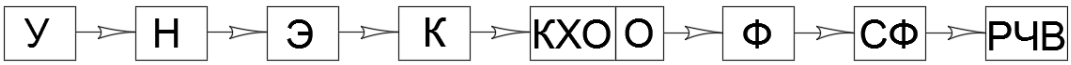
- электрокоагуляционный метод (базовый);
- метод коагуляции;
- метод гальванокоагуляции.

Расчет ведем на производительность сооружения представленную в таблице 4.1 и качество исходной сточной жидкости в таблице 1.1.

Таблица 4.1 − Производительность

$Q_{сут.}$, $м^3$/сут	$Q_ч$, $м^3$/ч	$Q_с$, $м^3$/с
80	5	0,001

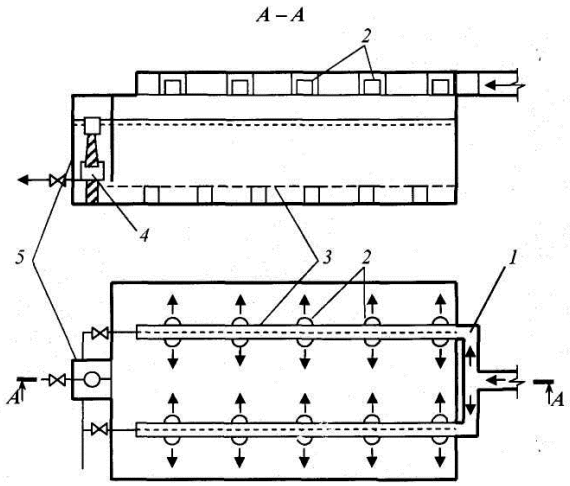
Технологическая схема с применением метода электрокоагуляции (рисунок 4.1) предполагает наличие таких сооружений как: резервуар-усреднитель, нефтеловушка, электрокоагулятор, колонна, камера хлопьеобразования, скорый фильтр, сорбционный фильтр; резервуар чистой воды.



У − усреднитель; Н − нефтеловушка; Э − электрокоагулятор; К − колонна; КХО − камера хлопьеобразования совмещенная с отстойником; Ф − скорый фильтр; СФ − сорбционный фильтр; РЧВ − резервуар чистой воды

Рисунок 4.1 − Технологическая схема с применением метода электрокоагуляции

Начальным сооружением данной технологической схемы является резервуар-усреднитель (рисунок 4.2). Он выполняет важную роль − усредняет сток по качеству и количеству, это позволяет регулировать качественную и бесперебойную работу всех сооружений комплекса очистной станции.



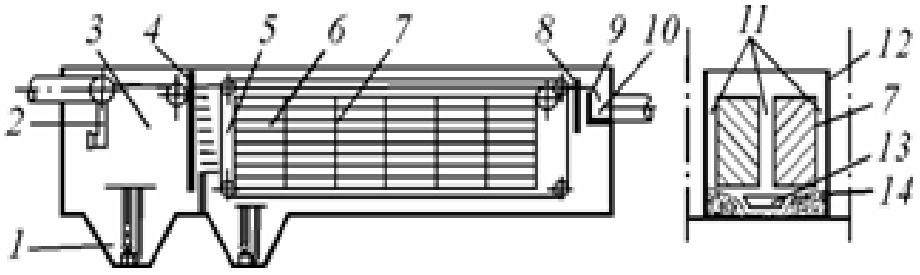
1 – подающий лоток; 2 – впускные отверстия; 3 – барботер; 4 – выпускное устройство; 5 – выпускная камера

Рисунок 4.2 − Резервуар-усреднитель

Усреднение стока в этом сооружении достигается при помощи интенсивного перемешивания, которое достигается барботированием воздухом. Важнейшим условием интенсификации работы сооружения является равномерное распределение сточной жидкости в объеме сооружения, достигается это подающими лотками с водораспределительными окнами.

Резервуар-усреднитель (расчет сооружения представлен в приложении Б.1) представляет собой прямоугольную металлическую емкость объемом в 40 м^3, имеющим две рабочих секции с размерами в плане 3000×3300×2000 мм, оборудованную барботером, представленным в виде воздуходувки марки ВК-1,5.

Главным сооружение механической очистки является нефтеловушка, (расчет представлен в приложении Б.2) оборудованная тонкослойными модулями (250×1500×1120 мм), т.е. объем отстойной зоны разделен наклонными перегородками, что способствует наилучшему разделению суспензий и эмульсий. Сооружение представляет собой двух секционный горизонтальный резервуар (рисунок 4.3) с размерами 2000×9000×1500 мм.



1 − приямок для осадка; 2 − впускное устройство; 3 − зона грубой очистки; 4 − распределительное устройство; 5 − зона тонкой очистки; 6 − ярусы; 7 − блок пластин; 8 − полупогруженная перегородка; 9 − водослив; 10 − водоприемный лоток; 11 − зазоры, перегораживаемые щитками; 12 − корпус; 13 − скребок; 14 − лоток

Рисунок 4.3 − Нефтеловушка

Следующим сооружением данной технологической схемы является электролизер (приложение Б.3) оборудованный колонной для выделения, образующихся в процессе обработки сточной жидкости пузырьков газов

$$2H_2O \xrightarrow{ток} 2H_2 \uparrow + O_2 \uparrow;$$

$$(катод"+") - 2H^+ + 2\bar{e} = H_2^0 \uparrow;$$

$$(анод"-") - 2O_2 - 4\bar{e} = O_2^0 \uparrow.$$

Данный метод позволяет отказаться от коагулянтов, что упрощает эксплуатацию данного метода и является экономически рациональным.

Электрокоагулятор (рисунок 4.4) состоит из корпуса прямоугольной формы (440×240×2250 мм), изготовленного из листовой стали, с наклонным дном, крышкой и электродной системой.

Электродные пластины, в количестве 11 штук, прямоугольной формы (420×1850 мм) установлены в блоки плоскопараллельно на одинаковом расстоянии друг от друга (10-20 мм). Объем жидкости над электродами не превышает 20 % общего объема электрокоагулятора. Обработка происходит под действием постоянного тока.

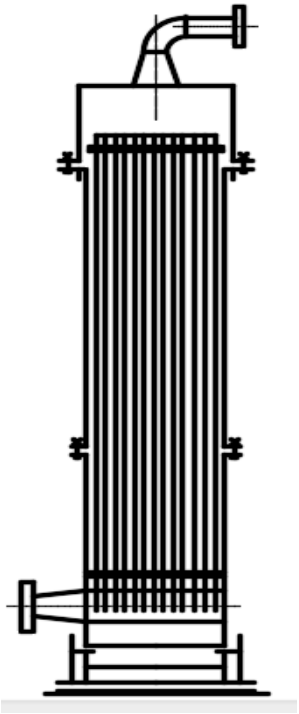
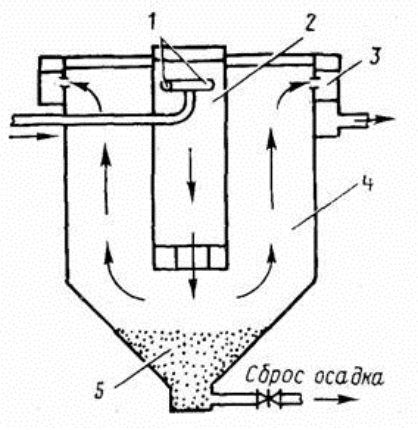


Рисунок 4.4 − Электрокоагулятор

Завершает процесс электрокоагуляционной обработки сооружение отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования (рисунок 4.5). Данное сооружение (расчет представлен в приложении Б.4) создает благоприятные условия для образования хлопьев гидроксидов металла и эффективного сорбирования загрязнений на своей поверхности.



1 – сопло; 2 – водоворотная камера хлопьеобразования; 3 – водосборный желоб; 4 – зона осаждения для поднятия воды; 5 – зона накопления осадка

Рисунок 4.5 − Отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования

Камера хлопьеобразования имеет цилиндрическую форму диаметром в 0,67 м и высотой в 3,6 м, отстойное сооружение имеет диаметр 2,2 м, а высоту в 4 м.

После того как процесс электрокоагуляции закончен вода проходит доочистку на скором фильтре (рисунок 4.6) загруженном гранодиаритом. Фильтр имеет диаметр в 1,0 м и высотой в 4,0 м (приложение Б.5).

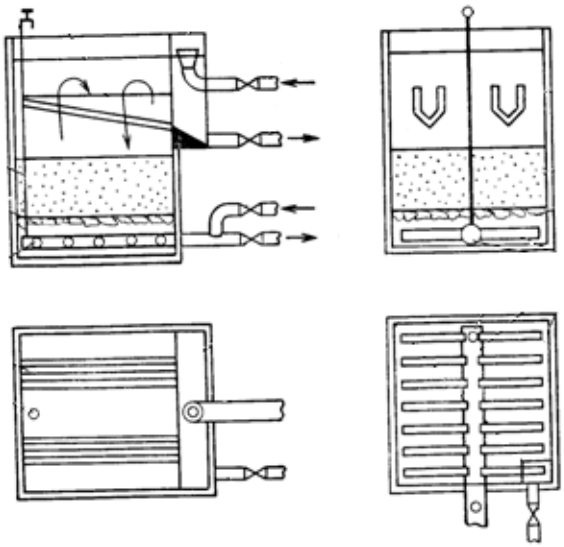


Рисунок 4.6 − Скорый фильтр

Гранодиоритовый песок для загрузки фильтров (ТУ 5712-001-42667422-01) признан наиболее качественным и всесторонне исследованным фильтрующим материалом, имеющим полный комплект утвержденной нормативно-технической документации. Учитывая высокую стоимость транспортных расходов по доставке антрацита, а также необходимость дополнительного дробления и рассева, стоимость гранодиоритового песка значительно ниже.

Гранодиоритовый песок применяется во всех типах зернистых фильтров, как в качестве основного фильтрующего слоя, так и для поддерживающих слоев.

В качестве сырья для производства гранодиоритового песка служат продукты дробления горной породы − гранодиорита, обладающего хорошими физико-механическими свойствами. Необходимые фракции получаются путем рассева и обогащения на специальном оборудовании отсева.

Технологические достоинства материала:
- высокая механическая прочность;
- большая пористость;
- большая удельная поверхность;
- возможность фильтрации с большими скоростями;
- большая грязеемкость;
- хорошие гидравлические характеристики.

Химический анализ гранодиорита (таблица 4.2) и водных вытяжек из него показал безопасность его применения с санитарно-гигиенической точки зрения. По сроку эксплуатации, механической прочности, грязеемкости, а также другим характеристикам гранодиоритовый песок не уступает антрациту.

Минералогический состав гранодиоритов:
- плагиоклаз – 33-70%;
- кварц – 12-15%;
- роговая обманка – 1-8%;
- эпидот – 3-13%;
- калиевый полевой шпат – 2-7%;
- биотит – 1-2%;
- хлорит – 3-5%;
- вторичный кварц – 1-3%;
- сфен – до 1%.

Таблица 4.2 − Химический состав гранодиарита

SiO_2	FeO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	FeO	CO_2
59,9	0,22	15,11	0,25	0,02	0,77	5,89	2,70	1,00	0,04	0,10	1,39	0,20
70,83	1,06	16,81	5,78	0,11	3,60	2,89	5,00	2,66	0,27	0,10	4,04	0,10
64,86	0,64	15,96	3,01	0,06	2,18	4,39	3,85	1,83	0,15	0,10	2,71	0,65

Содержание вредных примесей в гранодиоритах:
- глинистые минералы – отсутствуют;
- асбест – отсутствует;
- органические вещества (уголь, сланцы, гумусовые кислоты) – отсутствуют;
- минералы не устойчивые к процессам выветривания: апатит – в единичных зернах, хлорит – 3-5%;
- серы, вызывающей коррозию арматуры в бетоне – в 4 раза меньше допустимой нормы;

- аморфный кремнезем, вызывающий ухудшение качества поверхности бетона и внутреннюю его коррозию – отсутствует.

Дробленный фракционированный песок из отсевов дробления гранодиоритов поставляется в виде пяти фракций:

0 – 0,315; $\rho_{нас}$ – 1290 г/л;

0,315 – 0,5; $\rho_{нас}$ – 1215 г/л;

0, 5 – 1,0; $\rho_{нас}$ – 1265 г/л;

1,0 – 2,0; $\rho_{нас}$ – 1295 г/л;

2,0 – 3,0 (4,0); $\rho_{нас}$ – 1335 г/л.

Фракции получают разделением песка по граничному зерну, соответствующему размерам отверстий контрольных сит: 2,0; 1,0; 0,5; 0,315.

Содержание пылевидных частиц, определяемых отмучиванием, указано в таблице 4.3

Таблица 4.3 − Содержание пылевидных частиц

Фракция	Содержание пыли, %
0 − 0,315	25
0,315 − 0,5	3
0,5 − 1,0	2
1,0 − 2,0	2
2,0 − 3,0 (4,0)	1

Влажность не более 0,5%.

Марка по прочности песка из отсевов дробления – 1400.

Исходный материал, используемый для производства песка – отсевы дробления гранодиаритов, фракцией от 0 до 10 мм. Благодаря предварительной подготовке материала (сушка, дробление) и разделению на пять различных фракций, возможен выпуск песка с различным модулем крупности, удовлетворяющим любые сферы строительной деятельности.

Регенерацию фильтров производят продувкой воздухом с последующей промывкой фильтра горячей водой (60 – 80^{o}С) (приложение Б.6). Промывочная вода обычно подается снизу вверх (метод обратной промывки фильтров).

Для доведения качества сточной жидкости до норм ПДК необходимо предусмотреть стадию глубокой доочистки нефтесодержащих сточных вод (приложение Б.6) на сорбционном фильтре (рисунок 4.7).

Наиболее эффективными сорбентами являются активные угли (АУ) различных марок. Активные угли являются пористыми материалами.

Загрязнения заполняют объем микропор сорбента, поэтому их объем является одной из важнейших характеристик и приводится для соответствующих марок активных углей.

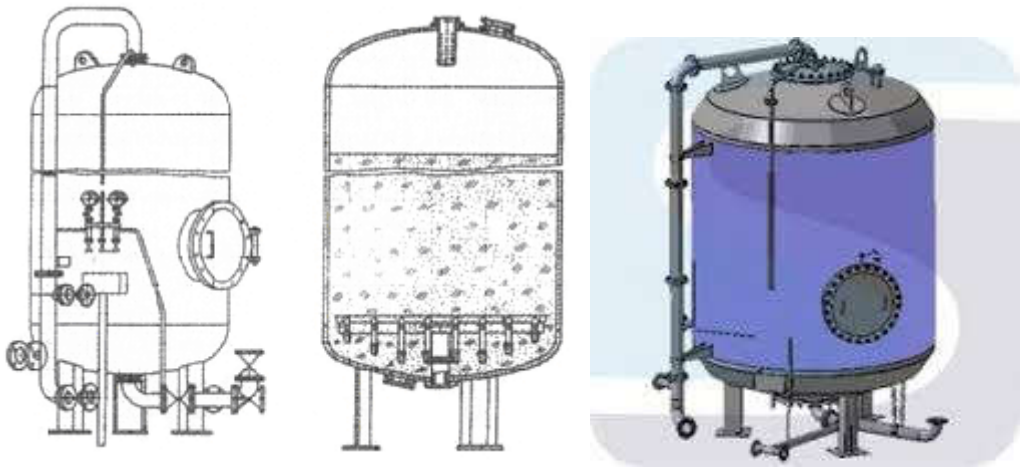


Рисунок 4.7 − Напорный сорбционный фильтр

После того, как стоки прошли стадию глубокой очистки на сорбционном фильтре, они собираются в резервуаре чистой воды (приложение Б.7), по качеству он соответствует требованиям для сброса в водоем.

Образующиеся осадки проходят различные стадии обработки: пленочные нефтепродукты предварительно обезвоживаются на центрифуге, а затем отправляются в котельные на сжигание. Образующийся в нефтеловушке осадок, также обезвоживается и отправляется на дальнейшую утилизацию.

Значительный объем осадка $W_{ос}$ = 2,4 м^3 образуется в сооружении отстойника, откуда он отправляется в шламонакопитель (расчет сооружения приведен в приложении Б.8), где может храниться значительный период времени (до 15 суток).

Технологическая схема с применением электрокоагуляционного метода обработки нефтесодержащих сточных вод позволяет получить на выходе воду, качество которой удовлетворяет всем требованиям. Данная технология имеет ряд преимуществ, так как она не способствует повторному загрязнению стоков (повышению солесодержания), установка компактна и легка в эксплуатации, но отрицательной чертой является значительное потребление электроэнергии.

Технологическая схема с применением метода реагентной обработки (рисунок 4.8) предполагает наличие таких сооружений как: резервуар - усреднитель, нефтеловушка, смеситель, реагентное хозяйство, камера хлопьеобразования, скорый фильтр, резервуар чистой воды.

У − усреднитель; Н − нефтеловушка; С − смеситель; КХО − камера хлопьеобразования; О − отстойник; Ф − скорый фильтр; СФ − сорбционный фильтр; РЧВ − резервуар чистой воды

Рисунок 4.8 − Технологическая схема с применением реагентного метода

Отличительной чертой этой технологической схемы является наличие реагентного хозяйства (приложение Б.9), которое позволяет получить сток необходимого качества, но при этом значительные затраты на складские помещения, квалифицированный персонал по работе с реагентами, вторичное загрязнение остаточными солями реагентов не положительно сказываются на данном методе.

В качестве реагентов применяют: коагулянт − сульфат алюминия, флокулянт − полиакриламид, подщелачивание известковым молоком. Хранение реагентов происходит в сухом теплом помещении, в течении 30 дней.

Для приготовления раствора коагулянта на очистных станциях применяют различные устройства: растворные баки W = 0,54 м^3, расходные баки W = 1,08 м^3, насосы – дозаторы.

Одним из распространенных дозирующих устройств является шайбовый дозатор, они относятся к напорным дозаторам пропорциональной дозы. Дозатор работает под действием перепада давлений в диафрагме, которая устанавливается на трубопроводе обрабатываемой воды.

На современных установках применяют автоматические системы дозирования раствора реагента. В качестве первичного датчика может быть применено устройство с электродом, который замеряет концентрацию в воде и по электрической цепи передает импульс на вентиль с электроприводом.

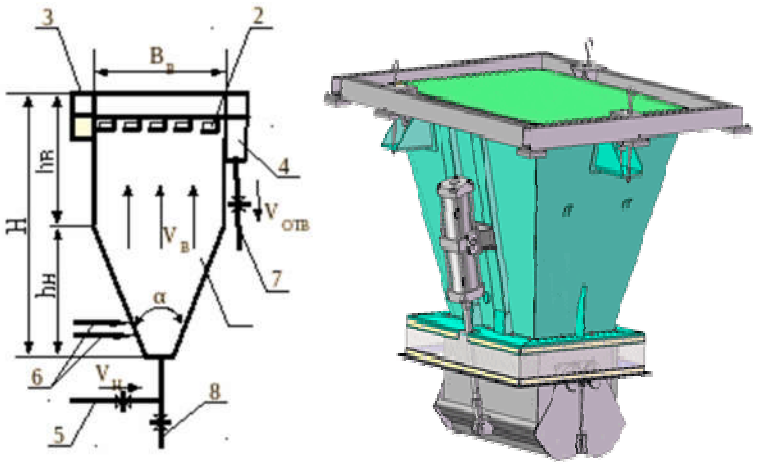
Принимаем один растворный бак и два расходных, габариты которых: h =1,0 м, f = 0,54 м^2, (0,75×0,75 м).

Для интенсификации процесса растворения под колосниковой решеткой по системе дырчатых труб подается сжатый воздух воздуходувкой ВК-1,5(кольцевая, простого действия со следующими параметрами: производительность 1,4 м^3/мин, габариты (660х562х850мм), мощность электродвигателя 4 кВт).

Принимаем для дозирования насос-дозатор марки НД 400/16:

- подача раствора реагента − 100-400 л/ч;
- давление нагнетания − 1,6 Мпа;
- мощность электродвигателя − 1,1 кВт;
- масса агрегата − 116 кг.

Для обеспечения необходимого контакта обрабатываемой сточной жидкости и применяемых реагентов используется сооружение смесителя (рисунок 4.9).



1 – корпус смесителя; 2 – отверстия сборного лотка; 3 – сборный лоток; 4 – боковой карман; 5 – подача воды в смеситель; 6 – ввод реагентов; 7 – отводящий трубопровод; 8 – сброс в канализацию

Рисунок 4.9 – Вихревой смеситель

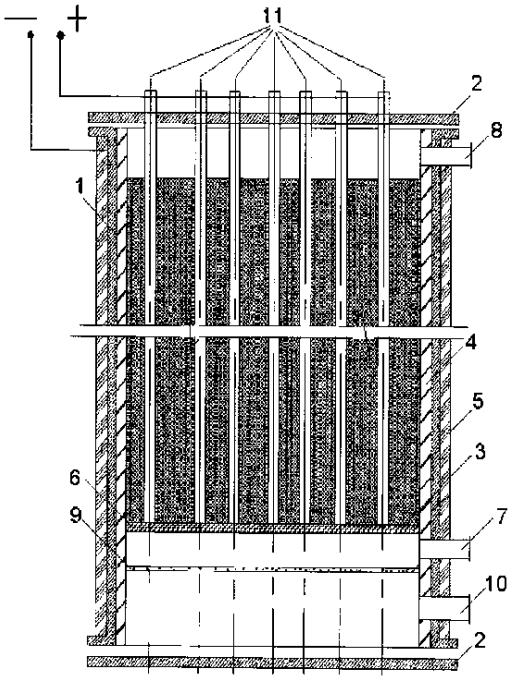
Смесители (расчет приведен в приложении Б.10) служат для быстрого и равномерного распределения реагентов в обрабатываемой воде, поступающей со скоростью 1 -1,2 м/с. Смешение осуществляется в течение 1-2 мин, после чего при помощи сборного лотка собирается в боковой карман, который принимается конструктивно с тем, чтобы в нижней его части разместилась труба для отвода воды.

В вертикальных смесителях обеспечивается относительно полное растворение частиц извести, т.к. они некоторое время движутся во взвешенном состоянии в турбулентном восходящем потоке воды.

В основе технологической схемы с применением гальванокоагуляции (рисунок 4.10) лежит обработка сточной жидкости в плоскости аппарата – гальванокоагулятора (рисунок 4.11).

У − усреднитель; Н − нефтеловушка; Г − гальванокоагулятор; КХО − камера хлопьеобразования; О − отстойник; Ф − скорый фильтр; СФ − сорбционный фильтр; РЧВ − резервуар чистой воды

Рисунок 4.10 − Технологическая схема с применением метода гальванокоагуляции



1− корпус; 2 − крышка; 3 − загрузка; 4 − перфорированный диэлектрический материал; 5 − наружная изоляция; 6 − дренажный диск; 7,8 − патрубки подачи и отвода сточной воды; 9 − диспергирующая перегородка; 10 − подача воздуха; 11 − аноды

Рисунок 4.11 − Гальванокоагулятор

Метод основан на сорбционных и ионообменных способностях оксидной ферропульпы, образующейся, за счет гальванохимического растворения анодной загрузки − металлическая стружка, при пропускании через нее очищаемых сточных вод. Для интенсификации процессов растворения стружки и образования ферропульпы в гальванокоагулятор дополнительно загружается катодный материал, в качестве которого применяют активированный уголь.

По результатам расчета (приложение Б.11) технические характеристики элементарного гальванокоагулятора:

- производительность 4,99м^3/ч;
- габаритные размеры:
  - высота 1,31 м;
  - диаметр -0,7м;
- диаметр центрального стержня 0,05м;
- масса алюминиевой стружки 77 кг;
- масса активированного угля 31,5кг;
- максимальная потребляемая мощность не более 0,5 кВт ч/м^3

Требования, предъявляемые к активной загрузке: активированный уголь необходимо промыть и отфракционировать. Крупность зерен загрузки АУ – 2,5-5мм. Алюминиевую стружку следует предварительно обезжирить и протравить. Оптимальный размер стружки – 5-10 мм.

4.2 Экономическое обоснование выбора рационального метода очистки нефтесодержащих сточных вод

4.2.1 Расчет социального годового экономического эффекта

4.2.1.1Ущерб от сброса сточных вод

Экологический ущерб от сброса недостаточно очищенных нефтесодержащих сточных вод (приложение В.1) может быть нанесен как при единовременном (залповом) сбросе, так и систематическом их поступлении в водоем.

Ущерб, вызванный загрязнением водоемов, может оказывать негативное воздействие на флору и фауну водного объекта (ухудшение качества рыбы, изменение окраски, появление несвойственных запахов, привкусов, пятен и других порочащих признаков, изменение растительности водоема и т.д.), заболачивание водоема и ухудшении качества воды.

При расчетах пользовались постановлением Правительства РФ от 19.11.2014 N 1219 "О коэффициентах к нормативам платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления".

Количество выбросов j^{zo} назначения и допустимое количество *i*-го компонента, а также экономический ущерб выраженный в денежном эквиваленте У, руб./г., от сброса в водный объект загрязненных сточных вод представлены в таблице 4.4

По типовой методике [90] экономический ущерб выраженный в денежном эквиваленте У, руб./г., от сброса в водный объект загрязненных сточных вод:

- не прошедших очистку $У_{без.оч.} = 1,36 \cdot 1,15 \cdot 2,67 \cdot 414,2 = 1729,65$ тыс. руб\г;
- прошедших очистку $У_{с.оч.} = 1,36 \cdot 1,15 \cdot 2,67 \cdot 13,52 = 57,7$ тыс. руб/г.

Таблица 4.4 − Размер вреда от сброшенных веществ

Показатели	Класс опасности	ПДК, $C_{\partial i}$, мг/дм^3	Количество выбросов, мг/дм^3		$\frac{C_{\phi i}}{C_{\partial i}}$		Масса сброшенных загр. ве-тв, M_i, т/г		Такса, H, тыс.руб\т	$K_{из}$		Размер вреда от сброса загрязняющего вещества $У$, тыс. руб.·г	
			без очистки	с учетом очистки	без очистки	с учетом очистки	без очистки	с учетом очистки		без очистки	с учетом очистки	без очистки	с учетом очистки
Взвешенные вещества	-	5,25	12	5,25	2,28	1	0,25	0,11	10	1	1	2,5	1,1
Нефтепродукты	3	0,05	5	0,05	100	1	0,104	0,001	670	5	1	378,4	0,67
SO_4^{-2}	4	100	300	100	3	1	6,24	2,1	5	1	1	31,2	10,5
Cl^-	4	300	20	12	0,07	0,04	0,42	0,25	5	1	1	2,1	1,25
												∑414,2	∑13,52

4.2.1.2 Платежи за выброс загрязняющих веществ

Законом "Об охране окружающей среды" установлена плата за негативное воздействие на окружающую среду, организациями, деятельность которых оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Плата за негативное воздействие на окружающую среду (или плата за загрязнение окружающей среды) является формой компенсации ущерба, наносимого загрязнением окружающей природной среде, и перечисляется предприятиями, в бесспорном порядке.

Расчет платежей производится организациями с применением нормативов платы и коэффициентов, учитывающих экологические факторы, утвержденные постановлением Правительства РФ от 12 июня 2003 года N 344.

Нормативы платы за сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты установлены в рублях за 1 тонну по 198 видам загрязняющих веществ.

Расчет оплаты природопользователей за сброс загрязняющих веществ в водный объект (приложение В.2), как допустимой концентрации, так и за превышение сведен в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 − Плата за выброс загрязняющих веществ

Компонент	Масса ве-ва, т/г		Норма платы, руб/г		Плата, руб/г		
	с учетом очистки	без учета очистки	с учетом очистки	без учета очистки	за сброс	за превышение	общ
Взвешенные вещества	0,11	0,25	366	1830	40,26	256,6	296,46
Нефтепродукты	0,001	0,104	5510	27550	5,51	2837,65	2843,16
SO_4^{-2}	2,1	6,24	2,8	14	5,88	57,96	63,84
Cl^-	0,25	0,42	0,9	4,5	0,23	0,77	1,0
					∑52,08		∑3204,46

$$П_{без.оч} = 1,7 \cdot 1,4 \cdot 3204,46 = 7626,61 \text{ руб/г};$$

$$П_{с.оч} = 1,7 \cdot 1,4 \cdot 52,08 = 123,95 \text{ руб/г}.$$

Вне зависимости от выбранного способа внесения платы за негативное воздействие на окружающую среду, по итогам года фактический объем выбросов и сбросов загрязняющих веществ, размещенных отходов определяется из данных государственных форм статистической отчетности № 2-тп (водхоз) «Сведения об использовании воды», и до 20 января следующего года производится уточнение расчета внесенной платы.

Суммы излишне внесенных платежей засчитываются предприятию в счет платы следующего квартала.

Поскольку расчет платы достаточно сложен, по согласованию с территориальными органами Министерства налогов и сборов органы

государственного экологического контроля осуществляют проверку правильности расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду, осуществленного природопользователем.

Оплачивая ущерб, причиняемый окружающей среде, и стоимость за сброс видим, что применяя схему очистки нефтесодержащих сточных жидкостей возможно сэкономить

$$Э = (У_{без.оч.} + П_{без.оч}) - (У_{без.оч.} + П_{без.оч}), \quad (4.2.1.2.1)$$

где $У_{без.оч}$ − ущерб от сброса сточной жидкости не прошедшей глубокую доочистку, руб/г;

$У_{с.оч}$ − ущерб от сброса сточной жидкости прошедшей глубокую доочистку, руб/г;

$П_{без.оч}$ − плата за выброс сточной жидкости не прошедшей глубокую доочистку, руб/г;

$П_{без.оч}$ − плата за выброс сточной жидкости прошедшей глубокую доочистку, руб/г.

$$Э = (1729650 + 7627) - (57700 + 124) = 1679453 \text{ руб/г, } (1{,}679 \text{ тыс.руб/г}).$$

4.2.2 Экономический расчет

На сегодняшний день главной составляющей при выборе рациональной схемы очистки сточных вод содержащих нефтепродукты является его оценка экономической эффективности. Свое выражение экономическая эффективность той или иной технологической схемы нашла в соотношении полезного конечного результата, в нашем случае это очищенные до нормы сточные вод, к затраченным для этого ресурсам.

Анализ экономической эффективности происходит посредством сравнения технологических процессов, в основе которых лежит:

- метод электрокоагуляции (базовый);
- метод реагентной обработки;
- метод гальванокоагуляции.

Рациональность выбора того или иного метода обработки нефтесодержащих сточных вод заключается в получении наилучшего эффекта очистки при минимизации затрат на осуществление этого процесса.

Экономическое обоснование исследуемого метода начинается с определения необходимых капитальных вложений.

Капитальные вложения (внеоборотные активы) − количество инвестиций в основном фонде, необходимых на приобретение оборудования, сырья, возведение объекта, выполнение строительно-монтажных работ, т.е. затраты материальных, трудовых и денежных ресурсов.

Определяя капитальные вложения (приложение В.3) учитывалась сумма только прямых затрат, т.е. затрат напрямую связанных с технологическим

процессом очистки одного кубометра сточной жидкости. Общая сумма капитальных вложений состоит их трех составляющих частей: затраты на строительно-монтажные работы, затраты на приобретение оборудования и его монтажа.

Необходимое количество капитальных вложений (таблица4.6) для реализации инвестиционных проектов по очистке нефтесодержащих сточных вод производительностью в 80 $м^3$/сут, складывается из суммы необходимых сооружений и оборудования для эффективной работы всего комплекса очистной станции.

Таблица 4.6 − Капитальные вложения

№ п/п	Оборудование	Кол-во	Стоимость, тыс.руб	Инвестиционные проекты		
				1(базовый)	2	3
1	Усреднитель 7000×3000×2000 мм	1	1005	1005	1005	1005
2	Нефтеловушка (тонкослойный модуль)	1	754,4	754,4	754,4	754,5
3	Электролизер	2	40,72	81,44	-	-
4	Расходный бак кислоты, W = 0,5 $м^3$	1	22,0	22,0	22,0	22,0
5	Расходный бак щелочи, , W = 0,5 $м^3$	1	22,0	22,0	22,0	22,0
6	Промежуточная емкость, W = 0,42 $м^3$	1	67,5	67,5	-	67,5
7	Воздуходувка, ВК-1,5	2	97,5	195,0	195,0	195,0
8	Отстойник с камерой хлопьеобразования	1	645,2	645,2	645,2	645,2
9	Фильтр с зернистой загрузкой (гранодиоритовый песок)	2	188,0	376,0	376,0	376,0
10	Сорбционный фильтр	2	330,0	660	660	660
11	Резервуар чистой воды, Germes-Plast-OC-15000 , W = 12,0 $м^3$	1	214,3	214,3	214,3	214,3
12	Резервуар горячей воды, W = 0,11 $м^3$	1	10,2	20,2	20,2	20,2
13	Резервуар грязной воды, W = 0,22 $м^3$	1	21,41	40,41	40,41	40,41
14	Бак замасленных отходов, W = 0,2 $м^3$	1	21,41	21,41	21,41	21,41
15	Бак пленочных отходов, W = 0,1 $м^3$	1	10,2	10,2	10,2	10,2
16	Шламонакопитель	1	230,0	230,0	230,0	230,0
17	Центрифуга, ДАКТ	1	16,0	16,0	16,0	16,0
18	НС -1 Calpeda NM4 25/160AE	2	28,0	56,0	56,0	56,0

Окончание таблицы 4.6

№ п/п	Оборудование	Кол-во	Стоимость, тыс.руб	Инвестиционные проекты		
				1(базовый)	2	3
19	НС -2 Calpeda NM4 25/160AE	2	28,0	56,0	56,0	56,0
20	Насос промывной воды, Calpeda NM4 25/160AE	2	28,0	56,0	56,0	56,0
21	Насос технической воды, Calpeda NM4 25/160AE	2	28,0	56,0	56,0	56,0
22	Насос для перекачки загрязненной воды, Calpeda NM4 25/160AE	2	28,0	56,0	56,0	56,0
23	Насос для перекачки пленочных нефтепродуктов,	1	22,0	22,0	22,0	22,0
24	Песковой насос	1	22,0	22,0	22,0	22,0
25	Насос-дозатор щелочи НД1,0Р100/10К14В	2	43,0	86,0	86,0	86,0
26	Насос-дозатор кислоты НД1,0Р100/10К14В	2	43,0	86,0	86,0	86,0
27	Смеситель	1	59,0	-	59,0	-
28	Растворный бак коагулянта, 1000×750×750	1	22,0	-	22,0	-
29	Расходный бак коагулянта, 1000×750×750	2	22,0	-	44,0	-
30	Насос дозатор коагулянта, НД 400/16	2	43,0	-	86,0	-
31	Гальванокоагулятор	2	60,0	-	-	120,0
32	Склад реагентного хозяйства, $F = 2{,}5$ м^2	1	42	-	105,0	-
Сумма капитальных вложений, тыс.руб				3721,84	4384,2	4255,72

Технико-экономический анализ исследуемых методов обработки сточных вод производится по нескольким главным критериям (приложение В.4): эксплуатационным затратам, приведенным затратам, себестоимости и рациональности вкладываемых средств, сведенных в сводную таблицу 4.8.

Эксплуатационные затраты представляют собой совокупность расходов необходимых для осуществления нормального функционирования используемого оборудования, сооружений и всей системы очистки (рисунок 4.12).

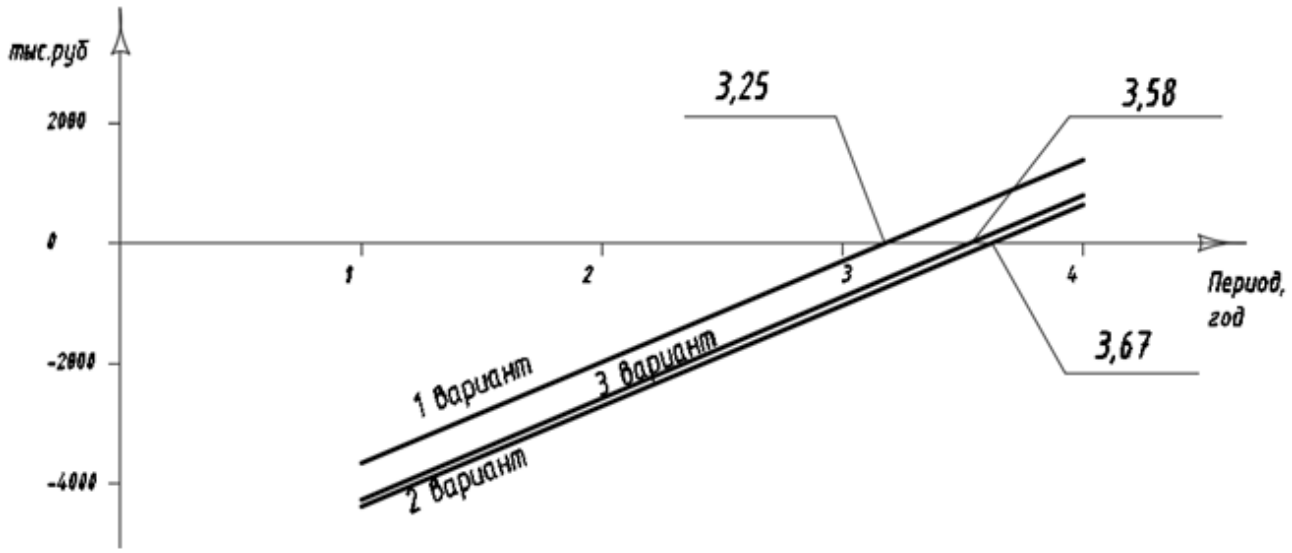
Прочие затраты − элемент себестоимости продукта, в котором отражаются платежи по процентам, износ нематериальных активов, командировочные расходы, расходы на рекламу, на подготовку кадров, некоторые налоги (налог на имущество, дорожный налог), затраты на ремонт основных фондов, платежи за выбросы загрязняющих веществ.

Расчет срока окупаемости производится графо-аналитическим способом, результаты вводятся в таблицу 4.7 и строят графическую зависимость, представленную на рисунке 4.13.

Таблица 4.7 − Срок окупаемости

Показатель		Период, год						
					2019			
		2016	2017	2018	Январь, февраль. март	Апрель, май, июнь	Июль	Август
Затраты, тыс.руб	1 вариант*	- 3650,49	-1971,04	-291,59	+128,27	+548,13	+688,08	+828,03
	2 вариант**	- 4384,1	-2704,65	-1045,2	-625,34	-205,48	-65,53	+74,42
	3 вариант***	-4255,71	-2576,26	-896,81	-476,95	-57,09	+82,86	+222,81
Экономия, тыс руб		+1679,45	+1679,45	+1679,45	+419,86	+419,86	+139,95	+139,95
Срок окупаемости, год	1 вариант*	-	-	-	3,25	-	-	-
	2 вариант**	-	-	-	-	-	-	3,67
	3 вариант***	-	-	-	-	-	3,58	-

*1 вариант − технологическая схема с применением метода электрокоагуляции.
**2 вариант – применение реагентного метода.
***3 вариант – применение гальванокоагуляции.



1 вариант − технологическая схема с применение электрообработки;
2 вариант − применение реагентного метода;
3 вариант − применение гальванокоагуляционной обработки

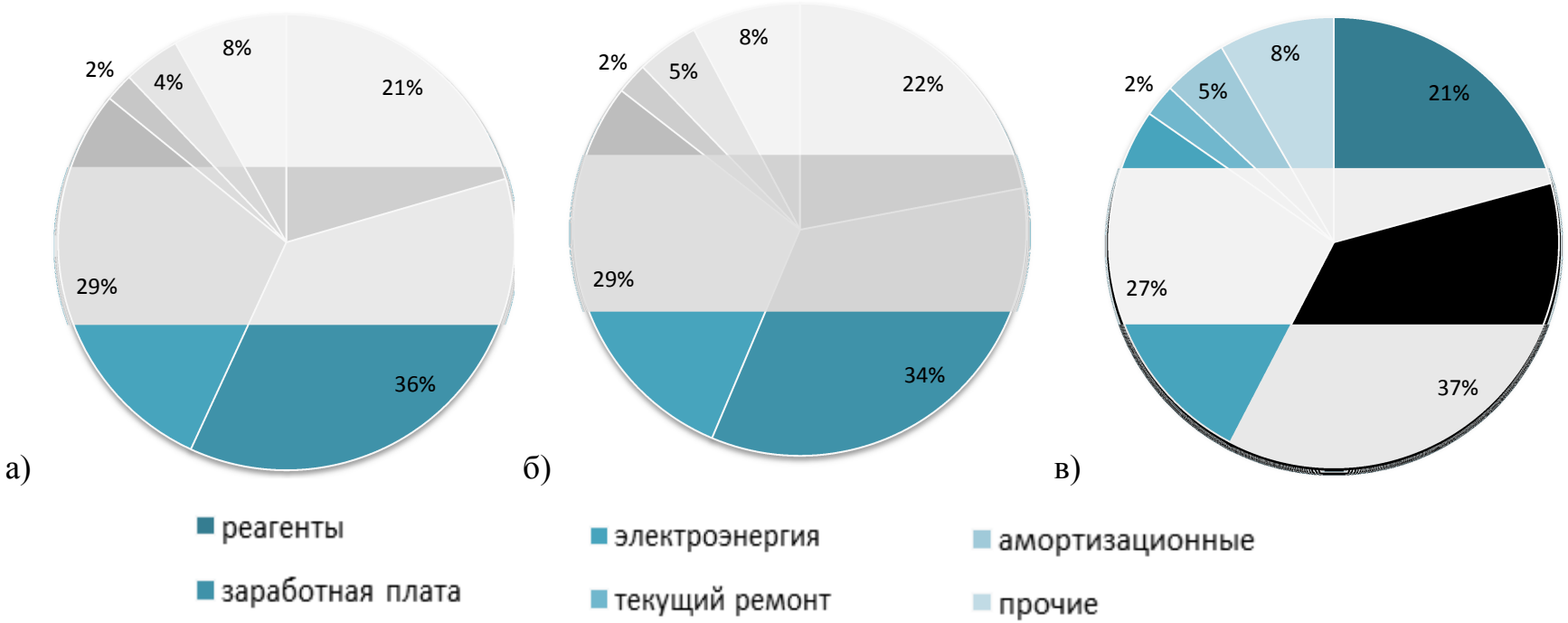
Рисунок 4.13 − Срок окупаемости

Таблица 4.8 − Технико-экономический анализ

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Инвестиционные проекты		
			1 вариант	2 вариант	3 вариант
1	Капитальные вложения	тыс.руб	3721,84	4384,2	4255,72
2	Эксплуатационные затраты:		1850,04	1874,39	1825,8
	реагенты	тыс.руб	379,24	432,7	379,24
	заработная плата	тыс.руб	673,01	673,01	673,01
	электроэнергия	тыс.руб	536,64	572,7	494,2
	текущий ремонт	тыс.руб	37,22	43,84	42,56
	амортизационные	тыс.руб	74,44	87,68	85,12
	прочие	тыс.руб	149,49	152,14	151,63
3	Приведенные затраты	тыс.руб	2445,89	2575,86	2506,71
4	Себестоимость очистки 1м^3	руб	118	124	121
5	Модифицированные приведенные затраты	тыс.руб	3650,49	4384,1	4255,71
6	Срок окупаемости	год	3,25	3,58	3,67

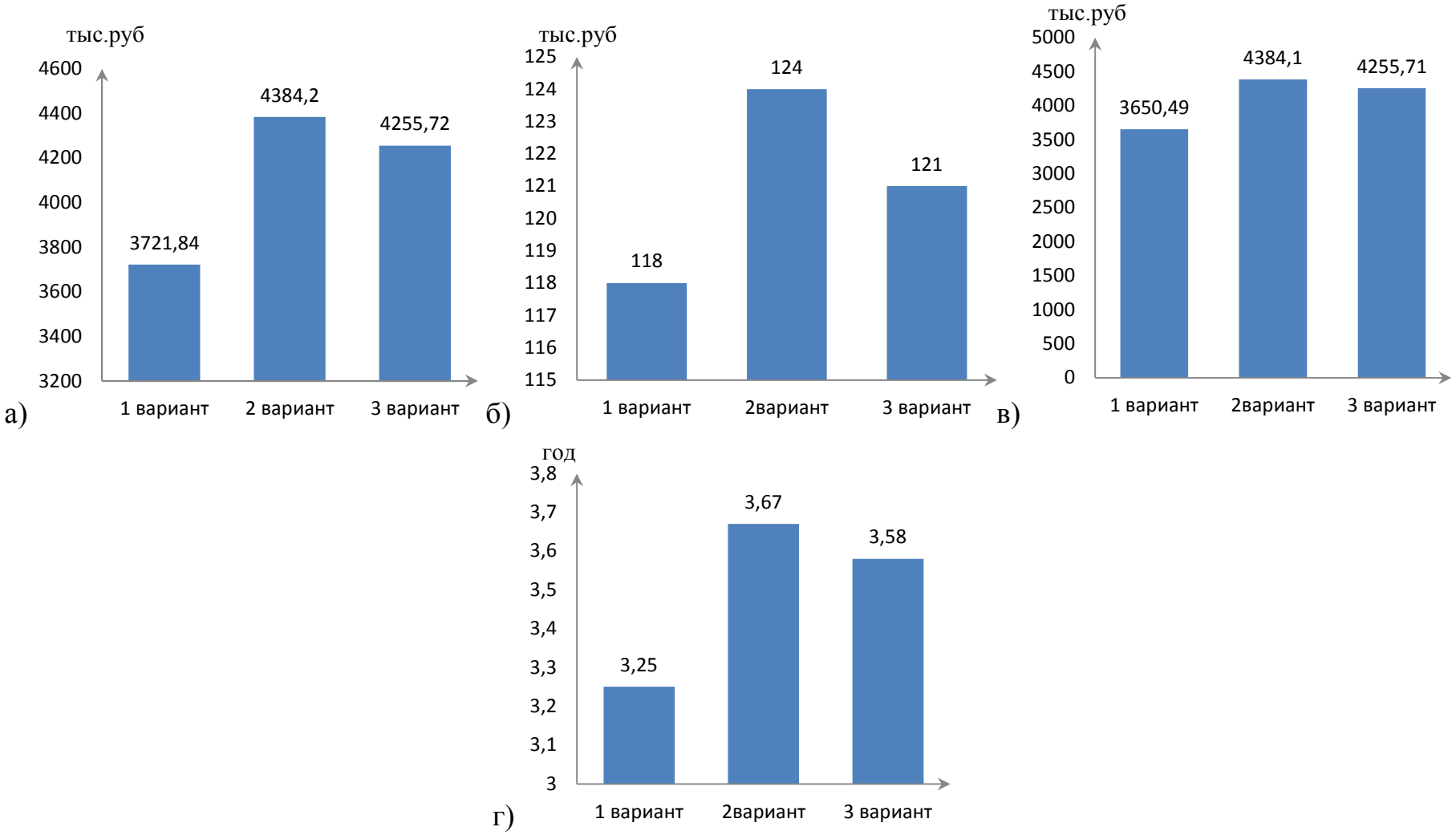
Анализ сравниваемых различных экономических показателей происходит не только посредством заполнения сводной таблицы, но и с помощью наглядного графического изображения представленного на рисунке 4.14.

Вывод: на основании приведенного экономического расчета различных технологических схем обработки нефтесодержащих сточных вод: электрообработка, реагентная обработка и гальванокоагуляция − можно сделать сравнительный анализ, в ходе которого видно, что наиболее рационален метод электрообработки сточной жидкости.



а) метод электрокоагуляции; б) метод реагентной обработки;
в) метод гальванокоагуляции

Рисунок 4.12 – Эксплуатационные затраты



1 вариант − технологическая схема с применение электрообработки;
2 вариант − применение реагентного метода;
3 вариант − применение гальванокоагуляционной обработки
а) капитальные вложения; б) себестоимость очистки; в) модифицированные приведенные затраты; г) срок окупаемости

Рисунок 4.14 − Гистограмма экономических показателей

5 Автоматизация

Автоматизация в переводе с греческого слова «автоматос» − самодействующий. Автоматическое управление в настоящее время находит большую распространенность, так как позволяет регулировать какой-либо технологический процесс без участия человека.

Автоматизирование систем требует больших усилий как специалистов в этой области, так и инженерно-технических работников.

Системы, оборудованные автоматическим управлением, имеют большие преимущества: минимизируется расход электрической энергии; повышение производительности и надежности технологического процесса; повышение качества технологического процесса и т.д.

В нашей стране достигнуты большие успехи по разработке применению новейших методов и технических средств автоматики.

Система водоотведения и очистки сточных вод представляет собой сложную систему комплекса рассредоточенных сооружений, которые имеют одну общую цель − осуществление единого технологического процесса.

Хорошо отлаженная автоматизация любого технологического процесса позволяет получить высокие качественные и технико-экономические показатели.

При автоматизировании систем водоотведения и очистки сточной жидкости можно применять различные устройства, с разным воздействием на процесс: сложным или более простым. По назначению виды автоматических устройств можно подразделить на:

- системы с дистанционным управлением − ручное управление, каким-либо процессом на определенном расстоянии, регулирование запорно-регулирующими органами или отдельными сооружениями при помощи электрического, наиболее распространенного, пневматического или гидравлического способа.

- телеуправление − управление при помощи телекоммуникаций из пункта управления, данная система разработана для большого количества различных управляющих сигналов.

- автоматический контроль − контроль за процессом, или параметром процесса (давление, температура, расход и т.д.) при помощи контрольно-измерительных приборов.

- технологическая сигнализация − способ предоставления информации о качестве или состоянии технологического процесса, приборы, оповещающие обслуживающий персонал о том, что какой-либо процесс идет с нарушением принятых норм (правил);

- автоматическое управление − объекты различной физической природы, (комплекс устройств) которые при помощи математических средств, в определенных рамках предназначены для управления технологическим процессом.

- автоматическая защита − устройства способствовавшие автоматической защите оборудования при нарушении работы технологического процесса и т.д. [91,92]

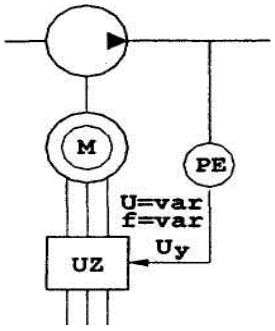
5.1 Энергосбережение насосных установок

В настоящее время значительная часть расходов предприятий идет на приобретение электрической энергии. В связи с периодическим удорожание главной задачей остается энергосбережение. Одним из главных и наиболее распространенных приборов потребления электроэнергии остаются насосные агрегаты. Уменьшение расхода электроэнергии возможно посредством регулирования частоты вращения.

Как известно, частота переменного напряжения электрических сетях энергосистем страны постоянна и равна 50 Гц, что достаточно для вращения электродвигателей насосов.

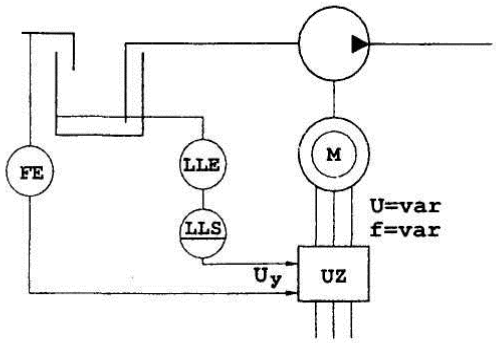
Чтобы изменить частоту переменного напряжения, подводимого к электродвигателю насоса, необходимо подключить электродвигатель к индивидуальному преобразователю частоты, присоединяемому в свою очередь к электрической сети.

В зависимости от величины сигнала управления, поступающего от соответствующего датчика на вход преобразователя частоты, частота переменного напряжения на выходе (подводимого к электродвигателю насоса) может изменяться в интервале 5-50 Гц, что обеспечивает возможность десяти кратного уменьшения частоты вращения насосного агрегата. Функциональная схема автоматического регулирования частоты вращения насосного агрегата, работающего на сеть водоснабжения, представлена на рисунок 5.1, а для откачивающего насосного агрегата на рисунок 5.2.



U = 380 В = const
f = 50 Гц = const
M − электродвигатель;
PE − датчик давления с электрическим выходным сигналом, устанавливаемый по месту;
UZ − преобразователь частоты.

Рисунок 5.1 - Функциональная схема регулирования скорости вращения сетевого насоса



U = 380 В = const
f = 50 Гц = const

FE − датчик расхода с электрическим выходным сигналом, устанавливаемый по месту;
LLE − датчик нижнего уровня с электрическим выходным сигналом, устанавливаемый по месту;
LLS − прибор, устанавливаемый на щите регулирования, осуществляющий переключения в схеме автоматизации при достижении нижнего уровня;
M − электродвигатель;
UZ − преобразователь частоты.

Рисунок 5.2 – Функциональная схема регулирования скорости вращения откачивающего насоса

Принципиальная схема управления электродвигателями насосов (рисунок 5.3) при отсутствии регулирования частоты их вращения предусматривает автоматическое включение резервного насоса, при увеличении определенного уровня воды в резервуаре, отметку, соответствующую уровню включения резервного насоса, а также автоматическое и местное управление установкой ключа *1SA1* в соответствующее положение. В частности, при установке ключа *1SA1* в правое положение А (режим автоматического управления) секция1-2 ключа в цепи 3 и секция 3-4 в цепи 8 замкнуты.

Выбор номера рабочего насоса осуществляется ключом *2SA1*. При установке рукоятки ключа *2SA1* в левое положение (1раб) рабочим является первый насос, и при этом замыкаются секции 5-6 в цепи 3и 7-8 в цепи8. Секции 1-2 в цепи 5 и 3-4 в цепи 10 при этом разомкнуты. Соответственно при установке ключа *2SA1* в правое положение (2раб) рабочим будет второй насос. Секции 5-6 в цепи 3 и 7-8 в цепи 8 ключа *2SA1* при этом разомкнуты, а секции 1-2 в цепи 5 и 3-4 в цепи 10 -замкнуты.

Если в качестве рабочего выбран насос 1,при достижении уровня воды в резервуаре, соответствующего уровню включения рабочего насоса, замыкаются контакты KSL1 в цепях 3 и 10. Контакты *KSL1* после замыкания разомкнутся только после снижения уровня воды в резервуаре ниже отметки, соответствующей уровню отключения насосов.

Замыкание *KSL1* в цепи 3 обусловит подачу напряжения на катушку контактора ЛКМ по цепи: фазный провод электрической сети, включенный автоматический выключатель *1QF*, предохранитель *1FU*, замкнувшийся контакт *KSL1*в цепи 3, замкнутые секции 5-6 ключа управления *2SA1* и 1-2

ключа управления *1SA1* в цепи 3, замкнутый контакт теплового реле *1КК* в цепи 2, катушка контактора *1КМ*, нулевой провод электрической сети. Контактор *1КМ* срабатывает, его контакты в силовой цепи электродвигателя замыкаются, что обусловливает подачу напряжения на электродвигатель и включение насоса 1 в работу.

Одновременно замкнутся контакты *1КМ* в цепи 4. Отметим, что замыкание контакта *KSL1* в цепи 10 не приведет к включению насоса 2, т.к. секция 3-4 ключа управления *2SA1* в цепи 10 разомкнута, если рабочим является насос 1.

Если после включения насоса 1 уровень воды в резервуаре продолжает повышаться, то по достижении им отметки, соответствующей уровню включения насоса 2, контакты замыкаются. Замыкание контактов *KSL2* в цепи 8 обусловит подачу напряжения на катушку контактора *2КМ* по цепи: фазный провод электрической сети, включенный автоматический выключатель 2QF, предохранитель *2FU* в цепи 7, замкнувшийся контакт *KSL2* вцепи 8, замкнутые секции 7-8 и 3-4 ключей управления *2SA1* и *1SA1* в цепи 8, замкнутый контакт теплового реле *2КК* в цепи 7, катушка контактора *2КМ*, нулевой провод электрической сети.

Контактор *2КМ* срабатывает, его контакты *2КМ* в силовой цепи электродвигателя замыкаются и, следовательно, включают в работу насос 2, а также замыкают контакты *2КМ* в цепи 9.

После включения насоса 2 уровень воды в резервуаре понижается, и как только он станет ниже отметки включения резервного насоса, контакты *KSL2* в цепях 5 и 8 разомкнутся. Но отключения насоса 2 при этом не произойдет, т.к. цепь подачи напряжения на катушку*2КМ* сохраняется вследствие замкнутости контактов *KSL1* вцепи 10 и контактов *2КМ* в цепи 9. То есть, если в момент замыкания контактов *KSL2* цепь подачи напряжения на катушку контактора *2КМ* формировалась автоматическим выключателем *2QF*, предохранителем *2FU,* замкнутым контактом *KSL2* в цепи 8 и замкнутыми секциями ключей управления *2SA1* и *1SA1* в цепи 8, замкнутым контактом теплового реле *2КК* в цепи 7, то после размыкания контакта *KSL2* в цепи 8 цепь подачи напряжения на катушку *2КМ* формируется автоматическим выключателем *2QF*, предохранителем *2FU*, ранее замкнувшимся контактом KSL1 в цепи 10 и контактом *2КМ* вцепи 9 (так как на катушку контактора *2КМ* уже подано напряжение), замкнутыми секциями ключей управления *2SA1* и *1SA1* в цепи 8, замкнутым контактом теплового реле *2КК* в цепи 7, катушкой контактора *2КМ*, нулевым проводом электрической сети.

Отключение обоих насосов произойдет после размыкания контактов *KSL1* в цепях 3 и 10, т.е. после снижения уровня воды в резервуаре ниже отметки отключения насосов.

Если рабочий насос 2 (секции 3-4 и 1-2 ключа управления *2SA1* в цепях 5 и 10 замкнуты), то при замыкании контактов *KSL1* в цепях 3 и10 подается напряжение на катушку контактора *2КМ* и лишь после замыкания *KSL2* в цепях 5 и 8 – на катушку контактора *1КМ*. В остальном функционирование схемы аналогично.

FU − плавкие предохранители. Защищают цепь от токов короткого замыкания.

QF − автоматический воздушный выключатель (автомат). Предназначен для защиты электрических цепей от коротких замыканий и перегрузки по току. При возникновении коротких замыканий (притоках в 12-14 раз превышающих номинальный ток автомата) отключение осуществляется за несколько сотых долей секунды.

SA − переключатель режимов (ключ) управления. Предназначен для выбора режима: местное управление, автоматическое управление, режим опробования и т.д.

SB1 − кнопка управления (красного цвета), кнопка отключения.

SB2 − кнопка управления (черного цвета), кнопка включения.

K1 − реле. Техническое устройство, конструктивно выполняется в виде сердечника из электротехнической стали, на котором размещается катушка из медных проводов (неподвижная часть реле). При подаче напряжения на катушку реле создается магнитное поле, которое притягивает подвижную часть реле, именуемую якорем. Перемещение якоря реле обусловливает замыкание и размыкание механически связанных с ним контактов.

KK − тепловые реле. Предназначены для защиты электродвигателей от перегрузки.

QS − путевые (конечные) выключатели. Предназначены для формирования сигнала о достижении какой-либо геометрической координаты предельного значения. В системах автоматизации водоснабжения и канализации они используются, в частности, для прекращения подачи напряжения на электроприводы электрифицированных задвижек.

KM − магнитные пускатели (контакторы).Предназначены для подключения электродвигателей к электрической сети при подаче напряжения на катушку магнитного пускателя.

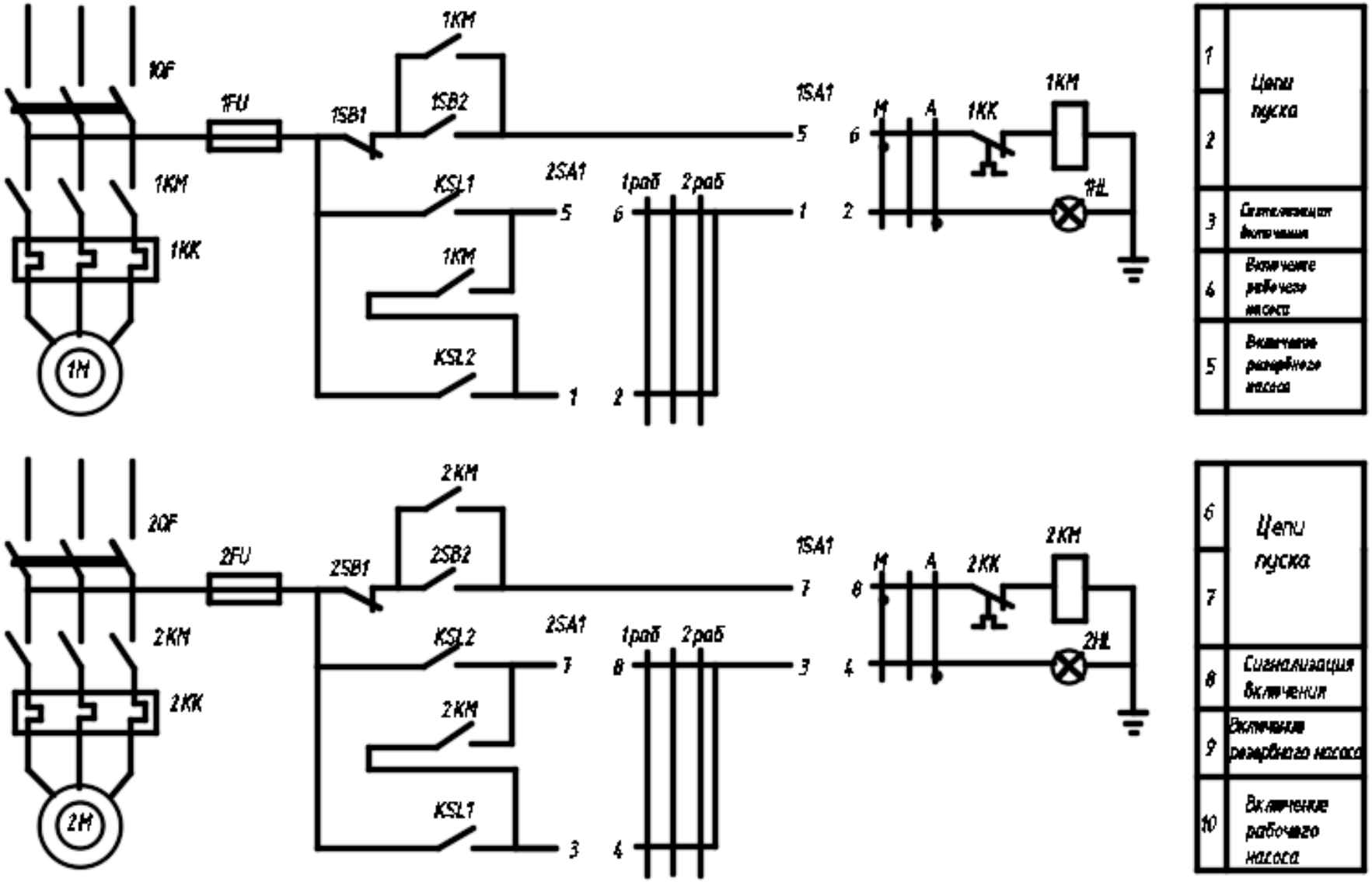


Рисунок 5.3 − Принципиальная схема управления электродвигателями насосов

5.2 Автоматизация удаления осадка из отстойника

Автоматическое удаление осадка является наиболее распространенной и важнейшей задачей, осуществляется это при помощи программного регулятора. График точной откачки осадка из отстойника является очень сложной и практически невозможной задачей, решение которой производится путем понижения его уровня в отстойниках.

В схеме измерения уровня используется фотоэлектрический датчик, состоящий из двух металлических корпусов, в одном из которых помещается фотосопротивление, а в другом — лампа подсветки. В зависимости от изменения оптической плотности жидкости между фотосопротивлением и лампой подсветки изменяется значение тока, поступающего в схему автоматики.

Слаженная работа отстойных сооружений является ведущей задачей при определении эффективной работы всего очистного комплекса, распространенной проблемой в работе данного сооружения является вынос взвешенных веществ, устранение этой проблемы достигается поддержание одинаковой нагрузки на каждый отстойник или равномерное распределение между ними переменного общего притока сточных вод на станцию.

С этой целью предусматривается автоматическое регулирование открытия задвижек на подводящих к каждому отстойнику трубопроводах. Такое регулирование осуществляется с помощью расходомеров или уровнемеров воды.

Решение проблем повышения эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения производится путем автоматизации контроля и оперативного управления этими объектами. Данная задача является весьма актуальной, так как позволяет внести вклад в решение проблем с экономической и социально-экологической стороны.

Решение таких проблем как сброс недостаточно очищенных сточных вод и отходов (осадков) производства, которые пагубно влияют на экологическую составляющую окружающей среды, а также безвозвратно теряемые полезные компоненты, которые способствуют не только увеличению расходов предприятия на приобретение сырья для производства, но и истощению энергетических ресурсов страны всегда была актуальной задачей. Решение которой, достигается посредством автоматизации технологических процессов.

Это связано с тем, что законодательные органы, отвечающие за охрану водных объектов и рационального использования энергетических ресурсов страны, постоянно способствуют изучению, проектированию и строительству отдельных сооружений и целых водоочистных комплексов по очистке сточных вод и образовывающихся отходов, для получения высокого эффекта очистки и рациональности использования в производстве сырья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Защита окружающей среды от негативного воздействия от сброса недостаточно очищенных сточных вод одна из актуальнейших задач сегодняшнего времени.

Для решения поставленной задачи очень широко применяют и внедряют усовершенствованные эффективные технологии обработки нефтесодержащих сточных вод. Данное решение позволят не только добиться необходимого качества стоков, но также и получить большой экономический эффект. Также весьма распространены методы по минимизации сбрасываемых отработанных вод, т.е. переход предприятий на бессточную или оборотную систему водоснабжения.

Исследуемый мною метод электрокоагуляционной сточной жидкости, позволил мне спланировать эксперимента по ротатабельному плану второго порядка Бокса-Хантера, в результате чего были получены математические модели по очистке сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты, которые позволили установить, что наибольшее влияние оказывает величина плотности тока, которая и определяет кинетику растворения анодов.

Полученные с помощью факторного эксперимента уравнения регрессии являются не только математической моделью описывающей процесс электрокоагуляции, но и способствуют оптимизации эксперимента, т.е. определение оптимальных условий (получение наилучшего эффекта очистки и минимизации затрат) для осуществления изучаемого процесса.

Результаты проведенных исследований по электрокоагуляции были использованы для разработки технологической схемы очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты.

Технологические схемы изучены и проанализированы не только со стороны эффективности очистки, но и со стороны экономической рациональности. Рациональность материальных затрат для осуществления любого предложения один из наиболее важных критериев. Изученные методы: электрокоагуляция, реагентная обработка и гальванокоагуляция, показали, что с точки зрения технологии очистки каждый из них достоин, у них имеются как положительные стороны, так и отрицательные, но вот экономическое сравнение показало, что наиболее рационален метод электрокоагуляции, а вот реагентная обработка весьма затратная по сравнению с другими изучаемыми методами.

В завершении моей работы были рассмотрены вопросы автоматизации различных узлов технологической схемы (например, датчики уровня осадка и т.д.) очистки нефтесодержащих сточных вод. Автоматизация позволит не только повысить качество очищаемой сточной жидкости, но и снизить затраты на осуществление того или иного процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Злыднев Н.Н. Источники нефтесодержащих сточных вод/ Н.Н. Злыднев, А.А. Еськин, Н.С. Ткач, В.В. Кириллов// Технические науки – от теории практике. − 2014. − №36. − С.127-136.

2 Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов./ Е.А. Стахов. − Л.: Недра, 1983. − 263с.

3 Кленкин А. А. Некоторые методические особенности определения уровня нефтяного загрязнения водных экосистем /А. А. Кленкин, Л. Ф. Павленко, З. А. Темердашев // «Заводская лаборатория. Диагностика материалов». − 2007. − Том 73, № 2. − С. 31 – 35.

4 Абдрахимов Ю.Р. Анализ химико-технологических водных систем нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий / Ю.Р. Абдрахимов, Г.М. Шарафутдинова, Р.И. Хангильдин, А.Р. Хангильдина // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». − 2011. − №6. − С. 222 – 260.

5 Москвичева Е.В. Повышение эффективности работы сооружений очистки нефтесодержащих сточных вод/ Е.В. Москвичева, А.А. Быков, А.Е. Алексиков, А.А. Геращенко // Интернет-вестник ВолгГАСУ. − 2007. − Вып. 2 (3). − С. 136-142.

6 ГН 2.15.1315-03Ориентировочные допустимые уровни (оду) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. − Введ. 15.06.2003. − Спб.: ЦОТПБСППО. − 156с.

7 Росрыболовство №20 18-01-2010. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. − Введ. 18.01.2010.

8 Смаилова А.А. Методы очистки сточных вод нефтегазового комплекса/ А.А. Смаилова// Молодой ученый. − 2014. − № 5 (64). − С. 100 – 103.

9 Петрова А.В. Совершенствование очистки нефтесодержащих сточных вод/ А.В. Петрова// Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки − 2013. − №1. − С. 14-19.

10 Алексеев Д.В., Комплексная очистка стоков промышленных предприятий методом струйной флотации./ Д.В. Алексеев, Н.А. Николаев, А.Г. Лаптев – Казань: КГТУ, 2005. – 156 с.

11 Пат. 2435911 РФ, B03F 5/16. Устройство для улавливания нефтепродуктов./ Беллавин М.С.; заявитель и патентообладатель Беллавин М.С. − № 2010110404/13; заяв. 18.03.2010, опубл. 10.12.2011 Бюл. № 34 − 6с.

12 Пат. 2506110 РФ, МПК B01D 21/02. Нефтеотделитель-остойник/ Пономарев В.Г.; Улановский Я.Б.; Соколов С.М.; заявитель и патентообладатель ООО «Стройинжиниринг СМ» − № 2012140772/05; заяв. 25.09.2012; опубл. 10.02.2014 Бюл. № 4 − 10с.

13 Пат. 2467784 РФ, МПКB01D 17/028. Установка разделения неустойчивых водонефтяных, водомасляных эмульсий/ Малыхин И.А., Сазонов Г.В., Пилипенко О.В.;заявитель и патентообладатель Малыхин И.А., Сазонов Г.В., Пилипенко О.В. − №2008121985/05; заяв. 02.06.2008; опубл. 20.12.2009, Бюл. №35 − 6с.

14 Алимова А.Ф. Модернизация технологии очистки поверхностных сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ/ А.Ф. Алимова, Э.Р. Бариева // Вестник магистратуры. − 2014. − том 1, № 12 (39) − С. 48-50.

15 Пат. 2469766 РФ, МПК B01D 17/02. Отстойник для очистки нефтесодержащих сточных вод.\ Сахабутдинов Р.З., Кудряшова Л.В., Антонов О.Ю., Буслаев Е.С., Шаринов И.А., Намазов М.О., Егорочкин Р.А.; заявитель и патентообладатель ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. − № 2011122982/05; заяв. 07.06.2011, опубл. 20.12.2012 Бюл. №35 − 8с.

16 Селезнев С.В. Внедрение новых установок для очистки сточных вод на базах нефтепродуктообеспечения/ С.В. Селезнев, А.В. Фесин, А.В. Суркова, И.С. Шевчук // Молодой ученый. − 2011 . − том 1 − № 4 (27) − С. 79-81.

17 Пат. 2303002 РФ, МПК C02F 1/40. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод./ Адельшин А.А., Адельшин А.Б.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО КГАСУ; − № 2005141628/15; заяв. 15.12.2005; опубл. 20.07.2007, Бюл. №20 − 9с.

18 Пат. 2506230 РФ, МПК C02F 1/40. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод/ Сахабутдинов Р.З.; Кудряшова Л.В.; Антонов О.Ю.; Буслаев Е.С.; Нурутдинов А.С.; заявитель и патентообладатель ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. − № 2012144889/05; заяв. 22.10.2012; опубл. 10.02.2014 Бюл. № 4 − 6с.

19 Пат. 2328451 РФ, МПК C02F 1/40. Отстойно-коалесцирующий сепаратор нефтесодержащих вод./ Монинец С.Ю.; заявитель и патентообладательМонинец С.Ю. − №2005100262/15 заяв. 11.01.2005, опубл. 10.07.2008, Бюл. №19 − 11с.

20 Пат. 2281251 РФ, МПК C02F 1/40, B01D 17/028. Установка для очистки нефтесодержащих сточных вод./ Глебов Г.А., Даутов И.Ф., Глебова А.Г. заявитель и патентообладатель Глебов Г.А., Даутов И.Ф. − №2005100066/15 заяв. 11.01.2005, опубл. 10.08.2006, Бюл. №22 − 8с.

21 Пат. 2428239 РФ, МПК B01D 19/00, B01D 17/028. Сепарационная установка./ Крюков В.А., Крюков А.В., Вальшин И.В., Олефиренко Д.А. Акоп А.Ю., Ахметзянов Р.Р.; заявитель и патентообладатель ЗАО Научно-техническая Компания «МОДУЛЬНЕФТЕГАЗКОМПЛЕКТ» − № 2010115014/05 заяв. 14.04.2010, опубл. 10.09.2011, Бюл. №25 − 6с.

22 Адельшин А.Б. Исследование процессов очистки сточных вод нефтепромыслов с использованием закрученных потоков/А.Б. Адельшин, А.А. Адельшин, Б.М. Гришин, В.Г. Камбург, М.В. Бикунова//Водоснабжение и санитарная техника. − 2015. − № 2 − С. 29-36.

23 Пат. 2372147 РФ, МПК B04C 5/14. Гидроциклон./ Яблонский В.О.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ВолгГТУ. − №2008124240/15; заяв. 16.06.2008, опубл. 10.11.2009, Бюл.№31 − 8с.

24 Пат. 2385190 РФ, МПК B04C 9/00. Гидроциклон./ Скворцов А.Г., Пинтюшенко А.Д., Тучков В.К., Герцман Л.Е.; заявитель и патентообладательПинтюшенко А.Д. − №2008108704/15; заяв. 05.03.2008, опубл. 27.03.2010, Бюл №9 − 6с.

25 Пат.2325331 C02F 1/40. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод./ Назаров В.Д., Назаров М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» − №2006126406/15; заяв. 20.07.2006, опубл. 27.01.2008, Бюл. №15 − 9с.

26 Пат. 2288182 РФ, МКП C02F 1/58, B01D 21/06. Способ очистки нефтесодержащих сточных вод/ Радченко С.С.; Новакова И.А.; Радченко Ф.С.; Рыбакова Е.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ВолгГТУ − 2005117498/15; заяв. 07.06.2005; опубл. 27.11.2006 Бюл. № 33 − 6с.

27 Пат. 2465214 РФ, МПК C02F 1/465. Электрофлотатор для очистки нефтесодержащих сточных вод/ Назаров В.Д., Назаров М.В., Зенцов В.Н., Райзер Ю.С.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» − №2011116891/05; заяв. 27.04.2011; опубл. 27.10.2012 Бюл. №30 − 7с.

28 Мамедов Г.Ш. Электрообработка жидкостей в неоднородном поле с использованием гидроокиси анодно-растворяющихся электродов/ Г.Ш. Мамедов, Г.А. Гафаров // Вода: химия и экология. − 2012. − № 8. − С. 115-118.

29 Емельянов Р. Т. Регулировка процесса электрокоагуляционной обработки сточных вод/ Р.Т. Емельянов, А.Ф. Александрова // Молодой ученый. − 2015. −№24. − С. 311-313.

30 Пат. 2307797 РФ, МПК C02F 1/463,C02F 101/32. Способ электрохимической очистки промышленных сточных вод от взвешенных частиц и нефтепродуктов./ Господинов Д.Г., Шкарин А.В.; заявитель и патентообладатель ЗАО « ПОГеоэкология» − №2005129865/15; заяв. 26.09.2005; опубл. 10.10.2007, Бюл №28 − 6с.

31 Халтурина Т.И. Гальванокоагуляционное обезвреживание сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты./ Т.И. Халтурина, Ю.И. Широкова.//Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 февраля 2015 − Часть 7. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком» − 2015. − с. 132 – 134.

32 Пат. 2278825 РФ, МПК C02F1/463, C02F103/44. Способ очистки нефтесодержащих сточных вод в водооборотном цикле/ Боковикова Т.Н.; Овдиенко Ю.И.; Мурченко Л.А.; Полуляхова Н.Н.; заявитель и

патентообладатель ГОУ ВПО «КубГТУ» − № 2004129198/15; заяв. 10.03.2006; опубл. 27.06.2006 Бюл. №18 − 4с.

33 Чантурия В.А, Соложенкин П.М. Гальванохимическая обработка воды: теория процесса, оборудование и практика использования для удаления примесей/ В.А. Чантурия, П.М. Соложенкин// Электронная обработка материалов. − 2004. − № 2. − С. 67–81.

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

35 Пат. 2431231 H02M 9/06. Устройство для получения асимметричного тока./ Халтурина Т.И., Гаврилова Ю.В., Чурбакова О.В., Курилина Т.А.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «СФУ» − №2010131777/07; заяв. 28.07.2010, опубл. 10.10.2011, Бюл.№28 − 6с.

36 Еськин А.А. Тенденции интенсификации физико-химических способов очистки нефтесодержащих вод/ А.А. Еськин, А.В. Амехин, А.А. Степенчук// Технические науки – от теории практике − 2013. − №22. − С.98-104

37 Алексеев Д.В., Комплексная очистка стоков промышленных предприятий методом струйной флотации./ Д.В. Алексеев, Н.А. Николаев, А.Г. Лаптев – Казань: КГТУ, 2005. – 156 с.

38 Пат. 2356848 РФ, МПК C02F 1/40. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод/ Захаров Г.А.; Фомин Д.П.; Черненков В.П.; Цыганкова К.В.; Морозов Д.С.; Звонарев М.И.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ДВПИ им. В.В. Куйбышева; − № 2008100953/15; заяв. 09.01.2008; опубл. 27.05.2009 Бюл. №15 − 11с.

39 Панасенко А.В. Альтернативные решения проблем очистки производственных и ливневых сточных вод от нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ/ Панасенко, Е.В. Кондратюк, Л.Ф. Комарова// Ползуновский вестник − 2010. − №3 − С. 287-289

40 Пат.2341464 РФ, МПК C02F 9/06, C02F 1/465. Способ электрохимической очистки нефтесодержащих сточных вод и устройство для его осуществления/Назаров В.Д.; Назаров М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; − № 2006112745/15; заяв. 17.04.2006; опубл. 20.12.2008 Бюл. №35 − 6с.

41 Пат.2392231 РФ, МПК C02F 1/40. Способ очистки нефтесодержащих сточных жидкостей/ Захаров Г.А.; Щетинин В.М.; Мукосеев Б.И.; Цыганкова К.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ДВПИ им. В.В. Куйбышева; − № 2008147402/15; заяв. 01.12.2008; опубл. 20.06.2010 Бюл.№ 17 − 12с.

42 Москвичева Е.В. Изучение закономерностей процесса флотации нефтесодержащих сточных вод с использованием смешанного реагента/ Е.В. Москвичева, Д. О. Игнаткина, Э. Г. Янукян, П. Ф. Юрин, М. А. Дудина, К. А. Щукина// Инженерно-строительный вестник Прикаспия. − 2014. − № 1 (7). − С. 79-83.

43 Пат. 2333158 РФ МПК C02F 1/48. Способ очистки нефтесодержащих сточных вод/ Боковикова Т.Н., Степаненко С.В., Капустянская Ж.В., Марченко Л.А., Двадненко М.В., Привалова Н.М., Ефименко С.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «КубГТУ» − №20061456117/15; заяв. 20.12.2006, опубл. 10.09.2008. − Бюл. №25 − 8с.

44 Райзер Ю.С. Очистка нефтесодержащих сточных вод с применением электрофлотации/ Ю.С. Райзер, М.В. Назаров,В.Н. Зенцов // Башкирский химический журнал. − 2010. − том 17, № 2. − С. 142-148.

45 Пат. 2360869 РФ, МПК C02F 1/465. Устройство для электролитической обработки нефтесодержащих вод/ Назаров В.Д.; Назаров М.В. Хабибуллина М.Р.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; − № 2007114555/15; заяв. 17.04.2007; опубл. 10.07.2009 Бюл. №19 − 8с.

46 Пат.2465214 РФ, МПК C02F1/465. Электрофлотатор для очистки нефтезагрязненых сточных вод/ Назаров В.Д., Назаров М.В., Зенцов В.Н., Райзер Ю.С.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» − №20011116891/05; заяв. 27.04.2011, опубл. 27.10.2012 − Бюл. №30 − 7с.

47 Назаров В.Д. Очистка нефтесодержащих вод электрофлотацией/ В.Д. Назаров, М.В. Назаров, М.Р. Хабибулина // Инженерные системы в строительстве и коммунальном хозяйстве. − 2011.− № 3 (45). − С. 22-25.

48 Лебедев И.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод фильтровально-сорбционным методом/И.А. Лебедев, Л.Ф. Комарова, М.А. Полетаева, Е.Г. Коценко // Ползуновский вестник. − 2006. − № 2. − С. 380-385.

49 Лукичева Н.С. Высоконаполненные материалы-поглотители нефтепродуктов/ Н.С. Лукичева, А.Ю. Кузнецов, О.В. Асташкина // Сборник работ научно-практического семинара «Волокна и волокнистые материалы специального назначения. Исследования и разработки». − 14.06.2015. − г. Гродно: Изд. ОАО «ГИАП». − С. 75 – 76с.

50 Аржанкина Е.С. Использование зерновых отходов агропромышленного комплекса для очистки сточных вод, загрязненных нефтепродуктами/Е.С. Аржанкина, Э.Р. Бариева, Е.В. Серазеева // Вестник магистратуры. − 2014. − том 1, № 12 (39). − С. 51-52.

51 Пат.2326729 РФ, МПК B01J 20/26, B01J 20/16, B01J 20/30. Способ получения сорбента нефти и нефтепродуктов/ Москвичева Е.В.; Стерепов И.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ВолгГАСУ; − № 2006128304/15; заяв. 03.08.2006; опубл. 20.06.2008 Бюл.№ 17 − 5с.

52 Николаева М.А. Доломитовая мука − новый сорбент для очистки нефтезагрязненых сточных вод./ М.А. Николаева, А.А. Пименов, Д.Е. Быков, А.В. Васильев// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. − 2014. − т.16, №1 (7). − С.180-182.

53 Пат. 2529771 Р.Ф. МПК C1C02F 3/34 (2006.01), C02F 1/28 (2006.01),C12N 11/02 (2006.01).Биосорбент для ликвидации нефти с поверхности водоемов/ Галкина Н.А.; Галкин Е.А.; Катаева И.В.; Шафран В.Н.; Назаренко О.А.; Вяткин К.А.; Мальцева М.В.; Ковальчук Е.А.; Кузнецова Т.А.; заявитель и патентообладатель ООО «Уралэкоресурс» − №2013118363/10; заявл. 19.04.2013; опубл. 27.09.2014. Бюл. №27 − 8с.

54 Губкина Т.Г. Способ получения гидрофобных сорбентов нефти модификацией поверхности вермикулита органосиликонами/ Т.Г. Губкина, А.Т. Беляевская, В.А. Маслобоев // Вестник МГТУ. − 2011. − Том 14, № 4. − С. 767 – 773.

55 Пат. 2527095 РФ, МПК B01J 20/30 (2006.01), B01J 20/24 (2006.01). Способы получения плавающего углеродного сорбента для очистки гидросферы от нефтепродуктов/ Хоанг К.К.; Темкин О.Н.; Полникова Т.И.; Валитова Э.Р.; Колия О.Л.; Кузницова Н.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО МИТХТ им. М.В. Ломоносова, ФГУП «ГНЦ«НИОПИК»» − № 2012153888/05; заяв. 13.12.2012; опубл. 27.08.2014. Бюл. №24 − 5с.

56 Климов Е. С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод: монография / Е. С. Климов, М. В. Бузаева. – Ульяновск: УлГТУ, 2011 г. – 201 с.

57 Самонин В.В. Управление процессами сорбции с использованием различных форм энергии/В.В. Самонин, М.Л. Подвязников, А.Ю. Шевкин, М.С. Чеснов, Ю.Ю. Ивачев//Известия Санкт Петербургского государственного технологического института (технического университета) − 2007. − №1 (27) − С. 63-68.

58 Пат. 2525245 РФ МПК C2C02F 9/08 (2006.01), C02F 1/28 (2006.01),C02F 1/52 (2006.01),B01D 21/01 (2006.01),C02F 103/44 (2006.01).Способ очистки сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов/ Поворотов А.А.; Павлова В.Ф.; Кротова М.В.; заявитель и патентообладатель ЗАО «БМТ» − № 2011144321/05; заявл. 01.11.2011.; опубл. 10.08.2014. Бюл. №22 − 9с.

59 Долина Л.Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод: Монография. – Днепропетровск: Континент, 2005. - 296 с.

60 Петров А.Г. Очистка поверхностного стока от нефтепродуктов и СПАВ с использованием систем обратного осмоса./ А.Г. Петров, Н.А. Матвеев, П.Л. Карасев// Водоснабжение и санитарная техника − 2013. − №1 − С. 36-43

61 Степанов С. В. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающего завода с использованием мембранной и биомембранной технологии /Степанов С. В., Сташок Ю.Е., Стрелков А. К., Патаки А.// Вода Magazine. − 2010. − № 12 (40).- С. 44-47.

62 Надеин А.Ф. Повышение эффективности очистки нефтесодержащих сточных вод/ А.Ф. Надеин // Экология человека − 2009. − №12. − С.10-12.

63 Пат. 2525932 РФ, МПК C02F 3/34 (2006.01), C02F 101/32 (2006.01),B09C 1/10 C12R 1/38. Способ очистки воды и мерзлых почв от нефти и нефтепродуктов штаммом бактерий Pseudomonospanipatensis ВКПМ В-

10593/Ерофеевская Л.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук − № 2013122020/10; заяв. 13.05.2013; опубл. 20.08.2014 Бюл.№23 − 9с.

64 Пат. 2323892 РФ, МПК C02F 3/34 (2006.01), C12N 1/26 (2006.01). Способ очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов/ Гершенкоп А.Ш.; Евдокимова Г.А.; Креймер Л.Л.; Мозгова Н.П.; заявитель и патентообладатель Гос. ин-т Кольского научного центра Российской академ. наук. − № 20061125301/13; заяв. 13.07.2006; опубл. 10.05.2008 Бюл. № 13 − 5с.

65 Пат. 2533814 РФ, B01J 20/22, B01D 39/16, C02F 3/34, C02F 1/28, C12N 11/02, C02F 101/32, C02R 1/01. Материал-носитель биомассы для фильтрации нефтезагрязненных сточных вод/ Щемелинина Т.Н.; Тарабукин Д.В.; Анчугова Е.М.; Маркарова М.Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБУН Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. − № 2013145201/10; заяв. 08.10.2013; опубл. 20.11.2014 Бюл. № 32 − 5с.

66 Пат. 2274613 РФ. МПК C2C02F 9/14 (2006.01). Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов/Барко В.И.; Бухтаяров А.В.; Бережной С.Б.; заявитель и патентообладатель Барко В.И.; Бухтаяров А.В. − №2004119176/15; заявл. 24.06.2004; опубл. 20.04.2006. Бюл.№11 − 7с.

67 Степанов С. В. Биологическая и биомембральная очистка сточных вод нефтехимического производства / С. В. Степанов, А. К. Стрелков, А. С. Степанов, В. Н. Швецов, К. М. Морозова, В. А. Каленюк// Водоснабжение и санитарная техника.− 2009.− № 7. − С. 55-60.

68 Серебренникова М.К. Биологические способы очистки нефтезагрязненных сточных вод (обзор)/ М.К. Серебренникова, М.С. Тудвасева, М.С. Куюкина// Вестник пермского университета. − 2015. − вып.1. − С. 15-30.

69 Швецов В. Н. Очистка нефтесодержащих сточных вод биомембральными методами / В. Н.Швецов, К. М. Морозова, М. Ю. Семенов, М. Ю. Пушников, А. С. Степанов, С. Е. Никифоров // Водоснабжение и санитарная техника. − 2008. − №3, ч.1. – С. 38-43.

70 Решняк В.И. Исследование особенностей процесса окисления в дисперсной системе «вода – эмульгированные нефтепродукты»/ В.И. Решняк, А.С. Курников, К.В. Решняк// Вестник государственного университета морского и речного флота им. С.О. Макарова. − 2010. − №3 (7). − С.171-177.

71 Хаскельберг М.Б. Повышение эффективности удаления нефтепродуктов из сточных вод/ М.Б. Хаскельберг, Л.Н. Шиян, Я.И. Корнев, А.И. Галанов, Н.А. Титова, Д.С. Девянин // Известия Томского политехнического университета. − 2011. − т.319 №3 − С. 32 – 35.

72 Корнев Я.И. Очистка нефтесодержащих сточных вод с применением импульсного электрического разряда./Я.И. Корнев/ Водоочистка. − 2014. − №1 − С. 29-34.

73 Яворовский Н.А. Импульсный барьерный разряд как метод обработки воды: активные частицы – окислители в водо-воздушном потоке /

Н.А. Яворовский, Я.И. Корнев, С.В. Прейс, С.С. Пельцман, М.Б. Хаскельберг, Б.Н. Чен // Известия Томского политехнического университета − 2010. − №2 (т.309). − С.108-113.

74 Гладилович Д.Б. Флуориметрический метод контроля содержания нефтепродуктов в водах/ Д.Б. Гладилович // Партнеры и конкуренты. − 2001. − № 12. − С. 11-15.

75 ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах питьевых, природных и очищенных сточных вод методом ИКС с использованием концентратомера КН-2 − Введ. 27.12.2011. − Москва: ООО «ПЭП «СИБЭКОПРИБОР», 2012 − 23с.

76 Спирин Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / Н.А.Спирин, В.В.Лавров. Под общ. ред. Н.А.Спирина. − Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. − 2004. – 257 с.

77 Батрак А.П. Планирование и организация эксперимента: Учебное пособие к изучению теоретического курса для студентов направления 220500. / А.П. Батрак − Красноярск: ИПЦ СФУ − 2010. − 60 с.

78 Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента/ Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин − М.: ДеЛи принт, 2005. − 296с.

79 Гатапова Н.Ц. Основы теории и техники физического моделирования и эксперимента: учебное пособие / Н.Ц. Гатапова, А.Н. Колиух, Н.В. Орлова, А.Ю. Орлов. – Тамбов, 2014. − 77с.

80 Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. − М.: Издательство «Наука», 1976. − 139с.

81 Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс/ Б. Банди: Пер. с англ. − М: Радио и связь, 1988. − 128с.

82 Васильев Ф.П. Методы оптимизации./ Ф.П. Васильев − М.: Издательство «Факториал пресс», 2002. − 824с.

83 Зайцев В.В. Численные методы для физиков. Нелинейные уравнения и оптимизация: учебное пособие / В.В. Зайцев, В.М. Трещев. − Самара, 2005. − 86с.

84 Гимазутдинова Р.Р. Усовершенствование системы очистки от нефтепродуктов и взвешенных веществ/ Р.Р. Гимазутдинова, А.Р. Ибрагимова, Э.Р. Бариева, Е.В.Сераева// Научные труды SWORLD − 2013. − Том 37. − №1. − С. 51-54.

85 Ямансарова Э.Т. Экономические аспекты применения сорбентов на основе сельскохозяйственных отходов для очистки природных вод от нефти и продуктов на ее основе/ Э.Т. Ямансарова, Д.Н. Хасанова, М.И. Абдулин, Н.В. Громыко//Научный журнал НИУ ИТМО − 2016г. − №1. − С.118-122.

86 Привалова Н.М. Очистка нефтесодержащих сточных вод с помощью природных и искусственных сорбентов/ Н.М. Привалова, М.В. Двадненко, А.А. Некрасова, О.С. Попова, Д.М. Привалов// Научный журнал КубГАУ − 2015. − №113 (09). − С.297-306.

87 Собгайда Н.А. Сорбционные материалы для очистки сточных и природных вод от нефтепродуктов/ Н.А. Собгайда// Вестник ХНАДУ − 2011.− вып. 52. − С.120-124.

88 Халтурина ТИ Применение гранулированного шлака металлургического производства Норильского ГМК в качестве фильтрующей загрузки для доочистки нефтесодержащих сточных вод/ Т.И. Халтурина//Вестник ИрГТУ − Красноярск. − 2016. − вып. №5. − С. 153-158.

89 Литуева, О.Г. К вопросу утилизации гранулированного металлургического шлака/ О.Г. Литуева// Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс]. − Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. − Режим доступа: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section095.html, свободный.

90 Приймак Л. В. Эколого-экономические проблемы систем водоснабжения и водоотведения. Эколого-экономическая оценка воздействия на водные объек-ты: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост.: Л. В. Приймак, О. Г. Дубровская, И. В. Андруняк. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 38 с.

91 Попкович Г.С. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения/ Г.С. Попкович, М. А. Гордеев// Учеб. для вузов. − М.: Высшая школа, 1986. − 392 с.

92 Грудинов Ю.М. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения/ Ю.М. Грудинов, Ю.М.Тюханов – Учеб. пособие. – Красноярск: КрасГАСА, 2001. – 60 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исследование процесса электрообработки нефтесодержащих сточных вод

А.1Математическая зависимость выходного параметра от воздействующих факторов

Параметры и вспомогательные коэффициенты, применяемые в расчетах, сведены в таблицу А.1, которая связывает в своей основе параметры ядра плана, его звездные точки, контролируемые факторы и вспомогательные коэффициенты.

Таблица А.1 − Вспомогательные параметры

Факторы, k	Ядро	Звездное плечо, α	Дублируемые опыты, N'	Опытов, N	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
3	8	1,68	6	20	0,1663	0,0568	0,0732	0,0625	0,069	0,0695

Коэффициент, соответствующий значению функции отклика в центре проводимого эксперимента

$$\beta_0 = C_1 \cdot \sum_{u=1}^{N} y_u - C_2 \cdot \sum_{i=1}^{k} \sum_{u=1}^{N} x_{ui}^2 \cdot y_u , \qquad (А.1.1)$$

где C_1 и C_2 − вспомогательные коэффициенты;

x − фактор;

y − отклик;

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ui}{}^2 \cdot y_u : \quad 11\text{y} = 4,34+2,6+9,26+10,96+3,5+1,3+24,05+10,8+2,82\cdot 13,8+2,82\cdot 5,13 = 120,193;$$
$$22\text{y} = 4,34+2,6+9,26+10,96+3,5+1,3+24,05+10,8+2,82\cdot 5,7+2,82\cdot 18,6 = 135,336;$$
$$33\text{y} = 4,34+2,6+9,26+10,96+3,5+1,3+24,05+10,8+2,82\cdot 8,4+2,82\cdot 4,4 = 102,906;$$

$$\beta_0 = 0,1663\cdot 179,32 - 0,0568\cdot(120,193+135,336+102,906) = 9,462 .$$

Вклад фактора в значение функции равен приращению функции при переходе значения фактора с нулевого уровня на верхний.

$$\beta_i = C_3 \cdot \sum_{u=1}^{N} x_{iu} \cdot y_u , \qquad (А.1.2)$$

где C_3 − вспомогательные коэффициенты;

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \cdot y_i : \quad 1y = 4,34-2,6+9,26-10,96+3,5-1,3+24,05-10,8+13,8\cdot 1,68-5,13\cdot 1,68 = 30,056;$$
$$2y = 4,34+2,6-9,26-10,96+3,5+1,3-24,05-10,8+5,7\cdot 1,68-18,6\cdot 1,68 = -65,002;$$

$$3y = 4,34 + 2,6 + 9,26 + 10,96 - 3,5 - 1,3 - 24,05 - 10,8 + 8,4 \cdot 1,68 - 4,4 \cdot 1,68 = -5,77.$$

$\beta_1 = 0,0732 \cdot 30,056 = 2,2$;

$\beta_2 = 0,0732 \cdot (-65,002) = -4,76$;

$\beta_3 = 0,0732 \cdot (-5,77) = -0,422$.

$$\beta_{ii} = C_4 \cdot \sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 \cdot y_u + C_5 \cdot \sum_{i=1}^{n} \sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 \cdot y_u - C_2 \cdot \sum_{u=1}^{N} y_u \,, \qquad \text{(A.1.3)}$$

где C_2, C_4 и C_5 – вспомогательные коэффициенты.

$\beta_{11} = 0,0625 \cdot 120,193 + 0,0069 \cdot (120,193 + 135,336 + 102,906) - 0,0568 \cdot 179,32 = -0,2;$

$\beta_{22} = 0,0625 \cdot 135,336 + 0,0069 \cdot (120,193 + 135,336 + 102,906) - 0,0568 \cdot 179,32 = 0,747;$

$\beta_{33} = 0,0625 \cdot 102,906 + 0,069 \cdot (120,193 + 135,336 + 102,906) - 0,0568 \cdot 179,32 = -1,28.$

$$\beta_{iu} = 2 \cdot C_4 \cdot \sum_{u=1}^{N} x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u \,, \qquad \text{(A.1.4)}$$

где $\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \cdot x_{uj} \cdot y_j$: $1-2y = 4,34 - 2,6 - 9,26 + 10,96 + 3,5 - 1,3 - 24,05 + 10,8 = -7,71;$

$2-3y = 4,34 + 2,6 - 9,26 - 10,96 - 3,5 - 1,3 + 24,05 + 10,8 = 16,77;$

$3-1y = 4,34 - 2,6 + 9,26 - 10,96 - 3,5 + 1,3 - 24,05 + 10,8 = -15,41.$

$\beta_{1-2} = 2 \cdot 0,0625 \cdot (-7,71) = -0,964;$

$\beta_{2-3} = 2 \cdot 0,0625 \cdot 16,77 = 2,096;$

$\beta_{3-1} = 2 \cdot 0,0625 \cdot (-15,41) = -1,926.$

Математический расчет для выявления зависимости расхода электроэнергии идентичен расчету по выявлению зависимости остаточного нефтесодержания в сточной жидкости.

Коэффициент, соответствующий значению функции отклика в центре проводимого эксперимента, формула (А.1.1)

$\sum_{j=1}^{n} x_{ui}^{\ 2} \cdot y_u$;

$11\,\text{y} = 5,77 + 5,61 + 1,03 + 0,98 + 14,05 + 16,0 + 2,51 + 2,51 + 5,64 \cdot 2,82 + 4,8 \cdot 2,82 = 77,9;$

$22\,\text{y} = 5,77 + 5,61 + 1,03 + 0,98 + 14,05 + 16,0 + 2,51 + 2,51 + 13,8 \cdot 2,82 + 0,47 \cdot 2,82 = 88,7;$

$11\,\text{y} = 5,77 + 5,61 + 1,03 + 0,98 + 14,05 + 16,0 + 2,51 + 2,51 + 2,88 \cdot 2,82 + 16,21 \cdot 2,82 = 102,29.$

$\beta_0 = 0,1663 \cdot 120,45 - 0,0568 \cdot (77,9 + 88,7 + 102,29) = 3,735$.

Значения оставшихся коэффициентов применяемых в уравнении регрессии производим при помощи формул (А.1.2-А.1.4).

$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \cdot y_i$;

$1y = 5,77 - 5,61 + 1,03 - 0,98 + 14,05 - 16,0 + 2,51 - 2,51 + 1,68 \cdot 5,64 - 1,68 \cdot 4,8 = -0,329;$

$2y = 5,77 + 5,61 - 1,03 - 0,98 + 14,05 + 16,0 - 2,51 - 2,51 + 1,68 \cdot 13,8 - 1,68 \cdot 0,47 = 56,79;$

$3y = 5,77 + 5,61 + 1,03 + 0,98 - 14,05 - 16,0 - 2,51 - 2,51 + 1,68 \cdot 2,88 - 1,68 \cdot 16,21 = -44,07.$

$\beta_1 = 0,0732 \cdot (-0,329) = -0,024$;

$\beta_2 = 0,0732 \cdot 56,79 = 4,16$;

$\beta_3 = 0,0732 \cdot (-44,07) = -3,226$.

$\beta_{11} = 0,0625 \cdot 77,9 + 0,0069 \cdot (77,9 + 88,7 + 102,29) - 0,0568 \cdot 120,45 =$

$= 4,87 + 1,855 - 6,84 = -0,115;$

$\beta_{22} = 0,0625 \cdot 88,7 + 0,0069 \cdot (77,9 + 88,7 + 102,29) - 0,0568 \cdot 120,45 =$

$= 5,544 + 1,855 - 6,84 = 0,559;$

$\beta_{33} = 0,0625 \cdot 102,29 + 0,0069 \cdot (77,9 + 88,7 + 102,29) - 0,0568 \cdot 120,45 =$

$= 6,393 + 1,855 - 6,84 = 1,408;$

$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \cdot x_{uj} \cdot y_j$

$1-2y = 5,77 - 5,61 - 1,03 + 0,98 + 14,05 - 16,0 - 2,51 + 2,51 = -1,84;$

$2-3y = 5,77 + 5,61 - 1,03 - 0,98 - 14,05 - 16,0 + 2,51 + 2,51 = -15,66;$

$3-1y = 5,77 - 5,61 + 1,03 - 0,98 - 14,05 + 16,0 - 2,51 + 2,51 = 2,16.$

$\beta_{1-2} = 2 \cdot 0,0625 \cdot (-1,84) = -0,23;$

$\beta_{2-3} = 2 \cdot 0,0625 \cdot (-15,66) = -1,96;$

$\beta_{3-1} = 2 \cdot 0,0625 \cdot 2,16 = 0,27.$

А.2 Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии

Проверка воспроизводимости эксперимента есть не что иное, как проверка выполнения второй предпосылки регрессионного анализа об однородности выборочных дисперсий. Оценки дисперсий воспроизводимости находят по известной формуле

$$S^2_{воспр} = \frac{\sum_{1}^{n=6} (y_u^0 - \overline{y^0})^2}{n_0 - 1}, \qquad (А.2.1)$$

где y_u^0 – значение отклика;

$\overline{y^0}$ – среднее значение отклика $\overline{y^0} = \frac{5,05 + 7,5 + 7,93 + 8,0 + 12,0 + 16,0}{6} = 9,41$;

n_0 – число параллельных опытов.

$$\sum_{1}^{n=6}(y_u^0-\overline{y^0})^2=(5{,}05-9{,}41)^2+(7{,}5-9{,}41)^2+(7{,}93-9{,}41)^2+(8{,}0-9{,}41)^2+(12{,}0-9{,}41)^2+(16{,}0-9{,}41)^2=76{,}98;$$

$$S^2_{воспр}=\frac{76{,}98}{6-1}=15{,}4.$$

Оценка дисперсии коэффициентов

$$S^2_{\beta_0}=C_1\cdot S^2_{восп}, \qquad \text{(А.2.2)}$$

где C_1 – вспомогательный коэффициент, $C_1 = 0{,}1663$;
$S^2_{восп}$ – воспроизводимость.

$$S^2_{\beta_0}=0{,}1663\cdot 15{,}4=2{,}561;$$
$$S_{\beta_0}=1{,}6.$$

$$S^2_{\beta_i}=C_3\cdot S^2_{восп}, \qquad \text{(А.2.3)}$$

где C_3 – вспомогательный коэффициент, $C_3 = 0{,}0732$;
$S^2_{восп}$ – воспроизводимость.

$$S^2_{\beta_1}=S^2_{\beta_2}=S^2_{\beta_3}=0{,}0732\cdot 15{,}4=1{,}127;$$
$$S_{\beta_1}=S_{\beta_2}=S_{\beta_3}=1{,}062.$$

$$S^2_{ii}=C_6\cdot S^2_{восп}, \qquad \text{(А.2.4)}$$

где C_6 – вспомогательный коэффициент, $C_6 = 0{,}0695$;
$S^2_{восп}$ – воспроизводимость.

$$S^2_{11}=S^2_{22}=S^2_{33}=0{,}0695\cdot 15{,}4=1{,}07;$$
$$S_{11}=S_{22}=S_{33}=1{,}034.$$

$$S^2_{iu}=2\cdot C_4\cdot S^2_{восп}, \qquad \text{(А.2.5)}$$

где C_4 – вспомогательный коэффициент, $C_1 = 0{,}0625$;
$S^2_{восп}$ – воспроизводимость.

$$S^2_{1-2}=S^2_{2-3}=S^2_{3-1}=2\cdot 0{,}0625\cdot 15{,}4=1{,}925;$$
$$S_{1-2}=S_{2-3}=S_{3-1}=1{,}387.$$

Значимость коэффициентов проверяем по критерию Стьюдента

$$t_i = \frac{|\beta_i|}{S_{\beta_i}}, \qquad \text{(А.2.6)}$$

где $|\beta_i|$ – модуль коэффициента уравнения регрессии.

$$t_0 = \frac{\beta_0}{S_{\beta_0}} = \frac{9,462}{1,6} = 5,914; \qquad t_{22} = \frac{\beta_{22}}{S_{\beta_{22}}} = \frac{0,747}{1,034} = 0,722;$$

$$t_1 = \frac{\beta_1}{S_{\beta_1}} = \frac{2,2}{1,062} = 2,071; \qquad t_{33} = \frac{\beta_{33}}{S_{\beta_{33}}} = \frac{1,28}{1,034} = 1,238;$$

$$t_2 = \frac{\beta_2}{S_{\beta_2}} = \frac{4,76}{1,062} = 4,482; \qquad t_{1-2} = \frac{\beta_{1-2}}{S_{\beta_{1-2}}} = \frac{0,964}{1,387} = 0,695;$$

$$t_3 = \frac{\beta_3}{S_{\beta_3}} = \frac{0,422}{1,062} = 0,397; \qquad t_{2-3} = \frac{\beta_{2-3}}{S_{\beta_{2-3}}} = \frac{2,096}{1,387} = 1,511;$$

$$t_{11} = \frac{\beta_{11}}{S_{\beta_{11}}} = \frac{0,2}{1,034} = 0,193; \qquad t_{3-1} = \frac{\beta_{3-1}}{S_{\beta_{3-1}}} = \frac{1,926}{1,387} = 1,389.$$

Критическое значение критерия Стьюдента, значение которого найдено при помощи программы Microsoft Excel (СТЬЮДРАСПОБР(0,05;5)), и равняется $t_{(0,05;\ N'-1)} = 2,57$. При сравнении полученного и найденного критерия Стьюдента, делаем вывод о значимости коэффициента, коэффициент считается значимым, если он больше расчетного. Коэффициенты β_1, β_3, β_{11}, β_{22}, β_{33}, β_{1-2}, β_{2-3} и β_{3-1} считаются не значимыми, уравнение регрессии принимает вид который с математической точки зрения не имеет интереса, поэтому мы исключаем только два самых маленьких значения, а это β_3, β_{11}. Уравнение регрессии принимает вид

$$Y_1^{'} = 9,462 + 2,2 \cdot x_1 - 4,76 \cdot x_2 - 0,964 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2,096 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,926 \cdot x_3 \cdot x_1 + 0,747 \cdot x_2^2 - 1,28 \cdot x_3^2.$$

Оценки дисперсий воспроизводимости для расхода электроэнергии находят по формуле (А.2.1).

Среднее значение отклика $\overline{y^0} = \frac{4,35 + 4,69 + 5,28 + 4,43 + 4,82 + 4,62}{6} = 4,7$.

$$\sum_{1}^{n=6} (y_u^0 - \overline{y^0})^2 = (4,35 - 4,7)^2 + (4,69 - 4,7)^2 + (5,28 - 4,7)^2 + (4,43 - 4,7)^2 + (4,82 - 4,7)^2 +$$

$$+ (4,62 - 4,7)^2 = 0,122 + 0,0001 + 0,336 + 0,073 + 0,0144 + 0,0064 = 0,552.$$

$$S^2_{воспр} = \frac{0,552}{6-1} = 0,11.$$

Оценка дисперсии коэффициентов, формула (А.2.2-А.2.5)

$$S^2_{\beta_0} = 0,1663 \cdot 0,11 = 0,018;$$
$$S_{\beta_0} = 0,13.$$

$$S^2_{\beta_1} = S^2_{\beta_2} = S^2_{\beta_3} = 0,0732 \cdot 0,11 = 0,008;$$
$$S_{\beta_1} = S_{\beta_2} = S_{\beta_3} = 0,09.$$

$$S^2_{11} = S^2_{22} = S^2_{33} = 0,0695 \cdot 0,11 = 0,008;$$
$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0,09.$$

$$S^2_{1-2} = S^2_{2-3} = S^2_{3-1} = 2 \cdot 0,0625 \cdot 0,11 = 0,014;$$
$$S_{1-2} = S_{2-3} = S_{3-1} = 0,12.$$

Значимость коэффициентов уравнения регрессии проверяем по критерию Стьюдента, формула (А.2.6)

$$t_0 = \frac{\beta_0}{S_{\beta_0}} = \frac{3,735}{0,13} = 28,73; \qquad t_{22} = \frac{\beta_{22}}{S_{\beta_{22}}} = \frac{0,559}{0,09} = 6,21;$$

$$t_1 = \frac{\beta_1}{S_{\beta_1}} = \frac{0,024}{0,09} = 0,27; \qquad t_{33} = \frac{\beta_{33}}{S_{\beta_{33}}} = \frac{1,408}{0,09} = 15,64;$$

$$t_2 = \frac{\beta_2}{S_{\beta_2}} = \frac{4,16}{0,09} = 46,22; \qquad t_{1-2} = \frac{\beta_{1-2}}{S_{\beta_{1-2}}} = \frac{0,23}{0,12} = 1,92;$$

$$t_3 = \frac{\beta_3}{S_{\beta_3}} = \frac{3,226}{0,09} = 35,84; \qquad t_{2-3} = \frac{\beta_{2-3}}{S_{\beta_{2-3}}} = \frac{1,96}{0,12} = 16,33;$$

$$t_{11} = \frac{\beta_{11}}{S_{\beta_{11}}} = \frac{0,115}{0,09} = 1,28; \qquad t_{3-1} = \frac{\beta_{3-1}}{S_{\beta_{3-1}}} = \frac{0,27}{0,12} = 2,25.$$

Критическое значение критерия Стьюдента, значение которого найдено при помощи программы Microsoft Excel (СТЬЮДРАСПОБР(0,05;5)), и равняется $t_{(0,05;\ N'-1)} = 2,57$. При сравнении полученного и найденного критерия Стьюдента, делаем вывод о значимости коэффициента, коэффициент считается значимым, если он больше расчетного. Коэффициенты β_1, β_{11}, β_{1-2} и β_{3-1} считаются не значимыми, для того чтобы из уравнения не исчез ни один из параметров оставляем коэффициент β_{3-1}, уравнение регрессии принимает вид

$$y_2' = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 0,23 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_3 \cdot x_1 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2.$$

А.3 Проверка уравнений регрессии на адекватность

Оценка уравнения регрессии по критерию Фишера на адекватность в основе своего метода применяет коэффициент адекватности, на основе которого и делается вывод.

Коэффициент адекватности

$$F = \frac{S^2_{ад}}{S^2_{воспр}}, \qquad \text{(А.3.1)}$$

где $S^2_{ад}$ − дисперсия адекватности;

$S^2_{воспр}$ − дисперсия воспроизводимости.

Дисперсия адекватности

$$S^2_{ад} = \frac{S^2_{ост} \cdot f_{ост} - S^2_{воспр} \cdot f_{воспр}}{f^2_{адек}}, \qquad \text{(А.3.2)}$$

где $S^2_{ост}$ − остаточная дисперсия;

$f_{воспр}$ − число степеней свободы дисперсии воспроизводимости (n_0 -1);

$f_{ост}$ − число степеней свободы остаточной дисперсии (N-l − число коэффициентов в уравнении регрессии);

$f_{ад}$ − число степеней свободы адекватности ($f_{ост} - f_{воспр}$).

Остаточная дисперсия

$$S^2_{ост} = \frac{\sum_{u=1}^{N} (y_u - y')^2}{f_{ост}}, \qquad \text{(А.3.3)}$$

где $\sum_{u=1}^{N} (y_u - y')^2$ − остаточная сумма квадратов.

Обработка данных произведена в табличной форме, результаты представлены в таблице А.2.

Таблица А.2 − Отклик остаточного нефтесодержания по рассчитанной модели

x_2	y	y’	$(y-y')^2$	x_2	y	y’	$(y-y')^2$
+	4,34	5,574	1,52	+1,68	5,7	3,56892	4,54
+	2,6	6,954	18,96	-1,68	18,6	19,56252	0,93
-	9,26	12,83	12,74	0	8,4	5,8524	6,49
-	10,96	10,354	0,37	0	4,4	5,8524	2,11
+	3,5	5,234	3,01	0	5,05	9,462	19,47
+	1,3	-1,09	5,71	0	7,5	9,462	3,85
-	24,05	20,874	10,09	0	7,93	9,462	2,35
-	10,8	10,694	0,01	0	8,0	9,462	2,14
0	13,8	13,158	0,41	0	12,0	9,462	6,44
0	5,13	5,766	0,40	0	16,0	9,462	42,75
							∑144,28

$$S^2_{ост} = \frac{144,28}{20-8} = 12,02;$$

$$S^2_{ад} = \frac{12,02 \cdot 18 - 15,4 \cdot 5}{(12-5)^2} = 2,844;$$

$$F = \frac{2,844}{15,4} = 0,185.$$

Уравнение регрессии считается адекватным, если выполняется условие, что $F < F_T$, где теоретический коэффициент адекватности найденный при помощи программы Microsoft Excel (FРАСПОБР(0,05;7;5)), и равняется $F_{(0,05;\ f_{ад};\ f_{воспр})} = 4,87$. Условие выполнено уравнение регрессии адекватно.

Приводим уравнение регрессии к натуральному виду, для этого используем зависимость

$$X_i = \frac{Z_i - Z_{oi}}{\Delta Zi}, \qquad (А.3.4)$$

где Z_{oi} − нулевое значение параметра;

ΔZ_i – шаг изменения соответствующего параметра.

$$X_i X_{(i+1)} = \frac{(Z_i - Z_{oi}) \cdot (Z_{(i+1)} - Z_{o(i+1)})}{\Delta Z_i \cdot \Delta Z_{(i+1)}}, \qquad (А.3.5)$$

где Z_{oi} и $Z_{o(i+1)}$,− нулевое значение параметра;

ΔZ_i и $\Delta Z_{o(i+1)}$ – шаг изменения соответствующего параметра.

$$X_i^2 = \frac{(Z_i - Z_{oi})^2}{\Delta Z_i^2}, \qquad (А.3.6)$$

$$X_1=\frac{Z_1-700}{300};\quad X_2=\frac{Z_2-30}{15};\quad X_1\cdot X_2=\frac{(Z_1-700)\cdot(Z_2-30)}{300\cdot 15};\quad X_2\cdot X_3=\frac{(Z_2-30)\cdot(Z_3-2)}{15\cdot 1};$$
$$X_3\cdot X_1=\frac{(Z_3-2)\cdot(Z_1-700)}{1\cdot 300};\quad X_2^2=\frac{(Z_2-30)^2}{15^2};\quad X_3^2=\frac{(Z_3-2)^2}{1^2}.$$

$$Y_1^{'}=9,462+2,2\cdot\frac{(Z_1-700)}{300}-4,76\cdot\frac{(Z_2-30)}{15}-0,964\cdot\frac{(Z_1-700)\cdot(Z_2-30)}{300\cdot 15}+2,096\cdot\frac{(Z_2-30)\cdot(Z_3-2)}{15\cdot 1}-$$
$$-1,926\cdot\frac{(Z_3-2)\cdot(Z_1-700)}{1\cdot 300}+0,747\cdot\frac{(Z_2-30)^2}{15^2}-1,28\cdot\frac{(Z_3-2)^2}{1^2}.$$

Для сокращения и упрощения вида регрессионного уравнения произведены математические преобразования

$$Y_1^{'}=9,462+0,0073\cdot(Z_1-700)-0,317\cdot(Z_2-30)-0,00021\cdot(Z_1-700)\cdot(Z_2-30)+$$
$$+0,14\cdot(Z_2-30)\cdot(Z_3-2)-0,0064\cdot(Z_3-2)\cdot(Z_1-700)+0,003\cdot(Z_2-30)^2-1,28\cdot(Z_3-2)^2;$$
$$Y_1^{'}=9,462+0,0073\cdot Z_1-5,11-0,317\cdot Z_2+9,51-0,00021\cdot(Z_1\cdot Z_2-30\cdot Z_1-700\cdot Z_2+21000)+$$
$$+0,14\cdot(Z_2\cdot Z_3-2\cdot Z_2-30\cdot Z_3+60)-0,0064\cdot(Z_3\cdot Z_1-700\cdot Z_3-2\cdot Z_1+1400)+$$
$$+0,003\cdot(Z_2^2-60\cdot Z_2+900)-1,28\cdot(Z_3^2-4\cdot Z_3+4);$$
$$Y_1^{'}=13,862+0,0073\cdot Z_1-0,317\cdot Z_2-0,00021\cdot Z_1\cdot Z_2+0,0063\cdot Z_1+0,147\cdot Z_2-4,41+$$
$$+0,14\cdot Z_2\cdot Z_3-0,28\cdot Z_2-4,2\cdot Z_3+8,4-0,0064\cdot Z_3\cdot Z_1+4,48\cdot Z_3+0,0128\cdot Z_1-9,38+$$
$$+0,003\cdot Z_2^2-0,18\cdot Z_2+2,7-1,28\cdot Z_3^2+5,12\cdot Z_3-5,12;$$

$$Y_1^{'}=6,052+0,0264\cdot Z_1-0,63\cdot Z_2+5,4\cdot Z_3-0,00021\cdot Z_1\cdot Z_2+0,14\cdot Z_2\cdot Z_3-0,0064\cdot Z_3\cdot Z_1+$$
$$+0,003\cdot Z_2^2-1,28\cdot Z_3^2.$$

Оценка уравнения регрессии расхода электроэнергии по критерию Фишера на адекватность в основе своего метода применяет коэффициент адекватности, формула (А.3.1-А.3.3), на основе которого и делается вывод.

Обработка данных произведена в табличной форме, результаты представлены в таблице А.3.

Таблица А.3 – Отклик расхода электроэнергии по рассчитанной модели

x_1	x_2	x_3	y	y’	$(y-y')^2$	x_1	x_2	x_3	y	y’	$(y-y')^2$
1	+	1	5,77	4,95	0,68	0	+1,68	0	13,8	12,30	2,25
-1	+	1	5,61	4,41	1,45	0	-1,68	0	0,47	-1,68	4,61
1	-	1	1,03	0,55	0,23	0	0	+1,68	2,88	2,29	0,35
-1	-	1	0,98	0,01	0,95	0	0	-1,68	16,21	13,13	9,52
1	+	-1	14,05	14,78	0,53	0	0	0	4,35	3,74	0,38
-1	+	-1	16,0	15,32	0,47	0	0	0	4,69	3,74	0,91
1	-	-1	2,51	2,54	0,00	0	0	0	5,28	3,74	2,39
-1	-	-1	2,51	3,08	0,32	0	0	0	4,43	3,74	0,48
1,68	0	0	5,64	3,74	3,63	0	0	0	4,82	3,74	1,18
-1,68	0	0	4,8	3,74	1,13	0	0	0	4,62	3,74	0,78
											∑32,24

$$S^2_{ост} = \frac{32,24}{20-7} = 2,48;$$

$$S^2_{ад} = \frac{2,48 \cdot 13 - 0,11 \cdot 5}{(13-5)^2} = 0,49;$$

$$F = \frac{0,49}{0,11} = 4,45.$$

Уравнение регрессии считается адекватным, если выполняется условие, что $F < F_T$, где теоретический коэффициент адекватности найденный при помощи программы Microsoft Excel (FРАСПОБР(0,05;8;5)), и равняется $F_{(0,05;\ fад;\ fвоспр)} = 4,82$. Условие выполнено уравнение регрессии адекватно.

Приводим уравнение регрессии к натуральному виду, для этого используем зависимость, формула (А.3.4-А.3.6), а также

$$X_2 = \frac{Z_2 - 30}{15}; \quad X_3 = \frac{Z_3 - 2}{1}; \quad X_2X_3 = \frac{(Z_2 - 30) \cdot (Z_3 - 2)}{15 \cdot 1}; \quad X_3X_1 = \frac{(Z_3 - 2) \cdot (Z_1 - 700)}{1 \cdot 300};$$

$$X_2^2 = \frac{(Z_2 - 30)^2}{225}; \ X_3^2 = \frac{(Z_3 - 2)^2}{1}.$$

$$y_2' = 3,735 + 4,16 \cdot \frac{Z_2 - 30}{15} - 3,226 \cdot \frac{Z_3 - 2}{1} - 1,96 \cdot \frac{(Z_2 - 30) \cdot (Z_3 - 2)}{15 \cdot 1} + 0,27 \cdot \frac{(Z_3 - 2) \cdot (Z_1 - 700)}{1 \cdot 300} +$$

$$+0,559 \cdot \frac{(Z_2 - 30)^2}{15^2} + 1,408 \cdot \frac{(Z_3 - 2)^2}{1^2}$$

$$y_2' = 3,735 + 0,277 \cdot (Z_2 - 30) - 3,226 \cdot (Z_3 - 2) - 0,131 \cdot (Z_2 \cdot Z_3 - 2 \cdot Z_2 - 30 \cdot Z_3 + 60) +$$

$$0,0009 \cdot (Z_3 \cdot Z_1 - 700 \cdot Z_3 - 2 \cdot Z_1 + 1400) + 0,0025 \cdot (Z_2^2 - 60 \cdot Z_2 + 900) + 1,408 \cdot (Z_3^2 - 4 \cdot Z_3 + 4);$$

$$y_2' = 3,735 + 0,277 \cdot Z_2 - 8,31 - 3,226 \cdot Z_3 + 6,452 - 0,131 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 0,262 \cdot Z_2 + 3,93 \cdot Z_3 -$$

$$-7,86 + 0,0009 \cdot Z_3 \cdot Z_1 - 0,63 \cdot Z_3 - 0,0018 \cdot Z_1 + 1,26 \cdot 0,0025 \cdot Z_2^2 - 0,15 \cdot Z_2 + 2,25 + 1,408 \cdot Z_3^2 -$$

$$-5,632 \cdot Z_3 + 5,632.$$

$$y_2' = 3,159 - 0,0018 \cdot Z_1 + 0,389 \cdot Z_2 - 5,558 \cdot Z_3 - 0,131 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 0,0009 \cdot Z_3 \cdot Z_1 + 0,0025 \cdot Z_2^2 + 1,408 \cdot Z_3^2.$$

А.4 Графическая зависимость параметров уравнений регрессии

В качестве фиксированного значения параметра выступает начальная концентрация нефтепродуктов на нулевом значении, т.е. $Z_1 = 700$, изменяемый параметр − плотность тока. Зависимость остаточного нефтесодержания в сточной жидкости от производительности представлена в табличной форме (таблица А.4,А.5,А.6).

$Z_1 = 700$; $Z_2 = 15$.

$$y_1 = 6,052 + 0,0264 \cdot 700 - 0,63 \cdot 15 + 5,4 \cdot Z_3 - 0,00021 \cdot 700 \cdot 15 + 0,14 \cdot 15 \cdot Z_3 - 0,0064 \cdot Z_3 \cdot 700 +$$

$$+0,003 \cdot 15^2 - 1,28 \cdot Z_3^2 = 13,552 + 3,02 \cdot Z_3 - 1,28 \cdot Z_3^2.$$

Таблица А.4 − Зависимость остаточного нефтесодержания от производительности при плотности тока 15 А/м^2

Z_3	2	3	1	3,68	0,32
$У_1$	14,472	11,092	15,292	7,331	14,387

$Z_1 = 700$; $Z_2 = 30$.

$$У_2 = 6,052 + 0,0264 \cdot 700 - 0,63 \cdot 30 + 5,4 \cdot Z_3 - 0,00021 \cdot 700 \cdot 30 + 0,14 \cdot 30 \cdot Z_3 - 0,0064 \cdot Z_3 \cdot 700 + \\ + 0,003 \cdot 30^2 - 1,28 \cdot Z_3^2 = 3,922 + 5,12 \cdot Z_3 - 1,28 \cdot Z_3^2.$$

Таблица А.5 − Зависимость остаточного нефтесодержания от производительности при плотности тока 30 А/м^2

Z_3	2	3	1	3,68	0,32
$У_2$	9,042	7,762	7,762	5,429	5,429

$Z_1 = 700$; $Z_2 = 45$.

$$У_3 = 6,052 + 0,0264 \cdot 700 - 0,63 \cdot 45 + 5,4 \cdot Z_3 - 0,00021 \cdot 700 \cdot 45 + 0,14 \cdot 45 \cdot Z_3 - 0,0064 \cdot Z_3 \cdot 700 + \\ + 0,003 \cdot 45^2 - 1,28 \cdot Z_3^2 = -4,358 + 7,22 \cdot Z_3 - 1,28 \cdot Z_3^2.$$

Таблица А.6 − Зависимость остаточного нефтесодержания от производительности при плотности тока 45 А/м^2

Z_3	2	3	1	3,68	0,32
$У_3$	4,962	5,782	1,582	4,877	-2,179

В качестве фиксированного значения выступает начальная концентрация нефтепродуктов на нулевом значении, т.е. $Z_1 = 700$, изменяемый параметр − производительность. Зависимость остаточного нефтесодержания в сточной жидкости от плотности тока представлена в табличной форме (таблица А.7,А.8,А.9).

$Z_1 = 700$; $Z_3 = 1$.

$$У_1' = 6,052 + 0,0264 \cdot 700 - 0,63 \cdot Z_2 + 5,4 \cdot 1 - 0,00021 \cdot 700 \cdot Z_2 + 0,14 \cdot Z_2 \cdot 1 - 0,0064 \cdot 1 \cdot 700 + \\ + 0,003 \cdot Z_2^2 - 1,28 \cdot 1^2 = 24,172 - 0,637 \cdot Z_2 + 0,003 \cdot Z_2^2.$$

Таблица А.7 − Зависимость остаточного нефтесодержания от плотности тока при производительности в 1 дм^3/мин

Z_2	30	45	15	55,2	4,8
$У_1$	7,762	1,582	15,292	-1,849	21,183

$Z_1 = 700$; $Z_3 = 2$.

$$У_2' = 6,052 + 0,0264 \cdot 700 - 0,63 \cdot Z_2 + 5,4 \cdot 2 - 0,00021 \cdot 700 \cdot Z_2 + 0,14 \cdot Z_2 \cdot 2 - 0,0064 \cdot 2 \cdot 700 +$$
$$+0,003 \cdot Z_2^2 - 1,28 \cdot 2^2 = 21,252 - 0,497 \cdot Z_2 + 0,003 \cdot Z_2^2.$$

Таблица А.8 − Зависимость остаточного нефтесодержания от плотности тока при производительности в 2 дм^3/мин

Z_2	30	45	15	55,2	4,8
$У_2$	9,042	4,962	14,472	2,959	18,935

$Z_1 = 700$; $Z_3 = 3$.

$$У_3' = 6,052 + 0,0264 \cdot 700 - 0,63 \cdot Z_2 + 5,4 \cdot 3 - 0,00021 \cdot 700 \cdot Z_2 + 0,14 \cdot Z_2 \cdot 3 - 0,0064 \cdot 2 \cdot 700 +$$
$$+0,003 \cdot Z_2^2 - 1,28 \cdot 3^2 = 20,252 - 0,357 \cdot Z_2 + 0,003 \cdot Z_2^2.$$

Таблица А.9 − Зависимость остаточного нефтесодержания от плотности тока при производительности в 3 дм^3/мин

Z_2	30	45	15	55,2	4,8
$У_3$	12,242	10,262	15,572	9,687	18,607

В качестве фиксированного значения параметра выступает плотность тока на нулевом значении, т.е. Z_2 = 30, изменяемый параметр − производительность. Зависимость остаточного нефтесодержания в сточной жидкости от начальной концентрации нефтепродуктов представлена в табличной форме (таблица А.10,А.11,А.12).

$Z_2 = 30$; $Z_3 = 1$.

$$У_1' = 6,052 + 0,0264 \cdot Z_1 - 0,63 \cdot 30 + 5,4 \cdot 1 - 0,00021 \cdot Z_1 \cdot 30 + 0,14 \cdot 30 \cdot 1 - 0,0064 \cdot 1 \cdot Z_1 +$$
$$+0,003 \cdot 30^2 - 1,28 \cdot 1^2 = -1,828 + 0,0137 \cdot Z_1.$$

Таблица А.10 − Зависимость остаточного нефтесодержания от начального при производительности в 1 дм^3/мин

Z_1	700	1000	400	1204	196
$У_1$	7,762	11,872	3,652	14,667	0,857

$Z_2 = 30$; $Z_3 = 2$.

$$У_2' = 6,052 + 0,0264 \cdot Z_1 - 0,63 \cdot 30 + 5,4 \cdot 2 - 0,00021 \cdot Z_1 \cdot 30 + 0,14 \cdot 30 \cdot 2 - 0,0064 \cdot 2 \cdot Z_1 +$$
$$+0,003 \cdot 30^2 - 1,28 \cdot 2^2 = 3,932 + 0,0073 \cdot Z_1.$$

Таблица А.11 − Зависимость остаточного нефтесодержания от начального при производительности в 2 дм^3/мин

Z_1	700	1000	400	1204	196
$У_2$	9,042	11,232	6,852	12,721	5,363

$Z_2 = 30$; $Z_3 = 3$;

$$y_3' = 6,052 + 0,0264 \cdot Z_1 - 0,63 \cdot 30 + 5,4 \cdot 3 - 0,00021 \cdot Z_1 \cdot 30 + 0,14 \cdot 30 \cdot 3 - 0,0064 \cdot 3 \cdot Z_1 +$$
$$+0,003 \cdot 30^2 - 1,28 \cdot 3^2 = 7,132 + 0,0009 \cdot Z_1.$$

Таблица А.12 – Зависимость остаточного нефтесодержания от начального при производительности в 1 дм^3/мин

Z_1	700	1000	400	1204	196
$У_3$	7,762	8,032	7,492	8,216	7,308

Зависимость расхода электроэнергии при обработке сточной жидкости от производительности представлена в табличной форме (таблица А.13,А.14,А.15).

$Z_1 = 700$, $Z_2 = 15$.

$$y_2' = 3,159 - 0,0018 \cdot 700 + 0,389 \cdot 15 - 5,558 \cdot Z_3 - 0,131 \cdot 15 \cdot Z_3 + 0,0009 \cdot Z_3 \cdot 700 + 0,0025 \cdot 15^2 +$$
$$+1,408 \cdot Z_3^2 = 8,297 - 6,893 \cdot Z_3 + 1,408 \cdot Z_3^2.$$

Таблица А.13 – Зависимость расхода электроэнергии от производительности при плотности тока 15 А/м^2

Z_3	2	3	1	3,68	0,32
$У_1$	0,143	0,29	2,812	1,998	6,235

$Z_1 = 700$, $Z_2 = 30$.

$$y_2' = 3,159 - 0,0018 \cdot 700 + 0,389 \cdot 30 - 5,558 \cdot Z_3 - 0,131 \cdot 30 \cdot Z_3 + 0,0009 \cdot Z_3 \cdot 700 + 0,0025 \cdot 30^2 +$$
$$+1,408 \cdot Z_3^2 = 15,819 - 8,858 \cdot Z_3 + 1,408 \cdot Z_3^2.$$

Таблица А.14 – Зависимость расхода электроэнергии от производительности при плотности тока 30 А/м^2

Z_3	2	3	1	3,68	0,32
$У_2$	3,735	1,917	8,369	2,289	13,129

$Z_1 = 700$, $Z_2 = 45$.

$$y_2' = 3,159 - 0,0018 \cdot 700 + 0,389 \cdot 45 - 5,558 \cdot Z_3 - 0,131 \cdot 45 \cdot Z_3 + 0,0009 \cdot Z_3 \cdot 700 + 0,0025 \cdot 45^2 +$$
$$+1,408 \cdot Z_3^2 = 24,467 - 10,823 \cdot Z_3 + 1,408 \cdot Z_3^2.$$

Таблица А.15 – Зависимость расхода электроэнергии от производительности при плотности тока 45 А/м^2

Z_3	2	3	1	3,68	0,32
$У_3$	8,453	4,67	15,052	3,706	21,148

Зависимость расхода электроэнергии при обработке сточной жидкости от плотности тока представлена в табличной форме (таблица А.16,А.17,А.18).

Z_1 =700, Z_3 =1.

$$У_2^{'} = 3,159 - 0,0018 \cdot 700 + 0,389 \cdot Z_2 - 5,558 \cdot 1 - 0,131 \cdot Z_2 \cdot 1 + 0,0009 \cdot 1 \cdot 700 + 0,0025 \cdot Z_2^2 + $$
$$+1,408 \cdot 1^2 = -1,621 + 0,258 \cdot Z_2 + 0,0025 \cdot Z_2^2.$$

Таблица А.16 − Зависимость расхода электроэнергии от плотности тока при производительности 1 дм^3/мин

Z_2	30	45	15	55,2	4,8
$У_1$	8,369	15,051	2,811	20,238	-0,325

Z_1 =700, Z_3 =2.

$$У_2^{'} = 3,159 - 0,0018 \cdot 700 + 0,389 \cdot Z_2 - 5,558 \cdot 2 - 0,131 \cdot Z_2 \cdot 2 + 0,0009 \cdot 2 \cdot 700 + 0,0025 \cdot Z_2^2 + $$
$$+1,408 \cdot 2^2 = -2,325 + 0,127 \cdot Z_2 + 0,0025 \cdot Z_2^2.$$

Таблица А.17 − Зависимость расхода электроэнергии от плотности тока при производительности 2 дм^3/мин

Z_2	30	45	15	55,2	4,8
$У_2$	3,735	8,453	0,143	12,303	-1,658

Z_1 =700, Z_3 =3.

$$У_2^{'} = 3,159 - 0,0018 \cdot 700 + 0,389 \cdot Z_2 - 5,558 \cdot 3 - 0,131 \cdot Z_2 \cdot 3 + 0,0009 \cdot 3 \cdot 700 + 0,0025 \cdot Z_2^2 + $$
$$+1,408 \cdot 3^2 = -0,213 + 0,004 \cdot Z_2 + 0,0025 \cdot Z_2^2.$$

Таблица А.18 − Зависимость расхода электроэнергии от плотности тока при производительности 3 дм^3/мин

Z_2	30	45	15	55,2	4,8
$У_3$	1,917	4,669	0,289	7,184	-0,175

Зависимость расхода электроэнергии при обработке сточной жидкости от начального нефтесодержания представлена в табличной форме (таблица А.19, А.20, А.21).

Z_2 =30, Z_3 =1.

$$У_2^{'} = 3,159 - 0,0018 \cdot Z_1 + 0,389 \cdot 30 - 5,558 \cdot 1 - 0,131 \cdot 30 \cdot 1 + 0,0009 \cdot 1 \cdot Z_1 + 0,0025 \cdot 30^2 + 1,408 \cdot 1^2 =$$
$$= 8,999 - 0,0009 \cdot Z_1.$$

Таблица А.19 − Зависимость расхода электроэнергии от начального нефтесодержания в сточной воде при производительности 1 дм^3/мин

Z_1	700	1000	400	1204	196
$У_3$	8,369	8,099	8,639	7,915	8,823

Z_2 =30, Z_3 =2.

$$Y_2^{'} = 3,159 - 0,0018 \cdot Z_1 + 0,389 \cdot 30 - 5,558 \cdot 2 - 0,131 \cdot 30 \cdot 2 + 0,0009 \cdot 2 \cdot Z_1 + 0,0025 \cdot 30^2 + 1,408 \cdot 2^2 = $$
$$= 3,735.$$

Таблица А.20 − Зависимость расхода электроэнергии от начального нефтесодержания в сточной воде при производительности 2 дм^3/мин

Z_1	700	1000	400	1204	196
$У_3$	3,735	3,735	3,735	3,735	3,735

Z_2 =30, Z_3 =3.

$$Y_2^{'} = 3,159 - 0,0018 \cdot Z_1 + 0,389 \cdot 30 - 5,558 \cdot 3 - 0,131 \cdot 30 \cdot 3 + 0,0009 \cdot 3 \cdot Z_1 + 0,0025 \cdot 30^2 + 1,408 \cdot 3^2 = $$
$$= 1,287 + 0,0009 \cdot Z_1.$$

Таблица А.21 − Зависимость расхода электроэнергии от начального нефтесодержания в сточной воде при производительности 3 дм^3/мин

Z_1	700	1000	400	1204	196
$У_3$	1,917	2,187	1,647	2,371	1,463

А.5 Оптимизация дисоциативно-шаговым методом

Расчет на отклик по остаточному нефтесодеожанию при $X_1 = 0$.

$$Y_1^{'} = 9,462 + 2,2 \cdot 0 - 4,76 \cdot x_2 - 0,964 \cdot 0 \cdot x_2 + 2,096 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,926 \cdot x_3 \cdot 0 + 0,747 \cdot x_2^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = 9,462 - 4,76 \cdot x_2 + 2,096 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,747 \cdot x_2^2 - 1,28 \cdot x_3^2.$$

1)X_2 = -1,68.

$$Y_1^{'} = 9,462 - 4,76 \cdot (-1,68) + 2,096 \cdot (-1,68) \cdot x_3 + 0,747 \cdot (-1,68)^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 - 3,52 \cdot x_3 + 19,57.$$

$$x = \frac{-(-3,52)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(-3,52)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 19,57 + У)};$$
$$x = -1,375 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-21,99 + У)}.$$

$Y = 10,69$ $x = -1,375 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-21,99 + 10,69)};$

$x = -1,375 \pm 2,97.$

$Y = 13,68$ $x = -1,375 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-21,99 + 13,68)};$

$x = -1,375 \pm 2,55.$

$Y = 5,77$ $x = -1,375 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-21,99 + 5,77)};$

$x = -1,375 \pm 3,56.$

2) $X_2 = -1.$

$$Y_1^{'} = 9,462 - 4,76 \cdot (-1) + 2,096 \cdot (-1) \cdot x_3 + 0,747 \cdot (-1)^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$

$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 - 2,096 \cdot x_3 + 14,97.$$

$$x = \frac{-(-2,096)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(-2,096)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 14,97 + Y)};$$

$$x = -0,82 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-15,83 + Y)}.$$

$Y = 10,69$ $x = -0,82 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-15,83 + 10,69)};$

$x = -0,82 \pm 2.$

$Y = 13,68$ $x = -0,82 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-15,83 + 13,68)};$

$x = -0,82 \pm 1,3.$

$Y = 5,77$ $x = -0,82 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-15,83 + 5,77)};$

$x = -0,82 \pm 2,8.$

3) $X_2 = 0.$

$$Y_1^{'} = 9,462 - 4,76 \cdot 0 + 2,096 \cdot 0 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 0^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$

$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 9,462.$$

$$x = \frac{-(0)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(0)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 9,462 + Y)};$$

$$x = \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-9,462 + Y)}.$$

$Y = 10,69$ корней нет

$Y = 13,68$ корней нет

$Y = 5,77$ $x = \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-9,462 + 5,77)};$

$x = \pm 1,7.$

4) $X_2 = 1.$

$$Y_1^{'} = 9,462 - 4,76 \cdot 1 + 2,096 \cdot 1 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 1^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 2,096 \cdot x_3 + 5,449.$$

$$x = \frac{-2,096}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{2,096^2}{4 \cdot (-1,28)} - 5,449 + Y)};$$
$$x = 0,82 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-6,301 + Y)}$$

$Y = 10,69$	корней нет
$Y = 13,68$	корней нет
$Y = 5,77$	$x = 0,82 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-6,301 + 5,77)};$ $x = 0,82 \pm 0,64.$

5) $X_2 = 1,68$.

$$Y_1^{'} = 9,462 - 4,76 \cdot 1,68 + 2,096 \cdot 1,68 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 1,68^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 3,52 \cdot x_3 + 3,57.$$

$$x = \frac{-3,52}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{3,52^2}{4 \cdot (-1,28)} - 3,57 + Y)};$$
$$x = 1,375 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-5,99 + Y)}.$$

$Y = 10,69$	корней нет
$Y = 13,68$	корней нет
$Y = 5,77$	$x = 1,375 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-5,99 + 5,77)};$ $x = 1,375 \pm 0,41.$

Расчет на отклик по расходу электроэнергии, при X_1 =0.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 0,23 \cdot 0 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_3 \cdot 0 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2.$$

1)X_2 = -1,68.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,16 \cdot (-1,68) - 3,226 \cdot x_3 - 1,96 \cdot (-1,68) \cdot x_3 + 0,559 \cdot (-1,68)^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 + 0,07 \cdot x_3 - 1,68.$$

$$x = \frac{-(0,07)}{2 \cdot 1,408} \pm \sqrt{\frac{1}{1,408} \cdot (\frac{(0,07)^2}{4 \cdot 1,408} + 1,68 + Y)};$$
$$x = -0,025 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,6809 + Y)}.$$

Y =0,55 $x = -0,025 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,6809 + 0,55)};$
$x = -0,025 \pm 1,25.$

Y =2,54 $x = -0,025 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,6809 + 2,54)};$
$x = -0,025 \pm 1,73.$

Y =4,95 $x = -0,025 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,6809 + 4,95)};$
$x = -0,025 \pm 2,17.$

Y =14,78 $x = -0,025 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,6809 + 14,78)};$
$x = -0,025 \pm 3,42.$

2) X_2 = -1.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,16 \cdot (-1) - 3,226 \cdot x_3 - 1,96 \cdot (-1) \cdot x_3 + 0,559 \cdot (-1)^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 1,266 \cdot x_3 + 0,134.$$

$$x = \frac{-(-1,266)}{2 \cdot 1,408} \pm \sqrt{\frac{1}{1,408} \cdot (\frac{(-1,266)^2}{4 \cdot 1,408} + 0,134 + Y)};$$
$$x = 0,45 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,414 + Y)}.$$

Y = 0,55 $x = 0,45 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,414 + 0,55)};$
$x = 0,45 \pm 0,83.$

Y = 2,54 $x = 0,45 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,414 + 2,54)};$
$x = 0,45 \pm 1,45.$

Y = 4,95 $x = 0,45 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,414 + 4,95)};$
$x = 0,45 \pm 1,95.$

Y =14,78 $x = 0,45 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,414 + 14,78)};$
$x = 0,45 \pm 3,28.$

3) X_2 = 0.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,16 \cdot 0 - 3,226 \cdot x_3 - 1,96 \cdot 0 \cdot x_3 + 0,559 \cdot 0^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 3,226 \cdot x_3 + 3,735.$$

$$x = \frac{-(-3,226)}{2 \cdot 1,408} \pm \sqrt{\frac{1}{1,408} \cdot (\frac{(-3,226)^2}{4 \cdot 1,408} - 3,735 + Y)};$$
$$x = 1,15 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-1,885 + Y)}.$$

Y =0,55 корней нет

$У$ =2,54 $x = 1,15 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-1,885 + 2,54)};$

$x = 1,15 \pm 0,68.$

$У$ =4,95 $x = 1,15 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-1,885 + 4,95)};$

$x = 1,15 \pm 1,48.$

$У$ =14,78 $x = 1,15 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-1,885 + 14,78)};$

$x = 1,15 \pm 3,03.$

4) $X_2 = 1$.

$$Y_2' = 3,735 + 4,16 \cdot 1 - 3,226 \cdot x_3 - 1,96 \cdot 1 \cdot x_3 + 0,559 \cdot 1^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2' = 1,408 \cdot x_3^2 - 5,186 \cdot x_3 + 8,484.$$

$$x = \frac{-(-5,186)}{2 \cdot 1,408} \pm \sqrt{\frac{1}{1,408} \cdot (\frac{(-5,186)^2}{4 \cdot 1,408} - 8,484 + У)};$$

$$x = 1,84 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,714 + У)}.$$

$У$ =0,55 корней нет

$У$ =2,54 корней нет

$У$ =4,95 $x = 1,84 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,714 + 4,95)};$

$x = 1,84 \pm 0,94.$

$У$ =14,78 $x = 1,84 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,714 + 14,78)};$

$x = 1,84 \pm 2,8.$

5) $X_2 = 1,68$.

$$Y_2' = 3,735 + 4,16 \cdot 1,68 - 3,226 \cdot x_3 - 1,96 \cdot 1,68 \cdot x_3 + 0,559 \cdot 1,68^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2' = 1,408 \cdot x_3^2 - 6,519 \cdot x_3 + 12,301.$$

$$x = \frac{-(-6,519)}{2 \cdot 1,408} \pm \sqrt{\frac{1}{1,408} \cdot (\frac{(-6,519)^2}{4 \cdot 1,408} - 12,301 + У)};$$

$$x = 2,31 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-4,751 + У)}.$$

$У$ =0,55 корней нет

$У$ =2,54 корней нет

$У$ =4,95 $x = 2,31 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-4,751 + 4,95)};$

$x = 2,31 \pm 0,37.$

$У$ =14,78 $x = 2,31 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-4,751 + 14,78)};$

$x = 2,31 \pm 2,67.$

Расчет на отклик по остаточному нефтесодержанию при X_1 =-1.

$$Y_1' = 9,462 + 2,2\cdot(-1) - 4,76\cdot x_2 - 0,964\cdot(-1)\cdot x_2 + 2,096\cdot x_2\cdot x_3 - 1,926\cdot x_3\cdot(-1) + 0,747\cdot x_2^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$
$$Y_1' = 7,262 - 3,8\cdot x_2 + 1,926\cdot x_3 + 2,096\cdot x_2\cdot x_3 + 0,747\cdot x_2^2 - 1,28\cdot x_3^2.$$

1)X_2 = -1,68.

$$Y_1' = 7,262 - 3,8\cdot(-1,68) + 1,926\cdot x_3 + 2,096\cdot(-1,68)\cdot x_3 + 0,747\cdot(-1,68)^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$
$$Y_1' = -1,28\cdot x_3^2 - 1,59\cdot x_3 + 15,75.$$

$$x = \frac{-(-1,59)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot\left(\frac{(-1,59)^2}{4\cdot(-1,28)} - 15,75 + Y\right)};$$
$$x = -0,62 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-16,24 + Y)}.$$

Y = 10,69 $\quad x = -0,62 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-16,24 + 10,69)};$
$x = -0,62 \pm 2,08.$

Y = 13,68 $\quad x = -0,62 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-16,24 + 13,68)};$
$x = -0,62 \pm 1,41.$

Y = 5,77 $\quad x = -0,62 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-16,24 + 5,77)};$
$x = -0,62 \pm 2,86.$

2) X_2 = -1.

$$Y_1' = 7,262 - 3,8\cdot(-1) + 1,926\cdot x_3 + 2,096\cdot(-1)\cdot x_3 + 0,747\cdot(-1)^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$
$$Y_1' = -1,28\cdot x_3^2 - 0,17\cdot x_3 + 11,809.$$

$$x = \frac{-(-0,17)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot\left(\frac{(-0,17)^2}{4\cdot(-1,28)} - 11,809 + Y\right)};$$
$$x = -0,07 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-11,812 + Y)}.$$

Y = 10,69 $\quad x = -0,07 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-11,812 + 10,69)};$
$x = -0,07 \pm 0,94.$

Y = 13,68 корней нет

Y = 5,77 $\quad x = -0,07 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-11,812 + 5,77)};$
$x = -0,07 \pm 2,17.$

3) X_2 = 0.

$$Y_1' = 7,262 - 3,8\cdot 0 + 1,926\cdot x_3 + 2,096\cdot 0\cdot x_3 + 0,747\cdot 0^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$
$$Y_1' = -1,28\cdot x_3^2 + 1,926\cdot x_3 + 7,262.$$

$$x = \frac{-(1,926)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot(\frac{(1,926)^2}{4\cdot(-1,28)} - 7,262 + У)};$$

$$x = 0,75 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-7,982 + У)}.$$

$У = 10,69$	корней нет
$У = 13,68$	корней нет
$У = 5,77$	$x = 0,75 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-7,982 + 5,77)};$ $x = 0,75 \pm 1,31.$

4) $X_2 = 1$.

$$У_1' = 7,262 - 3,8\cdot 1 + 1,926\cdot x_3 + 2,096\cdot 1\cdot x_3 + 0,747\cdot 1^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$

$$У_1' = -1,28\cdot x_3^2 + 4,022\cdot x_3 + 4,209.$$

$$x = \frac{-(4,022)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot(\frac{(4,022)^2}{4\cdot(-1,28)} - 4,209 + У)};$$

$$x = 1,57 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-7,369 + У)}$$

$У = 10,69$	корней нет
$У = 13,68$	корней нет
$У = 5,77$	$x = 1,57 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-7,369 + 5,77)};$ $x = 1,57 \pm 1,12.$

5) $X_2 = 1,68$.

$$У_1' = 7,262 - 3,8\cdot 1,68 + 1,926\cdot x_3 + 2,096\cdot 1,68\cdot x_3 + 0,747\cdot 1,68^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$

$$У_1' = -1,28\cdot x_3^2 + 5,45\cdot x_3 + 2,986.$$

$$x = \frac{-(5,45)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot(\frac{(5,45)^2}{4\cdot(-1,28)} - 2,986 + У)};$$

$$x = 2,13 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-8,786 + У)}.$$

$У = 10,69$	корней нет
$У = 13,68$	корней нет
$У = 5,77$	$x = 2,13 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-8,786 + 5,77)};$ $x = 2,13 \pm 1,53.$

Расчет на отклик по расходу электроэнергии при X_1 =-1.

$$Y_2' = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 0,23 \cdot (-1) \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_3 \cdot (-1) + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2' = 3,735 + 4,39 \cdot x_2 - 3,496 \cdot x_3 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2.$$

1) $X_2 = -1,68.$

$$Y_2' = 3,735 + 4,39 \cdot (-1,68) - 3,496 \cdot x_3 - 1,96 \cdot (-1,68) \cdot x_3 + 0,559 \cdot (-1,68)^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2' = 1,408 \cdot x_3^2 - 0,2 \cdot x_3 - 2,06.$$

$$x = \frac{-(-0,2)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(-0,2)^2}{4 \cdot (1,408)} + 2,06 + Y)};$$
$$x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,07 + Y)}.$$

$Y = 0,55$
$x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,07 + 0,55)};$
$x = 0,07 \pm 1,36.$

$Y = 2,54$
$x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,07 + 2,54)};$
$x = 0,07 \pm 1,81.$

$Y = 4,95$
$x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,07 + 4,95)};$
$x = 0,07 \pm 2,23.$

$Y = 14,78$
$x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,07 + 14,78)};$
$x = 0,07 \pm 3,46.$

2) $X_2 = -1.$

$$Y_2' = 3,735 + 4,39 \cdot (-1) - 3,496 \cdot x_3 - 1,96 \cdot (-1) \cdot x_3 + 0,559 \cdot (-1)^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2' = 1,408 \cdot x_3^2 - 1,536 \cdot x_3 - 0,096.$$

$$x = \frac{-(-1,536)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(-1,536)^2}{4 \cdot (1,408)} + 0,096 + Y)};$$
$$x = 0,54 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,51 + Y)}.$$

$Y = 0,55$
$x = 0,54 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,51 + 0,55)};$
$x = 0,54 \pm 0,88.$

$Y = 2,54$
$x = 0,54 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,51 + 2,54)};$
$x = 0,54 \pm 1,47.$

$Y = 4,95$
$x = 0,54 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,51 + 4,95)};$
$x = 0,54 \pm 1,97.$

$Y = 14,78$
$x = 0,54 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,51 + 14,78)};$
$x = 0,54 \pm 3,29.$

3)$X_2 = 0$.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,39 \cdot 0 - 3,496 \cdot x_3 - 1,96 \cdot 0 \cdot x_3 + 0,559 \cdot 0^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 3,496 \cdot x_3 + 3,735.$$

$$x = \frac{-(-3,496)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(-3,496)^2}{4 \cdot (1,408)} - 3,735 + Y)};$$
$$x = 1,24 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-1,56 + Y)}.$$

$Y = 0,55$	корней нет
$Y = 2,54$	$x = 1,24 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-1,56 + 2,54)};$ $x = 1,24 \pm 0,83.$
$Y = 4,95$	$x = 1,24 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-1,56 + 4,95)};$ $x = 1,24 \pm 1,55.$
$Y = 14,78$	$x = 1,24 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-1,56 + 14,78)};$ $x = 1,24 \pm 3,06.$

4)$X_2 = 1$.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,39 \cdot 1 - 3,496 \cdot x_3 - 1,96 \cdot 1 \cdot x_3 + 0,559 \cdot 1^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 5,456 \cdot x_3 + 8,684.$$

$$x = \frac{-(-5,456)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(-5,456)^2}{4 \cdot (1,408)} - 8,684 + Y)};$$
$$x = 1,94 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,4 + Y)}.$$

$Y = 0,55$	корней нет
$Y = 2,54$	корней нет
$Y = 4,95$	$x = 1,94 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,4 + 4,95)};$ $x = 1,94 \pm 1,04.$
$Y = 14,78$	$x = 1,94 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,4 + 14,78)};$ $x = 1,94 \pm 2,84.$

5)$X_2 = 1,68$.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,39 \cdot 1,68 - 3,496 \cdot x_3 - 1,96 \cdot 1,68 \cdot x_3 + 0,559 \cdot 1,68^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 6,79 \cdot x_3 + 12,69.$$

$$x = \frac{-(-6,79)}{2\cdot(1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)}\cdot\left(\frac{(-6,79)^2}{4\cdot(1,408)} - 12,69 + У\right)};$$

$$x = 2,41 \pm \sqrt{0,71\cdot(-4,5+У)}.$$

$У = 0,55$	корней нет
$У = 2,54$	корней нет
$У = 4,95$	$x = 2,41 \pm \sqrt{0,71\cdot(-4,5+4,95)};$ $x = 2,41 \pm 0,56.$
$У = 14,78$	$x = 2,41 \pm \sqrt{0,71\cdot(-4,5+14,78)};$ $x = 2,41 \pm 2,7.$

Расчет на отклик по остаточному нефтесодержанию X_1 =-1,68.

$$У_1' = 9,462 + 2,2\cdot(-1,68) - 4,76\cdot x_2 - 0,964\cdot(-1,68)\cdot x_2 + 2,096\cdot x_2\cdot x_3 - 1,926\cdot x_3\cdot(-1,68) + 0,747\cdot x_2^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$

$$У_1' = 5,766 - 3,14\cdot x_2 + 3,23\cdot x_3 + 2,096\cdot x_2\cdot x_3 + 0,747\cdot x_2^2 - 1,28\cdot x_3^2.$$

1) X_2 = -1,68.

$$У_1' = 5,766 - 3,14\cdot(-1,68) + 3,23\cdot x_3 + 2,096\cdot(-1,68)\cdot x_3 + 0,747\cdot(-1,68)^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$

$$У_1' = -1,28\cdot x_3^2 - 0,29\cdot x_3 + 13,15.$$

$$x = \frac{-(-0,29)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot\left(\frac{(-0,29)^2}{4\cdot(-1,28)} - 13,15 + У\right)};$$

$$x = -0,11 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-13,17+У)}.$$

$У = 10,69$	$x = -0,11 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-13,17+10,69)};$ $x = -0,11 \pm 1,39.$
$У = 13,68$	корней нет.
$У = 5,77$	$x = -0,11 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-13,17+5,77)};$ $x = -0,11 \pm 2,4.$

2) X_2 = -1.

$$У_1' = 5,766 - 3,14\cdot(-1) + 3,23\cdot x_3 + 2,096\cdot(-1)\cdot x_3 + 0,747\cdot(-1)^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$

$$У_1' = -1,28\cdot x_3^2 + 1,134\cdot x_3 + 9,653.$$

$$x = \frac{-(1,134)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot\left(\frac{(1,134)^2}{4\cdot(-1,28)} - 9,653 + У\right)};$$

$$x = 0,44 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-9,885+У)}.$$

$У = 10,69$	корней нет
$У = 13,68$	корней нет

$У = 5,77$ $x = 0,44 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-9,885 + 5,77)};$

$x = 0,44 \pm 1,79.$

3) $X_2 = 0.$

$$У_1^{'} = 5,766 - 3,14 \cdot 0 + 3,23 \cdot x_3 + 2,096 \cdot 0 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 0^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$

$$У_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 3,23 \cdot x_3 + 5,766.$$

$$x = \frac{-(3,23)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(3,23)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 5,766 + У)};$$

$$x = 1,26 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-7,816 + У)}.$$

$У = 10,69$ корней нет.

$У = 13,68$ корней нет.

$У = 5,77$ $x = 1,26 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-7,816 + 5,77)};$

$x = 1,26 \pm 1,3.$

4) $X_2 = 1.$

$$У_1^{'} = 5,766 - 3,14 \cdot 1 + 3,23 \cdot x_3 + 2,096 \cdot 1 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 1^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$

$$У_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 5,33 \cdot x_3 + 3,373.$$

$$x = \frac{-(5,33)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(5,33)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 3,373 + У)};$$

$$x = 2,08 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-8,923 + У)}$$

$У = 10,69$ корней нет.

$У = 13,68$ корней нет.

$У = 5,77$ $x = 2,08 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-8,923 + 5,77)};$

$x = 2,08 \pm 1,57.$

5) $X_2 = 1,68.$

$$У_1^{'} = 5,766 - 3,14 \cdot 1,68 + 3,23 \cdot x_3 + 2,096 \cdot 1,68 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 1,68^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$

$$У_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 6,75 \cdot x_3 + 2,599.$$

$$x = \frac{-(6,75)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(6,75)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 2,599 + У)};$$

$$x = 2,64 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-8,9 - 2,599 + У)}.$$

$У = 10,69$ $x = 2,64 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-8,94 - 2,599 + 10,69)};$

$x = 2,64 \pm 0,81.$

$У = 13,68$ корней нет.

$У = 5,77$ $x = 2,64 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-8,94 - 2,599 + 5,77)};$

$x = 2,64 \pm 2,12.$

Расчет на отклик по расходу электроэнергии при X_1 =-1,68.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 0,23 \cdot (-1,68) \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_3 \cdot (-1,68) + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,55 \cdot x_2 - 3,68 \cdot x_3 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2.$$

1)X_2 = -1,68.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,55 \cdot (-1,68) - 3,68 \cdot x_3 - 1,96 \cdot (-1,68) \cdot x_3 + 0,559 \cdot (-1,68)^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 0,39 \cdot x_3 - 2,33.$$

$$x = \frac{-(-0,39)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(-0,39)^2}{4 \cdot (1,408)} + 2,33 + У)};$$

$$x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,36 + У)}.$$

$У = 0,55$ $x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,36 + 0,55)};$

$x = 0,07 \pm 1,44.$

$У = 2,54$ $x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,36 + 2,55)};$

$x = 0,07 \pm 1,86.$

$У = 4,95$ $x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,36 + 4,95)};$

$x = 0,07 \pm 2,28.$

$У = 14,78$ $x = 0,07 \pm \sqrt{0,71 \cdot (2,36 + 14,78)};$

$x = 0,07 \pm 3,49.$

2)X_2 = -1.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,55 \cdot (-1) - 3,68 \cdot x_3 - 1,96 \cdot (-1) \cdot x_3 + 0,559 \cdot (-1)^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 1,72 \cdot x_3 - 0,26.$$

$$x = \frac{-(-1,72)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(-1,72)^2}{4 \cdot (1,408)} + 0,26 + У)};$$

$$x = 0,61 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,78 + У)}.$$

$У = 0,55$ $x = 0,61 \pm \sqrt{0,71 \cdot (0,78 + 0,55)};$

$x = 0,61 \pm 0,97.$

$Y = 2{,}54$ $\quad x = 0{,}61 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (0{,}78 + 2{,}54)};$

$x = 0{,}61 \pm 1{,}53.$

$Y = 4{,}95$ $\quad x = 0{,}61 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (0{,}78 + 4{,}95)};$

$x = 0{,}61 \pm 2{,}02.$

$Y = 14{,}78$ $\quad x = 0{,}61 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (0{,}78 + 14{,}78)};$

$x = 0{,}61 \pm 3{,}32.$

3) $X_2 = 0.$

$$Y_2' = 3{,}735 + 4{,}55 \cdot 0 - 3{,}68 \cdot x_3 - 1{,}96 \cdot 0 \cdot x_3 + 0{,}559 \cdot 0^2 + 1{,}408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2' = 1{,}408 \cdot x_3^2 - 3{,}68 \cdot x_3 + 3{,}735.$$

$$x = \frac{-(-3{,}68)}{2 \cdot (1{,}408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1{,}408)} \cdot \left(\frac{(-3{,}68)^2}{4 \cdot (1{,}408)} - 3{,}736 + Y\right)};$$

$$x = 1{,}31 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-1{,}33 + Y)}.$$

$Y = 0{,}55$ корней нет

$Y = 2{,}54$ $\quad x = 1{,}31 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-1{,}33 + 2{,}54)};$

$x = 1{,}31 \pm 0{,}93.$

$Y = 4{,}95$ $\quad x = 1{,}31 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-1{,}33 + 4{,}95)};$

$x = 1{,}31 \pm 1{,}6.$

$Y = 14{,}78$ $\quad x = 1{,}31 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-1{,}33 + 14{,}78)};$

$x = 1{,}31 \pm 3{,}1.$

4) $X_2 = 1.$

$$Y_2' = 3{,}735 + 4{,}55 \cdot 1 - 3{,}68 \cdot x_3 - 1{,}96 \cdot 1 \cdot x_3 + 0{,}559 \cdot 1^2 + 1{,}408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2' = 1{,}408 \cdot x_3^2 - 5{,}64 \cdot x_3 + 8{,}844.$$

$$x = \frac{-(-5{,}64)}{2 \cdot (1{,}408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1{,}408)} \cdot \left(\frac{(-5{,}64)^2}{4 \cdot (1{,}408)} - 8{,}844 + Y\right)};$$

$$x = 2{,}0 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-3{,}19 + Y)}.$$

$Y = 0{,}55$ корней нет

$Y = 2{,}54$ корней нет

$Y = 4{,}95$ $\quad x = 2{,}0 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-3{,}19 + 4{,}95)};$

$x = 2{,}0 \pm 1{,}12.$

$Y = 14{,}78$ $\quad x = 2{,}0 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-3{,}19 + 14{,}78)};$

$x = 2{,}0 \pm 2{,}87.$

5)$X_2 = 1{,}68$.

$$Y_2^{'} = 3{,}735 + 4{,}55 \cdot 1{,}68 - 3{,}68 \cdot x_3 - 1{,}96 \cdot 1{,}68 \cdot x_3 + 0{,}559 \cdot 1{,}68^2 + 1{,}408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1{,}408 \cdot x_3^2 - 6{,}97 \cdot x_3 + 12{,}96.$$

$$x = \frac{-(-6{,}97)}{2 \cdot (1{,}408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1{,}408)} \cdot (\frac{(-6{,}97)^2}{4 \cdot (1{,}408)} - 12{,}96 + Y)};$$
$$x = 2{,}47 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-4{,}33 + Y)}.$$

$Y = 0{,}55$	корней нет
$Y = 2{,}54$	корней нет
$Y = 4{,}95$	$x = 2{,}47 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-4{,}33 + 4{,}95)};$ $x = 2{,}47 \pm 0{,}66.$
$Y = 14{,}78$	$x = 2{,}47 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-4{,}33 + 14{,}78)};$ $x = 2{,}47 \pm 2{,}72.$

Расчет на отклик по остаточному нефтесодержанию при $X_1 = 1$.

$$Y_1^{'} = 9{,}462 + 2{,}2 \cdot (1) - 4{,}76 \cdot x_2 - 0{,}964 \cdot (1) \cdot \mathrm{x}_2 + 2{,}096 \cdot \mathrm{x}_2 \cdot \mathrm{x}_3 - 1{,}926 \cdot x_3 \cdot (1) + 0{,}747 \cdot \mathrm{x}_2^2 - 1{,}28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = 11{,}662 - 5{,}72 \cdot x_2 - 1{,}926 \cdot x_3 + 2{,}096 \cdot \mathrm{x}_2 \cdot \mathrm{x}_3 + 0{,}747 \cdot \mathrm{x}_2^2 - 1{,}28 \cdot x_3^2.$$

1)$X_2 = -1{,}68$.

$$Y_1^{'} = 11{,}662 - 5{,}72 \cdot (-1{,}68) - 1{,}926 \cdot x_3 + 2{,}096 \cdot (-1{,}68) \cdot \mathrm{x}_3 + 0{,}747 \cdot (-1{,}68)^2 - 1{,}28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1{,}28 \cdot x_3^2 - 5{,}45 \cdot x_3 + 23{,}38.$$

$$x = \frac{-(-5{,}45)}{2 \cdot (-1{,}28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1{,}28)} \cdot (\frac{(-5{,}45)^2}{4 \cdot (-1{,}28)} - 23{,}38 + Y)};$$
$$x = -2{,}13 \pm \sqrt{-0{,}78 \cdot (-29{,}18 + Y)}.$$

$Y = 10{,}69$	$x = -2{,}13 \pm \sqrt{-0{,}78 \cdot (-29{,}18 + 10{,}69)};$ $x = -2{,}13 \pm 3{,}8.$
$Y = 13{,}68$	$x = -2{,}13 \pm \sqrt{-0{,}78 \cdot (-29{,}18 + 13{,}68)};$ $x = -2{,}13 \pm 3{,}47.$
$Y = 5{,}77$	$x = -2{,}13 \pm \sqrt{-0{,}78 \cdot (-29{,}18 + 5{,}77)};$ $x = -2{,}13 \pm 4{,}27.$

2) $X_2 = -1$.

$$Y_1^{'} = 11,662 - 5,72 \cdot (-1) - 1,926 \cdot x_3 + 2,096 \cdot (-1) \cdot x_3 + 0,747 \cdot (-1)^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 - 4,02 \cdot x_3 + 18,13.$$

$$x = \frac{-(-4,02)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(-4,02)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 18,13 + Y)};$$
$$x = -1,57 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-21,29 + Y)}.$$

$Y = 10,69$

$$x = -1,57 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-21,29 + 10,69)};$$
$$x = -1,57 \pm 2,87.$$

$Y = 13,68$

$$x = -1,57 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-21,29 + 13,68)};$$
$$x = -1,57 \pm 2,43.$$

$Y = 5,77$

$$x = -1,57 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-3,16 - 18,13 + 5,77)};$$
$$x = -1,57 \pm 3,48.$$

3) $X_2 = 0$.

$$Y_1^{'} = 11,662 - 5,72 \cdot 0 - 1,926 \cdot x_3 + 2,096 \cdot 0 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 0^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 - 1,926 \cdot x_3 + 11,662.$$

$$x = \frac{-(-1,926)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(-1,926)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 11,662 + Y)};$$
$$x = -0,75 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-14,82 + Y)}.$$

$Y = 10,69$

$$x = -0,75 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-14,82 + 10,69)};$$
$$x = -0,75 \pm 1,79.$$

$Y = 13,68$

$$x = -0,75 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-14,82 + 13,68)};$$
$$x = -0,75 \pm 0,94.$$

$Y = 5,77$

$$x = -0,75 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-14,82 + 5,77)};$$
$$x = -0,75 \pm 2,66.$$

4) $X_2 = 1$.

$$Y_1^{'} = 11,662 - 5,72 \cdot 1 - 1,926 \cdot x_3 + 2,096 \cdot 1 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 1^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 0,17 \cdot x_3 + 6,689.$$

$$x = \frac{-(0,17)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(0,17)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 6,689 + Y)};$$
$$x = 0,07 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-6,695 + Y)}$$

$У = 10,69$ корней нет

$У = 13,68$ корней нет

$У = 5,77$ $x = 0,07 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-6,695 + 5,77)};$

$x = 0,07 \pm 0,85.$

5) $X_2 = 1,68.$

$$У_1^{'} = 11,662 - 5,72 \cdot 1,68 - 1,926 \cdot x_3 + 2,096 \cdot 1,68 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 1,68^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$

$$У_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 1,6 \cdot x_3 + 4,16.$$

$$x = \frac{-(1,6)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(1,6)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 4,16 + У)};$$

$$x = 0,63 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-4,66 + У)}.$$

$У = 10,69$ корней нет

$У = 13,68$ корней нет

$У = 5,77$ корней нет

Расчет на отклик по расходу электроэнергии при $X_1 = 1$.

$$У_2^{'} = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 0,23 \cdot 1 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_3 \cdot 1 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$У_2^{'} = 3,735 + 3,93 \cdot x_2 - 2,97 \cdot x_3 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2.$$

1)$X_2 = -1,68.$

$$У_2^{'} = 3,735 + 3,93 \cdot (-1,68) - 2,97 \cdot x_3 - 1,96 \cdot (-1,68) \cdot x_3 + 0,559 \cdot (-1,68)^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$У_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 + 0,32 \cdot x_3 - 1,29.$$

$$x = \frac{-(0,32)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(0,32)^2}{4 \cdot (1,408)} + 1,29 + У)};$$

$$x = -0,11 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,31 + У)}.$$

$У = 0,55$ $x = -0,11 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,31 + 0,55)};$

$x = -0,11 \pm 1,15.$

$У = 2,54$ $x = -0,11 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,31 + 2,54)};$

$x = -0,11 \pm 1,65.$

$У = 4,95$ $x = -0,11 \pm \sqrt{0,71 \cdot (1,31 + 4,95)};$

$x = -0,11 \pm 2,1.$

$Y = 14{,}78$ $\quad x = -0{,}11 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (1{,}31 + 14{,}78)};$

$x = -0{,}11 \pm 3{,}38.$

2)$X_2 = -1.$

$Y_2^{'} = 3{,}735 + 3{,}93 \cdot (-1) - 2{,}97 \cdot x_3 - 1{,}96 \cdot (-1) \cdot x_3 + 0{,}559 \cdot (-1)^2 + 1{,}408 \cdot x_3^2;$

$Y_2^{'} = 1{,}408 \cdot x_3^2 - 1{,}01 \cdot x_3 + 0{,}36.$

$$x = \frac{-(-1{,}01)}{2 \cdot (1{,}408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1{,}408)} \cdot \left(\frac{(-1{,}01)^2}{4 \cdot (1{,}408)} - 0{,}36 + Y\right)};$$

$x = 0{,}36 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-0{,}18 + Y)}.$

$Y = 0{,}55$ $\quad x = 0{,}36 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-0{,}18 + 0{,}55)};$

$x = 0{,}36 \pm 0{,}51.$

$Y = 2{,}54$ $\quad x = 0{,}36 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-0{,}18 + 2{,}54)};$

$x = 0{,}36 \pm 1{,}29.$

$Y = 4{,}95$ $\quad x = 0{,}36 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-0{,}18 + 4{,}95)};$

$x = 0{,}36 \pm 1{,}84.$

$Y = 14{,}78$ $\quad x = 0{,}36 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-0{,}18 + 14{,}78)};$

$x = 0{,}36 \pm 3{,}22.$

3)$X_2 = 0.$

$Y_2^{'} = 3{,}735 + 3{,}93 \cdot 0 - 2{,}97 \cdot x_3 - 1{,}96 \cdot 0 \cdot x_3 + 0{,}559 \cdot 0^2 + 1{,}408 \cdot x_3^2;$

$Y_2^{'} = 1{,}408 \cdot x_3^2 - 2{,}97 \cdot x_3 + 3{,}735.$

$$x = \frac{-(-2{,}97)}{2 \cdot (1{,}408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1{,}408)} \cdot \left(\frac{(-2{,}97)^2}{4 \cdot (1{,}408)} - 3{,}735 + Y\right)};$$

$x = 1{,}05 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-2{,}17 + Y)}.$

$Y = 0{,}55$ $\quad$ корней нет

$Y = 2{,}54$ $\quad x = 1{,}05 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-2{,}17 + 2{,}54)};$

$x = 1{,}05 \pm 0{,}51.$

$Y = 4{,}95$ $\quad x = 1{,}05 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-2{,}17 + 4{,}95)};$

$x = 1{,}05 \pm 1{,}4.$

$Y = 14{,}78$ $\quad x = 1{,}05 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-2{,}17 + 14{,}78)};$

$x = 1{,}05 \pm 2{,}99.$

4)$X_2 = 1.$

$$Y_2^{'} = 3,735 + 3,93 \cdot 1 - 2,97 \cdot x_3 - 1,96 \cdot 1 \cdot x_3 + 0,559 \cdot 1^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 4,89 \cdot x_3 + 8,224.$$

$$x = \frac{-(-4,89)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(-4,89)^2}{4 \cdot (1,408)} - 8,224 + Y)};$$
$$x = 1,74 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,98 + Y)}.$$

$Y = 0,55$ корней нет

$Y = 2,54$ корней нет

$Y = 4,95$
$$x = 1,74 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,98 + 4,95)};$$
$$x = 1,74 \pm 0,83.$$

$Y = 14,78$
$$x = 1,74 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-3,98 + 14,78)};$$
$$x = 1,74 \pm 2,77.$$

5)$X_2 = 1,68$.

$$Y_2^{'} = 3,735 + 3,93 \cdot 1,68 - 2,97 \cdot x_3 - 1,96 \cdot 1,68 \cdot x_3 + 0,559 \cdot 1,68^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$
$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 - 6,26 \cdot x_3 + 22,43.$$

$$x = \frac{-(-6,26)}{2 \cdot (1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)} \cdot (\frac{(-6,26)^2}{4 \cdot (1,408)} - 11,91 + Y)};$$
$$x = 2,22 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-4,95 + Y)}.$$

$Y = 0,55$ корней нет

$Y = 2,54$ корней нет

$Y = 4,95$ $x = 2,22$

$Y = 14,78$
$$x = 2,22 \pm \sqrt{0,71 \cdot (-4,95 + 14,78)};$$
$$x = 2,22 \pm 2,64.$$

Расчет на отклик по остаточному нефтесодержанию при $X_1 = 1,68$.

$$Y_1^{'} = 9,462 + 2,2 \cdot 1,68 - 4,76 \cdot x_2 - 0,964 \cdot 1,68 \cdot x_2 + 2,096 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,926 \cdot x_3 \cdot 1,68 + 0,747 \cdot x_2^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = 13,158 - 6,36 \cdot x_2 - 3,23 \cdot x_3 + 2,096 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,747 \cdot x_2^2 - 1,28 \cdot x_3^2.$$

1)$X_2 = -1,68$.

$$Y_1^{'} = 13,158 - 6,36 \cdot (-1,68) - 3,23 \cdot x_3 + 2,096 \cdot (-1,68) \cdot x_3 + 0,747 \cdot (-1,68)^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 - 6,75 \cdot x_3 + 25,95.$$

$$x = \frac{-(-6,75)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot\left(\frac{(-6,75)^2}{4\cdot(-1,28)} - 25,95 + Y\right)};$$

$$x = -2,64 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-34,85+Y)}.$$

$Y = 10,69$

$$x = -2,64 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-34,85+10,69)};$$
$$x = -2,64 \pm 4,34.$$

$Y = 13,68$

$$x = -2,64 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-34,85+13,68)};$$
$$x = -2,64 \pm 4,06.$$

$Y = 5,77$

$$x = -2,64 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-34,85+5,77)};$$
$$x = -2,64 \pm 4,76.$$

2) X_2 = -1.

$$Y_1^{'} = 13,158 - 6,36\cdot(-1) - 3,23\cdot x_3 + 2,096\cdot(-1)\cdot x_3 + 0,747\cdot(-1)^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28\cdot x_3^2 - 5,33\cdot x_3 + 20,26.$$

$$x = \frac{-(-5,33)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot\left(\frac{(-5,33)^2}{4\cdot(-1,28)} - 20,26 + Y\right)};$$

$$x = -2,08 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-25,81+Y)}.$$

$Y = 10,69$

$$x = -2,08 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-5,55-20,26+10,69)};$$
$$x = -2,08 \pm 3,43.$$

$Y = 13,68$

$$x = -2,08 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-5,55-20,26+13,68)};$$
$$x = -2,08 \pm 3,07.$$

$Y = 5,77$

$$x = -2,08 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-5,55-20,26+5,77)};$$
$$x = -2,08 \pm 3,95.$$

3) $X_2 = 0$.

$$Y_1^{'} = 13,158 - 6,36\cdot 0 - 3,23\cdot x_3 + 2,096\cdot 0\cdot x_3 + 0,747\cdot 0^2 - 1,28\cdot x_3^2;$$
$$Y_1^{'} = -1,28\cdot x_3^2 - 3,23\cdot x_3 + 13,158.$$

$$x = \frac{-(-3,23)}{2\cdot(-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)}\cdot\left(\frac{(-3,23)^2}{4\cdot(-1,28)} - 13,158 + Y\right)};$$

$$x = -1,26 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-15,2+Y)}.$$

$Y = 10,69$

$$x = -1,26 \pm \sqrt{-0,78\cdot(-15,2+10,69)};$$
$$x = -1,26 \pm 1,88.$$

$У = 13,68$ $x = -1,26 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-15,12 + 13,68)};$

$x = -1,26 \pm 1,09.$

$У = 5,77$ $x = -1,26 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-15,2 + 5,77)};$

$x = -1,26 \pm 2,71.$

4) $X_2 = 1.$

$$Y_1^{'} = 13,158 - 6,36 \cdot 1 - 3,23 \cdot x_3 + 2,096 \cdot 1 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 1^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$

$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 - 1,134 \cdot x_3 + 7,545.$$

$$x = \frac{-(-1,134)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(-1,134)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 7,545 + У)};$$

$$x = -0,44 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-7,795 + У)}.$$

$У = 10,69$ корней нет.

$У = 13,68$ корней нет.

$У = 5,77$ $x = -0,44 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-7,795 + 5,77)};$

$x = -0,44 \pm 1,26.$

5) $X_2 = 1,68.$

$$Y_1^{'} = 13,158 - 6,36 \cdot 1,68 - 3,23 \cdot x_3 + 2,096 \cdot 1,68 \cdot x_3 + 0,747 \cdot 1,68^2 - 1,28 \cdot x_3^2;$$

$$Y_1^{'} = -1,28 \cdot x_3^2 + 0,29 \cdot x_3 + 4,58.$$

$$x = \frac{-(0,29)}{2 \cdot (-1,28)} \pm \sqrt{\frac{1}{(-1,28)} \cdot (\frac{(0,29)^2}{4 \cdot (-1,28)} - 4,58 + У)};$$

$$x = 0,11 \pm \sqrt{-0,78 \cdot (-4,596 + У)}.$$

$У = 10,69$ корней нет.

$У = 13,68$ корней нет.

$У = 5,77$ корней нет.

Расчет на отклик по расходу электроэнергии при $X_1 = 1,68.$

$$Y_2^{'} = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 0,23 \cdot 1,68 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_3 \cdot 1,68 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'} = 3,735 + 3,77 \cdot x_2 - 2,77 \cdot x_3 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2.$$

1)$X_2 = -1,68.$

$$Y_2^{'} = 3,735 + 3,77 \cdot (-1,68) - 2,77 \cdot x_3 - 1,96 \cdot (-1,68) \cdot x_3 + 0,559 \cdot (-1,68)^2 + 1,408 \cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'} = 1,408 \cdot x_3^2 + 0,52 \cdot x_3 - 1,02.$$

$$x=\frac{-(0,52)}{2\cdot(1,408)}\pm\sqrt{\frac{1}{(1,408)}\cdot(\frac{(0,52)^2}{4\cdot(1,408)}+1,02+Y)};$$

$$x=-0,18\pm\sqrt{0,71\cdot(1,07+Y)}.$$

$Y=0,55$ $\quad x=-0,18\pm\sqrt{0,71\cdot(1,07+0,55)};$

$x=-0,18\pm1,07.$

$Y=2,54$ $\quad x=-0,18\pm\sqrt{0,71\cdot(1,07+2,54)};$

$x=-0,18\pm1,6.$

$Y=4,95$ $\quad x=-0,18\pm\sqrt{0,71\cdot(1,07+4,95)};$

$x=-0,18\pm2,07.$

$Y=14,78$ $\quad x=-0,18\pm\sqrt{0,71\cdot(1,07+14,78)};$

$x=-0,18\pm3,35.$

2)$X_2=$ -1.

$$Y_2^{'}=3,735+3,77\cdot(-1)-2,77\cdot x_3-1,96\cdot(-1)\cdot x_3+0,559\cdot(-1)^2+1,408\cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'}=1,408\cdot x_3^2-0,81\cdot x_3+0,524.$$

$$x=\frac{-(-0,81)}{2\cdot(1,408)}\pm\sqrt{\frac{1}{(1,408)}\cdot(\frac{(-0,81)^2}{4\cdot(1,408)}-0,524+Y)};$$

$$x=0,29\pm\sqrt{0,71\cdot(-0,4+Y)}.$$

$Y=0,55$ $\quad x=0,29\pm\sqrt{0,71\cdot(-0,4+0,55)};$

$x=0,29\pm0,33.$

$Y=2,54$ $\quad x=0,29\pm\sqrt{0,71\cdot(-0,4+2,54)};$

$x=0,29\pm1,23.$

$Y=4,95$ $\quad x=0,29\pm\sqrt{0,71\cdot(-0,4+4,95)};$

$x=0,29\pm1,8.$

$Y=14,78$ $\quad x=0,29\pm\sqrt{0,71\cdot(-0,4+14,78)};$

$x=0,29\pm3,2.$

3)$X_2=0.$

$$Y_2^{'}=3,735+3,77\cdot0-2,77\cdot x_3-1,96\cdot0\cdot x_3+0,559\cdot0^2+1,408\cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'}=1,408\cdot x_3^2-2,77\cdot x_3+3,735.$$

$$x = \frac{-(-2,77)}{2\cdot(1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)}\cdot\left(\frac{(-2,77)^2}{4\cdot(1,408)} - 3,735 + Y\right)};$$

$$x = 0,98 \pm \sqrt{0,71\cdot(-2,37+Y)}.$$

$Y = 0,55$	корней нет
$Y = 2,54$	$x = 0,98 \pm \sqrt{0,71\cdot(-2,37+2,54)};$ $x = 0,98 \pm 0,35.$
$Y = 4,95$	$x = 0,98 \pm \sqrt{0,71\cdot(-2,37+4,95)};$ $x = 0,98 \pm 1,35.$
$Y = 14,78$	$x = 0,98 \pm \sqrt{0,71\cdot(-2,37+14,78)};$ $x = 0,98 \pm 2,97.$

4)$X_2 = 1.$

$$Y_2^{'} = 3,735 + 3,77\cdot 1 - 2,77\cdot x_3 - 1,96\cdot 1\cdot x_3 + 0,559\cdot 1^2 + 1,408\cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'} = 1,408\cdot x_3^2 - 4,73\cdot x_3 + 8,064.$$

$$x = \frac{-(-4,73)}{2\cdot(1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)}\cdot\left(\frac{(-4,73)^2}{4\cdot(1,408)} - 8,064 + Y\right)};$$

$$x = 1,68 \pm \sqrt{0,71\cdot(-4,1+Y)}.$$

$Y = 0,55$	корней нет
$Y = 2,54$	корней нет
$Y = 4,95$	$x = 1,68 \pm \sqrt{0,71\cdot(-4,1+4,95)};$ $x = 1,68 \pm 0,78.$
$Y = 14,78$	$x = 1,68 \pm \sqrt{0,71\cdot(-4,1+14,78)};$ $x = 1,68 \pm 2,75.$

5)$X_2 = 1,68.$

$$Y_2^{'} = 3,735 + 3,77\cdot 1,68 - 2,77\cdot x_3 - 1,96\cdot 1,68\cdot x_3 + 0,559\cdot 1,68^2 + 1,408\cdot x_3^2;$$

$$Y_2^{'} = 1,408\cdot x_3^2 - 6,06\cdot x_3 + 11,65.$$

$$x = \frac{-(-6,06)}{2\cdot(1,408)} \pm \sqrt{\frac{1}{(1,408)}\cdot\left(\frac{(-6,06)^2}{4\cdot(1,408)} - 11,65 + Y\right)};$$

$$x = 2,15 \pm \sqrt{0,71\cdot(-5,13+Y)}.$$

$Y = 0,55$	корней нет
$Y = 2,54$	корней нет
$Y = 4,95$	корней нет

$У = 14{,}78$ $x = 2{,}15 \pm \sqrt{0{,}71 \cdot (-5{,}13 + 14{,}78)};$

$x = 2{,}15 \pm 2{,}62.$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Расчет сооружений станции очистки сточных вод

Б.1 Резервуар-усреднитель

Объём резервуара усреднителя

$$W = Q_{час} \cdot T, \qquad (Б.1.1)$$

где $Q_{час}$ – часовая производительность, м^3/ч;
T – время работы усреднителя, ч, $T = 8$ ч.

$W = 5 \cdot 8 = 40$ м^3.

Проектируем 2 рабочих отделения, с глубиной $H = 2$ м.
Площадь одного отделения

$$F_{уср} = \frac{W}{n \cdot H}, \qquad (Б.1.2)$$

где W – объем резервуара усреднителя, м^3;
n – количество рабочих отделений, $n = 2$;
H – глубина резервуара усреднителя, $H = 2$ м.

$$F_{уср} = \frac{40}{2 \cdot 2} = 10 \text{ м}^2.$$

Длина отделения

$$L = \frac{F_{уср.}}{B}, \qquad (Б.1.3)$$

где $F_{уср.}$ – площадь отделения, м^2;
B – ширина отделения, $B = 3$ м.

$$L = \frac{10}{3} = 3,3 \text{ м.}$$

Принимаем длину резервуара усреднителя равной 3,5 м.
Расход воздуха на барботирование

$$q_{возд} = L_б \cdot n \cdot q_{уд}, \quad \text{(Б.1.4)}$$

где n – количество барботеров на 3 метра ширины усреднителя;
$L_б$ – длина барботера, м (на 0,2 меньше длины усреднителя);
$q_{уд}$ – удельный расход воздуха, м^3/ч·м, $q_{уд} = 6$, м^3/ч·м .

$$q_{возд} = 3,3 \cdot 1 \cdot 6 = 19,8 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Б.2 Нефтеловушка

Площадь полочного пространства в поперечном сечении

$$W = \frac{Q_ч}{N \cdot V}, \quad \text{(Б.2.1)}$$

где $Q_{час}$ – часовая производительность завода, м^3/ч;
N – количество нефтеловушек;
V – скорость сточной воды в секциях сооружения, м/ч.

$$V = 10 \cdot u_0, \text{ мм/с,} \quad \text{(Б.2.2)}$$

где u_0 – гидравлическая крупность частиц, мм/с, $u_0 = 0,5$ мм/с.

V= 10·0,5 = 5мм/с =18 м/ч,

$$W = \frac{5}{1 \cdot 18} = 0,28 \text{ м}^2.$$

Ширина полочного пространства составляет В = 0,25 м; высота $H = \frac{W}{B} = \frac{0,28}{0,25} = 1,12$ м.

Необходимое время отстаивания

$$t_0 = \frac{h_0}{3600 \cdot 0,5}, \quad \text{(Б.2.3)}$$

где h_0 – высота секции полочного пространства, мм, $h_0 = 112$ мм.

$$t_0 = \frac{112}{3600 \cdot 0,5} = 0,062 \text{ ч.}$$

Длина полочного пространства

$$L = k \cdot t_0 \cdot V, \qquad \text{(Б.2.4)}$$

где k – коэффициент запаса, k = 1-1,5;
t_0 – время отстаивания, ч;
V – скорость сточной воды в секциях отстойника, м/ч.

$$L = 1,2 \cdot 0,062 \cdot 18 = 1,34 \text{ м.}$$

Объем всплывшего осадка

$$W_0^a = \alpha \cdot Q_{сут}, \qquad \text{(Б.2.5)}$$

где α – доля всплывшего осадка, α = 0,03;
$Q_{сут}$ – производительность, м^3/сут.

$$W_0^a = 0,03 \cdot 80 = 2,4 \text{ м}^3\text{/сут.}$$

Объем осевшего осадка

$$W_0^b = b \cdot Q_{сут}, \qquad \text{(Б.2.6)}$$

где b – доля осевшего осадка, α = 0,01;
$Q_{сут}$ – производительность, м^3/сут.

$$W_0^b = 0,01 \cdot 80 = 0,8 \text{ м}^3\text{/сут.}$$

Средняя расчетная скорость движения воды, мм/с

$$V_p = \frac{\text{q}}{\text{n} \cdot \text{b} \cdot \text{H}} \cdot 1000, \qquad \text{(Б.2.7)}$$

где q_c – производительность, м^3/с;
H – глубина рабочего слоя, м, H = 1,5 м;
n – число секций, n = 2;
b – ширина секций, м, B = 2 м.

$$V_p = \frac{0,001}{2 \cdot 2 \cdot 1,5} \cdot 1000 = 0,17 \text{ мм/с.}$$

Рабочая длина нефтеловушки

$$L = 12,5 \frac{H}{0,312 + \frac{U}{\sqrt{V_p}} - 0,00018 \cdot V_p^2}, \quad \text{(Б.2.8)}$$

где H – глубина рабочего слоя, м, H = 1,5 м;
U – скорость всплывания нефтепродуктов, мм/с;
V_p – средняя горизонтальная скорость, мм/с.

$$U = \alpha \cdot (112 - 93 \cdot \gamma_н) \cdot 10^{0,0143 \cdot d}, \quad \text{(Б.2.9)}$$

где α – коэффициент рассчитываемый по формуле (Б.2.10);
$\gamma_{нп}$ – удельный вес задерживающихся веществ, г/см^3, $\gamma_{нп}$ = 0,89 г/см^3;
d – диаметр частицы, мкр, d = 1000 мкр.

$$\alpha = 0,0015 \cdot \frac{C_{нп}^{вх}}{C_{взв.в}^{вх}} + 0,875, \quad \text{(Б.2.10)}$$

где $C_{нп}^{вх}$ – концентрация нефтепродуктов на входе, мг/л;
$C_{взв.в}^{вх}$ – концентрация взвешенных веществ на входе, мг/л.

$$\alpha = 0,0015 \cdot \frac{1000}{400} + 0,875 = 0,88;$$
$$U = 0,88 \cdot (112 - 93 \cdot 0,89) \cdot 10^{0,0143 \cdot 1000} = 0,69 \text{ мм/с;}$$
$$L = 12,5 \cdot \frac{H}{0,312 + \frac{U}{\sqrt{V_p}} - 0,00018 \cdot V_p^2} = 9,4 \text{ м.}$$

Принимаем типовую нефтеловушку в 9 м длиной.
Расчетная продолжительность потока по сооружению

$$t_p = \frac{L}{V_p}, \quad \text{(Б.2.11)}$$

где L – длина нефтеловушки, м;
V_p – средняя горизонтальная скорость, м/с.

$$t_p = \frac{9}{0{,}17} \cdot 1000 = 52941 \text{ с.}$$

Продолжительность всплывания нефти

$$t_B = \frac{H}{U}, \qquad \text{(Б.2.12)}$$

где H – глубина рабочего слоя, м;

U – скорость всплывания нефтепродуктов, м/с.

$$t_в = \frac{H}{U} = \frac{1{,}5}{0{,}0006923} = 2166{,}7 \text{ с.}$$

Проверочный расчет: $t_p > t_в$.

Количество осадка удерживаемого в нефтиловушке

$$W_{ос} = \frac{16 \cdot Q_ч \cdot K_{МП} \cdot Э}{\gamma_{ос} \cdot (100 - P) \cdot 10^6}, \qquad \text{(Б.2.13)}$$

где $Q_ч$ – часовая производительность, м^3/ч;

$K_{мп}$ – концентрация взвешенных веществ на входе, мг/л;

$Э$ – эффект очистки по взвешенным веществам, $Э$ = 60,%;

P – влажность осадка, P = 70%;

$\gamma_{ос}$ – удельный вес осадка, г/см^3, $\gamma_{ос}$ = 1,5 г/см^3.

$$W_{ос} = \frac{16 \cdot 5 \cdot 800 \cdot 60}{1{,}5 \cdot (100 - 70) \cdot 10^6} = 0{,}09 \text{ м}^3\text{/сут.}$$

Объем выпускаемых обводненных нефтепродуктов

$$W = \frac{Q_ч \cdot t \cdot \left(C_{нп}^{вх} - C_{нп}^{вых}\right)}{\gamma_{нп} \cdot 10^6}, \qquad \text{(Б.2.14)}$$

где $C_{нп}^{вх}$ – концентрация нефтепродуктов на входе, мг/л;

$C_{нп}^{вых}$ – концентрация нефтепродуктов на выходе, мг/л;

$Q_ч$ – часовая производительность завода, м^3/ч;

$\gamma_{нп}$ – удельный вес задерживающихся веществ, г/см^3, $\gamma_{нп}$ = 0,89 г/см^3;

t – время работы сооружения, ч.

$$W = \frac{5 \cdot 16 \cdot (1000 - 400)}{0,89 \cdot 10^6} = 0,05 \text{ м}^3/\text{сут},$$

Потери и производительность после сооружения нефтелловушки сведены в таблицу Б.1.

$$Q_П = W + W_{ос}, \qquad (Б.2.15)$$

где W – объем обводненных выпускаемых нефтепродуктов, м^3/сут;
$W_{ос}$ – количество осадка удерживаемого в нефтеловушке, м^3/сут.

$$Q_П = 0,05 + 0,08 = 0,13 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Таблица Б.1 – Производительность после нефтеловушки

$Q_{сут}$,м^3/сут	$Q_ч$, м^3/ч	$Q_с$, м^3/с
79,87	4,99	0,001

Б.3 Расчет электролизера с алюминиевыми анодами

Часовой расход алюминия который необходимо ввести в обрабатываемую воду

$$Q_{Al} = Д_{Al} \cdot Q_ч, \qquad (Б.3.1)$$

где $Q_ч$ – часовая подача, м^3/ч;
$Д_{Al}$ – доза алюминия, мг/дм^3, $Д_{Al}$=36, мг/л.

$$Q_{Al} = 36 \cdot 4,99 = 179,6 \text{ г/с}.$$

Сила тока, обеспечивающая растворение анода, А

$$J = Q_{Al} \cdot \frac{100}{k \cdot \eta}, \qquad (Б.3.2)$$

где $к$ – электрохимический эквивалент алюминия, г/Ач, $к$ = 0,336 г/Ач;
η – выход металла по току, η = 70;
Q_{Al} – расход алюминия, г/с.

$$J = 179,6 \cdot \frac{100}{0,336 \cdot 70} = 763,8 \text{ А}.$$

Рабочая поверхность анодов определяется из условия оптимальной плотности тока, м^2

$$f_a = \frac{J}{i}, \qquad \text{(Б.3.3)}$$

где J – сила тока, А;

i – оптимальная плотность тока, А/м^2, i =100 А/м^2.

$$f_a = \frac{763,8}{100} = 7,64 \text{ м}^2.$$

Необходимая толщина анодов с учетом их износа, м

$$\delta = \frac{Q_{сут} \cdot D_{Al} \cdot n_{сут}}{0,4 \cdot \gamma \cdot f_a \cdot 10^6}, \qquad \text{(Б.3.4)}$$

где $Q_{сут}$ – суточная подача, м^3/сут;

$n_{сут}$ – продолжительность работы одного электолизера, $n_{сут}$ = 16 ч;

γ – удельный вес алюминия, m/м^3, γ = 2,58 m/м^3;

f_a – рабочая поверхность, м^2.

$$\delta = \frac{79,87 \cdot 36 \cdot 16}{0,4 \cdot 2,58 \cdot 7,64 \cdot 10^6} = 0,006 \text{ м}.$$

Принимаем размеры пластин электрода, толщина которых составляет 6 мм, в соответствии с конструкцией электролизера, м^2

$$f_{эл} = 0,42 \cdot 1,85 = 0,78, \text{ м}^2.$$

Общее количество анодов, шт.

$$n_a = \frac{f_a}{f_{эл}}, \qquad \text{(Б.3.5)}$$

где f_a – рабочая поверхность, м^2;

$f_{эл}$ – размеры пластин электрода, м^2.

$$n_a = \frac{7,64}{0,78} = 10 \text{ шт}.$$

Общее количество электродов, шт.

$$n = 2 \cdot n_a + 1, \qquad \text{(Б.3.6)}$$

где n_a – общее количество анодов, шт.

$n = 2 \cdot 10 + 1 = 21$ шт.

Ширина электролизера, м

$$B = b + 2 \cdot a, \qquad (Б.3.7)$$

где a – расстояние между электродом и корпусом, м, a = 0,01 м;
b – ширина электрода, м, b = 0,42 м.

$B = 0,42 + 2 \cdot 0,01 = 0,44$ м.

Длина электролизера, м

$$L = n \cdot 0,004 + (n-1) \cdot l + 2 \cdot a, \qquad (Б.3.8)$$

где a – расстояние между электродом и корпусом, м, a = 0,01 м;
l – расстояние между электродами, м;
n – количество электродов, шт.

$L = 21 \cdot 0,004 + (21-1) \cdot 0,015 + 2 \cdot 0,01 = 0,41$м.

Высота электролизера, м

$$H = h_{эл} + a_1 + a_2, \qquad (Б.3.9)$$

где a_1 – расстояние от электрода до дна, м, a_1 = 0,15 м;
a_2 – расстояние от электрода до поверхности воды, м, a_2 = 0,25 м;
$h_{эл}$ – высота электрода, м, $h_{эл}$ = 1,85 м.

H = 1,85+0,15+0,25=2,25 м.

Строительная высота, м

$$H_{стр} = H + 0,175, \qquad (Б.3.10)$$

где H – высота электролизера, м.

$H_{стр} = 2,25 + 0,175 = 2,425$ м.

Объем воды в электролизере, м^3

$$W_в = (H_{стр} \cdot L \cdot B) - (n \cdot b \cdot h_{эл} \cdot \delta), \qquad (Б.3.11)$$

где b – ширина электрода, м, b = 0,42 м;
δ – толщина анода, м;
$h_{эл}$ – высота электрода, м, $h_{эл}$ = 1,85 м;
n – общее количество электродов, шт;
$H_{стр}$ – строительная высота, м;
B – ширина электролизера, м;
L – длина электролизера, м.

$$W_в = (2,425 \cdot 0,44 \cdot 0,41) - (21 \cdot 0,42 \cdot 1,85 \cdot 0,003) = 0,21 \text{ м}^3.$$

Подача на один аппарат

$$Q_{эл}^1 = \frac{Q_ч}{n}, \qquad \text{(Б.3.12)}$$

где $Q_ч$ – часовая подача, м^3/ч;
n – количество аппаратов, шт.

$$Q_{эл}^1 = \frac{4,99}{2} = 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Время пребывания воды в электролизере, ч

$$t = \frac{W}{Q_{эл}^1}, \qquad \text{(Б.3.13)}$$

где W – объем воды в электролизере, м^3;
$Q_{эл}^1$ – подача на один аппарат, м^3/ч.

$$t = \frac{0,21}{2,5} = 0,08 \text{ ч}.$$

Скорость потока воды в электролизере, м/ч

$$V = \frac{H}{t}, \qquad \text{(Б.3.14)}$$

где H – высота электролизера, м.
t – время пребывания воды в электролизере, ч.

$$V = \frac{2,25}{0,08} = 28,12 \text{ м/ч}.$$

Требуемая мощность, кВт

$$E = \frac{J}{12}, \qquad \text{(Б.3.15)}$$

где J – сила тока, А.

$$E = \frac{763,8}{12} = 63,65 \text{ кВт}.$$

Удельный расход электроэнергии, кВт ч/м^3

$$W = \frac{E}{Q_ч}, \qquad \text{(Б.3.16)}$$

где $Q_ч$ – часовая подача, м^3/ч;
E – мощность, кВт.

$$W = \frac{63,65}{4,99} = 12,75 \text{ кВт·ч/м}^3.$$

Оптимальная доза кислоты $Д_к = 400$ мг/дм^3.

Выход кислоты на подкисление сточных вод

$$G_к = \frac{Д_к \cdot Q_ч}{1000}, \qquad \text{(Б.3.17)}$$

где Д$_к$ – доза кислоты, мг/дм^3;
$Q_ч$ – часовая подача, м^3/ч.

$$G_к = \frac{400 \cdot 4,99}{1000} = 2,0 \text{ кг/ч}.$$

Ёмкость расходного бака

$$V = \frac{G_к \cdot T}{1000 \cdot \gamma_к}, \qquad \text{(Б.3.18)}$$

где $\gamma_к$ – плотность кислоты 98% - ной концентрации $\gamma_к = 1,84$ т/м^3;
$G_к$ – расход кислоты на подкисление, кг/сут;
T – время работы за сутки, ч, T = 16 ч.

$$V = \frac{32 \cdot 16}{1000 \cdot 1,84} = 0,28 \text{ м}^3.$$

Принимаем к установке 1 расходный бак $V = 0,5$ м^3.

Объем колонны для отделения образовавшихся пузырьков водорода

$$W = Q_ч \cdot t, \qquad \text{(Б.3.19)}$$

где $Q_ч$ − часовая подача, м^3/ч;

t − время пребывания воды в колонне, ч, t = 3 ч.

$$W = 4,99 \cdot 3 = 14,97 \text{ м}^3.$$

Площадь колонны

$$F = \frac{W}{h}, \qquad \text{(Б.3.20)}$$

где W − объем колоны, м^3;

h – высота колонны, м, h = 5,6 м.

$$F = \frac{14,97}{5,6} = 2,7 \text{ м}^2.$$

Диаметр колонны

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \qquad \text{(Б.3.21)}$$

где F − площадь колонны, м^2.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,7}{3,14}} = 1,8 \text{ м}.$$

Б.4 Вертикальный отстойник со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования

Площадь водоворотной камеры

$$f_к = \frac{Q_ч \cdot T}{60 \cdot H_1 \cdot N}, \qquad \text{(Б.4.1)}$$

где $Q_ч$ − расход воды, м^3/ч;

T – время пребывания воды в камере, T =15 мин;
H_1 – высота камеры, м;
N – расчётное количество камер хлопьеобразования, N = 1.

$$H_1 = 0,9 \cdot H_0, \qquad \text{(Б.4.2)}$$

где H_0 – высота зоны осаждения вертикального отстойника, H_0 = 4 м;

$$H_1 = 0,9 \cdot 4 = 3,6 \text{ м},$$
$$f_к = \frac{4,99 \cdot 15}{60 \cdot 3,6 \cdot 1} = 0,35 \text{ м}^2.$$

Диаметр водоворотной камеры хлопьеобразования

$$d_к = 1,13 \cdot \sqrt{f_к}, \qquad \text{(Б.4.3)}$$

где $f_к$ – площадь водоворотной камеры, м^2.

$$d_к = 1,13 \cdot \sqrt{0,17} = 0,67 \text{ м}.$$

Секундный расход воды

$$q_c = \frac{Q_ч}{3600 \cdot N}, \qquad \text{(Б.4.4)}$$

где $Q_ч$ – часовая производительность, м^3/ч;
N – количество камер, N = 1.

$$q_c = \frac{4,99}{3600 \cdot 1} = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Необходимый диаметр сопла

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{q_c}{\mu \cdot V_c}}, \qquad \text{(Б.4.5)}$$

где q_c – расход воды, м^3/с;
μ – коэффициент расхода для конически сходящихся насадок, μ = 0,908;
V_c – скорость выхода воды из сопла, м/с, V_c = 2,5 м/с.

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,001}{0,908 \cdot 2,5}} = 0,02 \text{ м}.$$

Длина сопла, отвечающая углу конусности

$$l_c = \frac{d_c}{2} \cdot ctg\frac{\beta}{2}, \qquad \text{(Б.4.6)}$$

где d_c – диаметр сопла, м;

β – угол конусности насадки, β = 25º.

$$l_c = \frac{0,02}{2} \cdot ctg\frac{25}{2} = 0,015 \text{ м.}$$

Фактическая скорость выхода воды из сопла

$$V_ф = \frac{1,274 \cdot q_c}{d_c^2 \cdot \mu} \qquad \text{(Б.4.7)}$$

где q_c – секундный расход, м^3/с;

μ – коэффициент расхода для конически сходящихся насадок, μ = 0,908;

d_c – диаметр сопла, м.

$$V_ф = \frac{1,274 \cdot 0,001}{0,02^2 \cdot 0,908} = 3,51 \text{ м/с.}$$

Потери напора в сопле

$$h_c = 0,06 \cdot V_ф^2, \qquad \text{(Б.4.8)}$$

где $V_ф$ – скорость выхода стоков из сопла, м/с.

$$h_c = 0,06 \cdot 3,51^2 = 0,74 \text{ м.}$$

Отношение диаметра вертикального отстойника к высоте зоны осаждения принимаем D/H=1,5.

Площадь поперечного сечения зоны осаждения отстойника

$$F = \beta \cdot \frac{Q_ч}{3,6 \cdot V_P \cdot N}, \qquad \text{(Б.4.9)}$$

где $Q_ч$ – расход воды, м^3/ч;

υ_p – скорость восходящего потока, м/с, υ_p = 0,5 м/с.

β – коэффициент объемного использования отстойника, β = 1,3;

N – количество отстойников.

$$F = 1,3 \cdot \frac{4,99}{3,6 \cdot 0,5 \cdot 1} = 3,6 \text{ м}^2.$$

Диаметр отстойника

$$D = \sqrt{(F + f_{к.х.}) \cdot \frac{4}{\pi}}, \qquad \text{(Б.4.10)}$$

где F – площадь поперечного сечения зоны осаждения, м^2;
f – площадь камеры хлопьеобразования, м^2.

$$D = \sqrt{(3,6 + 0,35) \cdot \frac{4}{3,14}} = 2,2 \text{ м}.$$

Принимаем трубопровод для сбора осадка d = 200, мм. Тогда высота конической части отстойника при угле наклона стен к горизонтали 50˚

$$h_K = \frac{(D - d)}{2 \cdot tg \cdot (90 - 50)}, \qquad \text{(Б.4.11)}$$

где D – диаметр отстойника, м;
d – диаметр трубопровода для сбора осадка, м.

$$h_K = \frac{(2,2 - 0,2)}{2 \cdot 0,84} = 1,19 \text{ м}.$$

Объём конической части

$$W_{OC} = \frac{\pi}{3} \cdot h_k \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 + \frac{D}{2} \cdot \frac{d}{2} \right], \qquad \text{(Б.4.12)}$$

где D – диаметр отстойника, м;
d – диаметр трубопровода для сбора осадка, м;
$h_к$ – высота конической части отстойника, м.

$$W_{OC} = \frac{3,14}{3} \cdot 1,19 \cdot \left[\left(\frac{2,2}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,2}{2} \right)^2 + \frac{2,2}{2} \cdot \frac{0,2}{2} \right] = 1,66 \text{ м}^3.$$

Период действия между сбросами осадка

$$T = \frac{W_{OC} \cdot N \cdot \delta}{Q_{ч} \cdot (C_{CP} - m)}, \qquad \text{(Б.4.13)}$$

где $W_{ос}$ – объем конической части, м^3;

N – количество отстойников;

δ – концентрация уплотнённого осадка, г/м², при концентрация взвешенных веществ δ = 32000;

$Q_{ч}$ – расход воды, м^3/ч;

m – содержание загрязнений на выходе из отстойника, m =12, мг/дм^3;

$C_{ср}$ – средняя концентрация взвешенных веществ, мг/дм^3.

$$C_{CP} = C_{вв} + K \cdot Д_{к} + 0,6 \cdot Д_{и}, \qquad \text{(Б.4.14)}$$

где $C_{вв}$ – концентрация взвешенных веществ, $C_{вв}$ = 320, мг/дм^3;

K = 0,55;

$Д_{к}$ – доза коагулянта, мг/дм^3;

$Д_{и}$ – доза извести, мг/дм^3.

$$C_{CP} = 320 + 0,55 \cdot 360 + 0,6 \cdot 220 = 650, \text{мг/дм}^3;$$

$$T = \frac{1,66 \cdot 1 \cdot 32000}{4,99 \cdot (650 - 12)} = 16,7 \text{ ч}.$$

Для сбора воды устраивается периферийный желоб. Расчётная скорость движения воды в желобе $\upsilon_{о}$ = 0,6 м/с.

Площадь кольцевого желоба

$$f_{к.ж.} = \frac{q_{c}}{2 \cdot \nu_{0}}, \qquad \text{(Б.4.15)}$$

где $q_{ч}$ – расход воды, м^3/с;

$\upsilon_{о}$ – скорость движения воды в желобе, м/с.

$$f_{к.ж.} = \frac{0,001}{2 \cdot 0,6} = 0,0008 \text{ м}^2.$$

Количество воды теряемое при сбросе осадка (таблица Б.2)

$$q_{ос} = \frac{K_{р} \cdot (C_{ср} - m)}{\delta_{ср}} \cdot 100, \qquad \text{(Б.4.16)}$$

где $K_{р}$ – концентрация взвешенных веществ в воде после 2-3 часов, мг/дм^3, $K_{р}$ = 1,5 мг/дм^3;

m – содержание загрязнений на выходе из отстойника, m =12, мг/дм^3;

$C_{ср}$ – средняя концентрация взвешенных веществ, мг/дм^3.

$\delta_{ср}$ – концентрация уплотнённого осадка, г/м², при концентрация взвешенных веществ δ = 32000.

$$q_{ос} = \frac{1,5 \cdot (650 - 12)}{32000} \cdot 100 = 3\,\%.$$

Таблица Б.2 – Количество сточной воды

	%	$Q_{сут}$, м^3/сут	$Q_ч$, м^3/ч	$Q_с$, м^3/с
Потери	3	2,4	0,15	0,00004
Остаток	97	77,47	4,84	0,001

Б.5 Скорый фильтр с зернистой загрузкой

Суммарная площадь фильтров

$$F = \frac{Q_{сут}}{T \cdot V_{р.н} - 3,6 \cdot n \cdot w \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot V_{р.н}}, \qquad (Б.5.1)$$

где T – время работы станции в течении суток, ч, T = 16 ч;

ω – интенсивность промывки, л/м^2, ω =12 л/м^2;

t_1 – продолжительность промывки, ч, t_1 = 0,1 ч;

t_2 – простой фильтра в связи с промывкой, ч, t_2 = 0,33 ч;

n – число промывок фильтрации в сутки, n =2;

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

$Q_{сут}$ – подача воды на фильтр в сутки, м^3/сут.

$$F = \frac{77,47}{16 \cdot 6 - 3,6 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,33 \cdot 6} = 0,67 \text{ м}^2.$$

Количество фильтров

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{F}, \qquad (Б.5.2)$$

где F – суммарная площадь фильтров, м^2.

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{0,67} = 1 \text{ шт.}$$

В соответствии с типовым проектом число фильтров принимаем 1 рабочий и 1 резервный, площадь одного фильтра 0,67 м^2, сооружение с квадратным сечением, сторона которого равняется 1,0 м и высота 4 м.

Б.5.1 Распределительная система фильтра

Количество промывной воды, м^3/с

$$q_{пр} = f \cdot \omega, \qquad (Б.5.1.1)$$

где f – площадь фильтра, м^2;
ω – интенсивность промывки фильтра, л/с·м^2, ω = 12 л/с·м^2.

$$q_{пр} = 0,67 \cdot 12 = 8,04 \text{ л/с}.$$

Диаметр коллектора, м

$$d_{кол} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{кол}}{\pi \cdot V_{кол}}}, \qquad (Б.5.1.2)$$

где $q_{кол}$ – количество промывной воды, м^3/с;
$V_{кол.}$ – скорость движения воды в коллекторе, м/ч, $V_{кол}$ = 1,2 м/ч.

$$d_{кол} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,008}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,09 \text{ м}.$$

Площадь фильтра на каждое ответвление распределительной системы

$$f_{отв} = \frac{(L_{ср} - d_{кол})}{2} \cdot m, \qquad (Б.5.1.3)$$

где m – расстояние между ответвлениями, м, m = 0,25 м;
$L_{ср}$ – длина фильтра, м;
$d_{кол}$ – диаметр коллектора, м.

$$f_{отв} = \frac{(1,0 - 0,09)}{2} \cdot 0,25 = 0,18 \text{ м}^2.$$

Расход воды через ответвления, л/с

$$q_{отв} = f_{отв} \cdot \omega, \qquad (Б.5.1.4)$$

где ω – интенсивность промывки фильтра, л/с·м^2, ω = 12 л/с·м^2;
$f_{отв}$ – площадь дна фильтра, м^2.

$$q_{отв} = 0,18 \cdot 12 = 2,2 \text{ л/с}.$$

Диаметр ответвления, м

$$d_{отв} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{отв}}{\pi \cdot V_{отв}}}, \qquad \text{(Б.5.1.5)}$$

где $q_{отв}$ – количество воды проходящей через ответвления, м^3/с;
$V_{отв.}$ – скорость движения воды через ответвления, м/ч, $V_{отв}$ = 1,8 м/ч.

$$d_{отв} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0022}{3,14 \cdot 1,8}} = 0,04 \text{ м.}$$

Суммарная площадь отверстий

$$\sum f_0 = \frac{0,25 \cdot f_ф}{100}, \qquad \text{(Б.5.1.6)}$$

где $f_ф$ – площадь фильтра, м^2.

$$\sum f_0 = \frac{0,25 \cdot 0,67}{100} = 0,0017 \text{ м}^2.$$

Число отверстий фильтра

$$n_{отв} = \frac{\sum f_0}{f}, \qquad \text{(Б.5.1.7)}$$

где $\sum f_0$ – суммарная площадь отверстий, см^2;
f – площадь одного отверстия,см^2 f = 0,78 см^2.

$$n_o = \frac{17}{0,78} = 22 \text{ шт.}$$

Принимаем один желоб с треугольным основанием. Общее количество ответвлений на каждом фильтре при расстоянии между осями 0,27 м, составляет (ширину фильтра делим на расстояние между осями) 2 оси, а количество отверстий на одной оси 11 шт.

Длина ответвления, м

$$l_{отв} = L - d_{кол}, \qquad \text{(Б.5.1.8)}$$

где L – длина фильтра, м;
$d_{кол}$ – диаметр коллектора, м.

$$l_{отв} = 1,0 - 0,09 = 0,91 \text{ м}.$$

Шаг оси отверстий, м

$$l_0 = \frac{l_{отв}}{n_0}, \qquad \text{(Б.5.1.9)}$$

где $l_{отв}$ – длина ответвления, м;
n_0 – количество ответвлений, шт.

$$l_0 = \frac{0,91}{11} = 0,08 \text{ м}.$$

Б.5.2 Отвод воды при промывке фильтров

Расход воды на один желоб

$$q_{ж} = \frac{q_{пр}}{П_{ж}}, \qquad \text{(Б.5.2.1)}$$

где $q_{пр}$ – количество промывной воды, м^3/с;
$П_{ж}$ – количество желобов.

$$q_{ж} = \frac{0,008}{1} = 0,008 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ширина желоба, м

$$B = K \sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1,57 + a)^3}}, \qquad \text{(Б.5.2.2)}$$

где $q_{ж}$ – количество воды на один желоб, м^3/с;
$K = 2,0$ – для желоба с полукруглым лотком;
a – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его высоты, $a = 1,5$.

$$B = 2,0 \sqrt[5]{\frac{0,008^2}{(1,57 + 1,5)^3}} = 0,15 \text{ м}.$$

Высота кромки желоба над поверхностью загрузки

$$\Delta h_{ж} = \frac{H_{ф} \cdot l}{100} + 0,3 \qquad \text{(Б.5.2.3)}$$

где $H_{ф}$ – высота фильтрующего слоя, м, $H_{ф}$ = 0,7 м;
l – относительное расширение фильтрующей загрузки.

$$\Delta h_{ж} = \frac{0,7 \cdot 45}{100} + 0,3 = 0,62, \text{м}.$$

Расчет воды на промывку фильтра, %

$$P = \frac{\omega \cdot f \cdot t_1 \cdot 60 \cdot N}{Q_{ч} \cdot T_{р} \cdot 1000} \cdot 100, \qquad \text{(Б.5.2.4)}$$

где ω – интенсивность промывки фильтра, л/с·м^2, ω = 12 л/с·м^2;
$f_{ф}$ – площадь фильтра, м^2;
t_1 – продолжительность промывки, мин, t_1 = 6 мин;
N – количество фильтров;
$Q_{ч}$ – подача воды на фильтр, м^3/ч;
$T_{р}$ – время работы фильтра, ч.

Время работы фильтра между промывками частей, ч

$$T = T_0 - \left(t_1 + t_2 + t_3\right), \qquad \text{(Б.5.2.5)}$$

где t_1 – продолжительность промывки, ч, t_1 = 0,1 ч;
t_2 – простой фильтра в связи с промывкой, ч, t_2 = 0,33 ч;
t_3 – продолжительность сброса первого фильтра в сток, ч, t_3 = 0,17 ч;
T_0 – рабочий фильтроцикл, ч, T_0 = 10 ч.

$$T = 10 - \left(0,1 + 0,33 + 0,17\right) = 9,4 \text{ ч};$$

$$P = \frac{12 \cdot 0,67 \cdot 60 \cdot 6 \cdot 1}{4,84 \cdot 9,4 \cdot 1000} \cdot 100 = 8,8, \%.$$

Расстояние от дна желоба до дна сборного канала, м

$$H_{кан} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{q \cdot в_{кон}^2}} + 0,2, \qquad \text{(Б.5.2.6)}$$

где $q_{кан}$ – количество промывной воды, м^3/с;
$в_{кан}$ – ширина сборного канала, м, $в_{кан}$ = 0,7 м.

$$H_{кан} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,008^2}{3,5 \cdot 1^2}} + 0,2 = 0,24 \text{ м}.$$

Площадь сечения, м^2

$$\text{f}_{\text{кан}} = B_{кан} \cdot H_{кан}, \qquad \text{(Б.5.2.7)}$$

где $B_{кан}$ – ширина канала, м;
$H_{кан}$ – высота канала, м.

$$\text{f}_{\text{кан}} = 0,15 \cdot 0,24 = 0,04 \text{ м}^2.$$

Скорость движения воды в канале, м/с

$$V_{кан} = \frac{q_{кан}}{f_{кан}}, \qquad \text{(Б.5.2.8)}$$

где $q_{кан}$ – количество промывной воды, м^3/с;
$f_{кан}$ – площадь сечения, м^2.

$$V_{кан} = \frac{0,008}{0,04} = 0,2 \text{ м/с}.$$

Б.5.3 Потери напора при промывке фильтра

Потери напора в распределительной системе фильтра, м

$$h_{р.с.} = \left(\frac{2,2}{\alpha^2} + 1 \right) \cdot \frac{V_{кол}^2}{2g} + \frac{V_{р.т.}^2}{2g}, \qquad \text{(Б.5.3.1)}$$

где $V_{кан.}$ – скорость движения воды в канале, м/ч;
$V_{р.т}$ = 1,7 м/ч;
α = 0,6.

$$h_{р.с.} = \left(\frac{2,2}{0,6^2} + 1 \right) \cdot \frac{0,2^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,16 \text{ м}.$$

Потери напора в фильтрующем слое, м

$$h_{ф} = \left(d + в \cdot \omega \right) \cdot H_{ф}, \qquad \text{(Б.5.3.2)}$$

где ω – интенсивность промывки фильтра, л/с·м^2, ω = 12 л/с·м^2.

d = 0,76;
$в$ = 0,017;
$H_ф$ – высота канала, м.

$$h_ф = (0,76 + 0,017 \cdot 12) \cdot 0,24 = 0,23 \text{ м}.$$

Потери напора в поддерживающих слоях, м

$$h_{п.с} = 0,022 \cdot H_{п.с} \cdot \omega, \qquad (Б.5.3.3)$$

где ω – интенсивность промывки фильтра, л/с·м^2, ω = 12 л/с·м^2.
$H_{пс}$ – высота поддерживающего слоя, м, $H_{пс}$ = 0,5 м.

$$h_{п.с} = 0,022 \cdot 0,5 \cdot 12 = 0,13 \text{ м}.$$

Потери напора в подводящем трубопроводе, м

$$h_{п.т} = i \cdot l, \qquad (Б.5.3.4)$$

где i – гидравлический уклон, i = 0,008;
l = 100 м.

$$h_{п.т} = 0,008 \cdot 100 = 0,8 \text{ м}.$$

Потери в трубопроводах напора, м

$$h_{о.в} = \frac{V^2}{2 \cdot g}, \qquad (Б.5.3.5)$$

где V – скорость движения воды в трубопроводе, м/с, V = 2 м/с.

$$h_{о.в} = \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,2 \text{ м}.$$

Потери напора в местных сопротивлениях, м

$$h_{м.с.} = \sum \varsigma \cdot \frac{V_{кол}^2}{2g}, \qquad (Б.5.3.6)$$

где $V_{кол}$ – скорость движения воды, м/ч, $V_{кол}$ = 1,8 м/ч;
$\sum\zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений, $\sum\zeta$ = 3,65.

$$h_{м.с.} = 3,65 \cdot \frac{1,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,6 \text{ м.}$$

Сумма потерь напора, м

$$\sum h = h_{р.с.} + h_{ф} + h_{п.с.} + h_{п.т.} + h_{о.с.} + h_{м.с.}, \quad \text{(Б.5.3.7)}$$

где $h_{рс}$ – потери напора в распределительной системе, м;
$h_{ф}$ – потери напора в фильтрующем слое, м;
$h_{пс}$ – потери напора в поддерживающем слое, м;
$h_{пт}$ – потери напора в подводящем трубопроводе, м;
$h_{ос}$ – потери в трубопроводах напора, м;
$h_{мс}$ – потери напора в местных сопротивлениях, м.

$$\sum h = 0,16 + 0,23 + 0,13 + 0,8 + 0,2 + 0,6 = 2,12 \text{ м.}$$

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

$$h_{Г} = \Delta h_{Ж} + H_{ф} + 3, \quad \text{(Б.5.3.8)}$$

где $\Delta h_{ж}$ – высота кромки жлоба над поверхностью фильтра, м;
$H_{ф}$ – высота фильтрующего загрузки, м.

$$h_{Г} = 0,62 + 0,7 + 3 = 4,32 \text{ м.}$$

Напор насоса, м

$$H = h_{Г} + \sum h + h_{з.н.}, \quad \text{(Б.5.3.9)}$$

где $h_{г}$ – геометрическая высота подъема воды от дна резервуара чистой воды до желоба, м;
$\sum h$ – сумма потерь напора, м;
$h_{зн}$ – запас напора, м, $h_{зн}$ = 1,5 м.

$$H = 4,32 + 2,12 + 1,5 = 7,94 \text{ м.}$$

По значению H = 7,94, м и q = 3,5 м^3/ч принимаем насос Calpeda NM4 25/160AE подача – 1,0 -7,5 м^3/ч; напор – 3,7 -9,2 м; частота вращения 2900 мин$^{-1}$, мощность электродвигателя 0,37 кВт. Также устанавливается один резервный агрегат.

Б.6 Сорбционный фильтр

Исходные данные: $Q_{сут}$ = 77,47 м^3/сут, (4,84 м^3/ч), концентрация на входе $C_{ен}$ = 5 мг/дм^3; $C_{ех}$ = 0,05 мг/дм^3; изотерма адсорбции соответствует у равнению Фрейндлиха: $a_{сб}^{\min} = 253C_{ех}^{0,5}$; линейная скорость относительно стен адсорбера υ = 6, м/с; ориентировочная продолжительность работы установки до проскока $t_{адс}^{ор}$=16 ч; уголь АТ– 3, его кажущаяся плотность $ад_{сб}^{каж}$ = 0,9, насыпная $ад_{сб}^{нас}$ = 0,45; высота слоя угля на одном адсорбере H_{ads} = 1,5 м; степень исчерпания емкости сорбента K_{sb} = 0,7; диаметр адсорбера D = 1,0 м.

Максимальная сорбционная емкость

$$a_{sb}^{\max} = 253 \cdot C_{ен}^{0,5},$$

(Б.6.1)

где $C_{ен}$ – ХПК на входе, мг/г.

$$a_{sb}^{\max} = 253 \cdot 0,005^{0,5} = 17,9 \text{ мг/г};$$
$$a_{sb}^{\min} = 253 \cdot 0,00005^{0,5} = 1,8 \text{ мг/г}.$$

Площадь загрузки адсорбционной установки

$$F_{ads} = \frac{q_ч}{V}, \qquad (Б.6.2)$$

где $q_ч$ – часовая подача воды, м^3/ч;

V – линейная скорость относительно стен адсорбера V = 6 м/ч.

$$F_{ads} = \frac{q_ч}{V} = \frac{4,84}{6} = 0,81 \text{ м}^2.$$

Количество параллельно и одновременно работающих линий адсорберов при D =1,0 м

$$N^b{}_{ads} = \frac{F_{ads}}{f_{ags}}, \qquad (Б.6.3)$$

где F_{ads} – площадь загрузки, м^2;

f_{ads} – площадь адсорбера, м^2.

$$N^b{}_{ads} = \frac{0,81 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,0^2} = 1,0 \approx 1 \text{ шт}.$$

Максимальная доза активированного угля

$$D_{sb}^{\max} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{a_{sb}^{\min}}, \qquad \text{(Б.6.4)}$$

где $C_{ен}$ – концентрация на входе, мг/дм^3;
C_{ex} – концентрация на выходе, мг/дм^3;
$a_{сб}^{\min}$ – минимальная сорбционная емкость, мг/г.

$$D_{sb}^{\max} = \frac{5 - 0,05}{1,8} = 2,75 \text{ кг/м}^2(\text{г/дм}^3).$$

Доза активированного угля выгружаемого из адсорбера

$$D_{sb} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{K_{sb} \cdot a_{sb}^{\max}}, \qquad \text{(Б.6.5)}$$

где $C_{ен}$ – концентрация на входе, мг/дм^3;
C_{ex} – концентрация на выходе, мг/дм^3;
$a_{сб}^{\max}$ – максимальная сорбционная емкость, мг/г;

K_{sb} – заданная степень исчерпания ёмкости сорбента, K_{sb} = 0,7.

$$D_{sb} = \frac{5 - 0,05}{0,7 \cdot 17,9} = 0,4 \text{ г/дм}^3.$$

Ориентировочная высота загрузки, выгружаемой из адсорбера

$$H_2^{op} = \frac{D_{sb}^{\max} \cdot q \cdot t_{ads}^{op}}{F_{ads} \cdot \gamma_{sb}^{HCl}}, \qquad \text{(Б.6.6)}$$

где $q_ч$ – часовая подача воды, м^3/ч;
F_{ads} – площадь загрузки, м^2;
$\gamma_{sb}^{нас}$ – насыпная плотность угля АГ-3, $\gamma_{sb}^{нас}$ = 0,45;
$t_{адс}^{op}$ – ориентировочная продолжительность работы установки до проскока, ч, $t_{адс}^{op}$=16, ч;
D_{sb}^{max} – доза активированного угля максимальная, г/дм^3.

$$H_2^{op} = \frac{2,75 \cdot 4,84 \cdot 16}{0,81 \cdot 450} = 0,58 \text{ м}.$$

Ориентировочная высота загрузки, обеспечивая очистку

$$H_1^{op} = \frac{D_{sb} \cdot q \cdot t_{ads}^{op}}{F_{ads} \cdot \gamma_{sb}^{HCl}}, \qquad (Б.6.7)$$

где $q_ч$ – часовая подача воды, м^3/ч;

F_{ads} – площадь загрузки, м^2;

$\gamma_{sb}^{нас}$ – насыпная плотность угля АГ-3, $\gamma_{sb}^{нас} = 0{,}45$;

$t_{адс}^{op}$ – ориентировочная продолжительность работы установки до проскока, ч, $t_{адс}^{op}$=16 ч;

D_{sb} – доза активированного угля выгружаемого из адсорбера, г/дм^3.

$$H_1^{op} = \frac{0{,}4 \cdot 4{,}84 \cdot 16}{2{,}28 \cdot 450} = 0{,}1 \text{ м}.$$

Высота отработанного слоя адсорбера, выгружаемого из адсорбера, принимается равной загрузке одного адсорбера H_1= 1,5 м, резервная высота загрузки H_3 = 1,0 м, H_2 = 0,58 м.

Общая высота загрузки адсорбера в адсорбционной установке

$$H_{tot} = H_1 + H_2 + H_3, \qquad (Б.6.8)$$

$$H_{tot} = 1{,}5 + 1{,}0 + 0{,}58 = 3 \text{ м}.$$

Общее количество последовательно работающих в одной линии адсорберов

$$N_{ads} = \frac{H_{tot}}{H_1}, \qquad (Б.6.9)$$

где H_{tot} – общая высота загрузки, м;

H_1 – высота загрузки обеспечивающая очистку, м.

$$N_{ads} = \frac{3}{1{,}5} = 2 \text{ шт}.$$

Продолжительность работы адсорбционной установки до проскока

$$t_{1ads} = \frac{\left[2 \cdot C_{ex} \cdot (H_3 + H_2) \cdot E \cdot (a_{sb}^{\max} + C_{en})\right]}{(V \cdot C_{en}^2)}, \qquad (Б.6.10)$$

где $C_{ен}$ – концентрация на входе, г/дм^3;

C_{ex} – концентрация на выходе, г/дм^3;

E – пористость загрузки, E = 0,5;

$a_{сб}^{\max}$ – максимальная сорбционная емкость, мг/г;
V – линейная скорость относительно стен адсорбера V = 6 м/ч;
H_1 – высоты загрузок, м.

$$t_{1ads} = \frac{\left[2 \cdot \frac{0,05}{1000} \cdot (1+0,58) \cdot 0,5 \cdot (17,9 + \frac{5}{1000})\right]}{6 \cdot (\frac{5}{1000})^2} = 9 \text{ ч.}$$

Продолжительность работы одного адсорбера до исчерпания емкости

$$t_{2ads} = \frac{\left[2 \cdot C_{en} \cdot K_{sb} \cdot H_1 \cdot E \cdot (a_{sb}^{\max} + C_{en})\right]}{V \cdot C_{en}^2}, \quad \text{(Б.6.11)}$$

где $C_{ен}$ – концентрация на входе, г/дм^3;
C_{ex} – концентрация на выходе, г/дм^3;
E – пористость загрузки, E = 0,5;
$a_{сб}^{\max}$ – максимальная сорбционная емкость, мг/г;
V – линейная скорость относительно стен адсорбера V = 6 м/ч;
K_{sb} – заданная степень исчерпания ёмкости сорбента, K_{sb} = 0,7;
H_1 – высоты загрузок, м.

$$t_{2ads} = \frac{\left[2 \cdot \frac{0,05}{1000} \cdot 0,7 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot (17,9 + \frac{5}{1000})\right]}{6 \cdot (\frac{5}{1000})^2} = 6,3 \text{ суток.}$$

Расчет объема загрузки одного адсорбера

$$\omega_{sb} = f_{ads} \cdot H_{ads}, \quad \text{(Б.6.12)}$$

где f_{ads} – площадь адсорбера, м^2;
H_{ads} – высота слоя угля на одном адсорбере, м, H_{ads} = 1,5 м.

$$\omega_{sb} = 3,14 \cdot \frac{1,0^2}{4} \cdot 1,5 = 1,18 \text{ м}^3.$$

Сухой массы угля в одном адсорбере

$$P_{sb} = \omega_{sb} \cdot \gamma_{sb}^{нас}, \quad \text{(Б.6.13)}$$

где $\gamma_{sb}^{нас}$ – насыпная плотность угля АГ-3, $\gamma_{sb}^{нас}$ = 0,45;
ω_{sb} – объем загрузки, м^3.

$$P_{sb} = \omega_{sb} \cdot \gamma_{sb}^{нас} = 0,45 \cdot 1,18 = 0,53 \text{ т}.$$

При перезагрузке 2 адсорберов затраты угля составят

$$З_{sb} = \frac{P_{sb} \cdot N_{ads}}{t_{2ads}}, \quad \text{(Б.6.14)}$$

где P_{sb} – масса сухого угля, т;

t_{2ds} – время работы одного адсорбера до исчерпания емкости, ч.

$$З_{sb} = \frac{0,53 \cdot 2}{6,3 \cdot 16} = 0,01 \text{ т/ч}.$$

Доза угля

$$D_{sb} = \frac{З_{sb}}{q}, \quad \text{(Б.6.15)}$$

где $q_ч$ – часовая подача воды, м^3/ч;

$З_{sb}$ – затраты угля, т/ч.

$$D_{sb} = \frac{0,01}{4,84} = 0,0021 \text{ г/дм}^3.$$

Б.7 Резервуары

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

$$W_{РЧВ} = W_{АК} + W_{СОБ}, \quad \text{(Б.7.1)}$$

где $W_{АК}$ – аккумулирующий объем, м^3;

$W_{СОБ}$ – собственные нужды, м^3.

Объем воды необходимый на собственные нужды станции

$$W_{СОБ} = W_{осад} \cdot t_{ос} + \frac{Q_ч \cdot P_ф}{100} \cdot t_ф, \quad \text{(Б.7.2)}$$

где $W_{осад}$ – объем теряемого осадка, м^3;

$t_{ос}$ = 0,5, ч;

$t_ф$ = 0,3, ч;

$P_ф$ = 11, %;

$Q_ч$ − часовая подача, м^3/ч.

$$W_{СОБ} = 1,66 \cdot 0,5 + \frac{4,84 \cdot 11}{100} \cdot 0,3 = 0,94 \text{ м}^3.$$

Аккумулирующий объем

$$W_{АК} = 3 \cdot Q_ч,$$

(Б.7.3)

где $Q_ч$ − часовая подача, м^3/ч.

$$W_{АК} = 3 \cdot 4,84 = 14,5 \text{ м}^3;$$
$$W_{РЧВ} = 0,94 + 14,5 = 15,44 \text{ м}^3.$$

Резервуар чистой воды в плане емкость квадратного сечения, высотой 2,5, м и стороной 2,5 м.

Для промывки фильтров от масляных загрязнений необходима горячая вода.

Резервуар горячей воды

$$W_{РГВ} = \frac{Q_ч \cdot P_ф}{100} \cdot t_ф, \qquad (Б.7.4)$$

где $t_ф$ = 0,3 ч;
$P_ф$ = 11 %;
$Q_ч$ − часовая подача, м^3/ч.

$$W_{РГВ} = \frac{4,84 \cdot 11}{100} \cdot 0,3 = 0,11 \text{ м}^3.$$

Вместимость резервуара грязной помывной воды включает количество воды необходимое для промывки резервуара горячей воды и до отмывки фильтров

$$W_{РГПВ} = W_{РГВ} \cdot 2, \qquad (Б.7.5)$$

где $W_{РГВ}$ − объем резервуара горячей воды, м^3.

$$W_{РГПВ} = 0,11 \cdot 2 = 0,22 \text{ м}^3.$$

В плане емкость квадратного сечения 0,5×0,5×1 м.

Б.8 Расчет шламоуплотнителя

Отношение диаметра шламонакопителя к высоте конической части принимаем D/H=1,5.

Площадь поперечного сечения

$$F = \frac{\beta \cdot W \cdot n}{3,6 \cdot V_P \cdot N}, \qquad (Б.8.1)$$

где n – расчетное количество суток;

β – коэффициент для учета объемного использования отстойника, β =1,3;

N – количество шламонакопителей;

V_p – расчетная скорость движения осадка, V_p = 0,6 м/с;

W– количество осадка, м^3/ч.

$$F = \frac{1,3 \cdot 1,66 \cdot 15}{3,6 \cdot 0,6 \cdot 1} = 15 \text{ м}^2.$$

Диаметр шламонакопителя

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \qquad (Б.8.2)$$

где F – площадь поперечного сечения, м^2.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 15}{3,14}} = 4,5 \text{ м}.$$

Принимаем трубопровод для отвода осадка диаметром 200 мм.

При угле наклона стен к горизонтали 50˚ высота конической части шламонакопителя

$$h_K = \frac{D}{2 \cdot tg \cdot (90 - 50)}, \qquad (Б.8.3)$$

где D – диаметр шламонакопителя, м.

$$h_K = \frac{4,5}{2 \cdot 0,84} = 2,7 \text{ м}.$$

Объем уплотненного осадка с 94% влажностью

$$W_{уп} = \frac{W \cdot 94}{98}, \qquad (Б.8.4)$$

где W– количество осадка, м^3/ч.

$$W_{уп} = \frac{1,66 \cdot 94}{98} = 1,6 \text{ м}^3.$$

Б.9 Расчет реагентного хозяйства

Необходимые дозы реагентов
- доза коагулянта, $Д_к$ = 400, мг/дм^3;
- доза извести, $Д_и$ = 320, мг/дм^3;
- доза полиакриламида, $Д_{ПАА}$ = 0,5, мг/дм^3.

Производительность мешалки для приготовления раствора *ПАА*, кг/ч

$$q_м = \frac{Q_{ос} \cdot Д_{ПАА}}{t \cdot 1000}, \qquad (Б.9.1)$$

где $Q_{ос}$ – часовая производительность, м^3/сут;
t – время перемешивания воды, t = 16 ч.
$Д_{ПАА}$ – доза полиакриламида, мг/дм^3.

$$q_м = \frac{79,87 \cdot 0,5}{16 \cdot 1000} = 0,0025 \text{ кг/ч}.$$

Б.9.1 Приготовление раствора коагулянта

Для приготовления раствора коагулянта на очистных станциях применяют различные устройства: растворные баки, расходные баки, насосы – дозаторы и т.д. Для интенсификации процесса растворения под колосниковой решеткой по системе дырчатых труб подается сжатый воздух воздуходувкой.

Определяем емкость растворного бака

$$W_р = \frac{q_ч \cdot n \cdot Д_к}{10000 \cdot B_р \cdot \gamma}, \qquad (Б.9.1.1)$$

где $q_ч$ – расход воды, м^3/ч;
$Д_к$ – доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, г/м^3;

n – время, на которое заготавливают раствор коагулянта, ч;
B_p – концентрация раствора коагулянта в растворном баке, %, (4-10%);
γ – объемный вес раствора коагулянта, т/м^3, принимается равным 1,06.

$$W_p = \frac{4,99 \cdot 16 \cdot 360}{10000 \cdot 5 \cdot 1,06} = 0,54 \text{ м}^3.$$

Емкость расходного бака, м^3

$$W = \frac{W_p \cdot B_{расх}}{B_p}, \qquad \text{(Б.9.1.2)}$$

где W_p – емкость растворного бака, м^3;
$B_{расх}$ – концентрация раствора коагулянта в расходном баке, %, (10-17%);
B_p – концентрация раствора коагулянта в растворном баке, %, (4-10%).

$$W = \frac{0,54 \cdot 10}{5} = 1,08 \text{ м}^3.$$

Принимаем один растворный бак и два расходных, габариты которых: h =1,0 м, f=0,54 м^2, (0,75×0,75 м).

Б.9.2 Воздуходувки и воздухопроводы

Общий расход воздуха

$$Q_B = F_1\omega_1 + F_2\omega_2, \qquad \text{(Б.9.2.1)}$$

где F_1, F_2 – площади растворных и расходных баков;
ω_1,ω_2 – интенсивности подачи воздуха в растворный и расходный баки.

$$Q_B = 0,54 \cdot 10 + 1,08 \cdot 5 = 10,08 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По полученному результату подбираем воздуходувку ВК-1,5 (кольцевая, простого действия со следующими параметрами: производительность 1,4 м^3/мин, габариты (660х562х850мм), мощность электродвигателя 4 кВт).

Скорость движения воздуха в трубопроводе

$$V = \frac{W}{60 \cdot (p+1) \cdot 0,785 \cdot d^2}, \qquad \text{(Б.9.2.2)}$$

где W – производительность воздуходувки, м^3/мин;
p – давление в трубопроводе, p = 1,5 кг/см^3;

d – диаметр трубопровода, м, d =0,06 м.

$$V = \frac{1,4}{60 \cdot (1,5+1) \cdot 0,785 \cdot 0,06^2} = 3,3 \text{ м/с.}$$

Потери давления воздуха

$$P_1 = \frac{12,5 \cdot \beta \cdot G^2 \cdot l}{\gamma \cdot d^5}, \qquad \text{(Б.9.2.3)}$$

где β – коэффициент сопротивления, β =1,2;
l – длина трубопровода, l =20 м;
G – вес воздуха, кг/г;
γ – удельный вес воздуха, γ = 1,9;
d – диаметр трубопровода, м, d = 0,06м.

$$P_1 = \frac{12,5 \cdot 1,2 \cdot (159,6)^2 \cdot 20}{1,9 \cdot 0,06^5} = 0,005, \text{ кгс/с}^2.$$

Вес воздуха

$$G = W \cdot 60 \cdot \gamma, \qquad \text{(Б.9.2.4)}$$

где W – производительность воздуходувки, м^3/мин;
γ – удельный вес воздуха, γ = 1,9.

$$G = 1,4 \cdot 60 \cdot 1,9 = 159,6, \text{ кг/ч.}$$

Потери напора в фасонных частях

$$P_2 = 0,063 \cdot V^2 \cdot \sum \xi, \qquad \text{(Б.9.2.5)}$$

где V – скорость движения воздуха в трубопроводе;
$\sum\zeta$– сумма коэффициентов местных сопротивлений.

$$P_2 = 0,063 \cdot 3.3^2 \cdot 4,5 = 0,0003 \text{ кгс/с.}$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений

$$\sum \xi = 1,5 \cdot n, \qquad \text{(Б.9.2.6)}$$

где n – число растворных и расходных баков.

$$\sum \xi = 1,5 \cdot 3 = 4,5 .$$

Б.9.3 Приготовление известкового молока

Ёмкость бака для приготовления известкового молока

$$W_И = \frac{q_ч \cdot n \cdot Д_И}{10000 B_И \gamma_И}, \qquad (Б.9.3.1)$$

где $q_ч$ – расход воды, м^3/ч;

n – время, за которое изготавливают известковое молоко n =16 ч;

$Д_И$ – доза извести;

$B_и$ – концентрация известкового молока, $B_и$ = 5%;

$\gamma_и$ – объемный вес известкового молока, $\gamma_и$ = 1,1.

$$W_И = \frac{4,99 \cdot 16 \cdot 220}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 0,35 \text{ м}^3.$$

Диаметр бака

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_И \cdot 4}{\pi}}, \qquad (Б.9.3.2)$$

где $W_и$ – емкость бака, м^3.

$d = \sqrt[3]{\frac{0,35 \cdot 4}{3,14}} = 0,77$, принимаем бак диаметром в 1 м.

Мощность двигателя мешалок с горизонтальными лопастями

$$N = 0,004 \cdot \rho \cdot h_Л \cdot n^3 \cdot d_0^4 \cdot z \cdot \eta \cdot \varphi, \qquad (Б.9.3.3)$$

где ρ – объемный вес раствора, ρ =1100 кг/м^3;

$h_л$ – высота лопасти, $h_л$ = 0,25 м;

n – число оборотов мешалки, n = 0,67 об/с;

d –диаметр окружности, описываемый концом лопасти, d = 0,8 м;

Z – число парных лопастей на валу мешалки, Z = 2;

η – коэффициент полезного действия, η = 0,6.

φ – коэффициент учета увеличения струи жидкости, перемещаемой лопастью мешалки, φ = 1,15.

$$N = 0,004 \cdot 1100 \cdot 0,25 \cdot 0,67^3 \cdot 0,8^4 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,15 = 0,19, \text{ кВт}.$$

Б.9.4 Склады реагентов

Площадь склада коагулянтов

$$F_{СКЛ}^{К} = \frac{Q_{ОС} \cdot Д_К \cdot T\alpha}{P_C^К \cdot 10000 \cdot h_К \cdot G_0^К}, \qquad (Б.9.4.1)$$

где $Q_{ос}$ – производительность, м^3/сут;

$Д_К$ – доза коагулянта;

T – продолжительность хранения коагулянта на складе, Т = 15 сут;

α – коэффициент учета дополнительной площадки проходов, α = 1,15;

$P_C^К$ – содержание безводного продукта в коагулянте, $P_C^К = 33,5$ %;

$h_к$ – высота слоя коагулянта, $h_к$=2, м;

$G_0^К$ – объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом $G_0^К = 1,1$ т/м^3.

$$F_{СКЛ}^{К} = \frac{79,87 \cdot 360 \cdot 15 \cdot 1,15}{33,5 \cdot 10000 \cdot 2 \cdot 1,1} = 0,67 \text{ м}^2.$$

Площадь склада извести

$$F_{СКЛ}^{И} = \frac{Q_{ОС} \cdot Д_И \cdot T\alpha}{P_C^И \cdot 10000 \cdot h_C^И \cdot G_0^И}, \qquad (Б.9.4.2)$$

где $Q_{ос}$ – производительность, м^3/сут;

$Д_и$ – доза извести;

T – продолжительность хранения коагулянта на складе, T = 30 сут ;

α – коэффициент учета дополнительной площадки проходов, α = 1,15;

$P_C^и$ – содержание безводного продукта в извести, $P_C^И = 50$ %;

$h_и$ – высота слоя извести, $h_и$=1,5 м;

$G_0^и$ – объемный вес извести при загрузке склада навалом $G_0^и = 1$ т/м^3.

$$F_{СКЛ}^{И} = \frac{79,87 \cdot 220 \cdot 30 \cdot 1,15}{50 \cdot 10000 \cdot 1,5 \cdot 1} = 0,81 \text{ м}^2.$$

Б.9.5 Дозирование растворов реагентов

Расчет шайбового дозатора заключается в определении емкости дозатора и диаметра на трубопроводе исходной воды.

Ёмкость шайбового дозатора

$$W = 0{,}1 \cdot \frac{q_Ч \cdot Д_К}{B \cdot \gamma}, \qquad (Б.9.5.1)$$

где $q_ч$ – расход воды, м^3/ч;

$Д_к$ – доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, г/м^3;

n – число часов непрерывной работы дозаторов, n = 8 ч;

B – концентрация раствора реагента, B = 5 %;

γ – объемный вес раствора реагента, γ = 1,06.

$$W = \frac{0{,}1 \cdot 8 \cdot 4{,}99 \cdot 360}{5 \cdot 1{,}06} = 271{,}15 \text{ дм}^3/\text{ч}.$$

Принимаем для дозирования насос-дозатор марки НД 400/16.
Подача раствора реагента – 100-400 дм^3/ч.
Давление нагнетания – 1,6 МПа.
Мощность электродвигателя – 1,1 кВт.
Масса агрегата – 116 кг.

Максимальная высота слоя раствора реагента в дозаторе

$$H_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W}{\pi}}, \qquad (Б.9.5.2)$$

где W – емкость шайбового дозатора, м^3.

$$H_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 0{,}271}{3{,}14}} = 1{,}11 \text{ м}.$$

Диаметр корпуса дозатора

$$d = \frac{H_1}{2}, \qquad (Б.9.5.3)$$

где H_1 – максимальная высота слоя раствора реагента в дозаторе, м.

$$d = \frac{1{,}11}{2} = 0{,}55 \text{ м}.$$

Перепад давления, создаваемый дроссельной шайбой

$$\Delta h = (\gamma - 1)(H + \frac{100 \cdot H_1}{K}) + 3 \cdot \Sigma h \cdot \zeta, \qquad (Б.9.5.4)$$

где γ – объемный вес раствора реагента, γ = 1,06;

H – высота подачи раствора из дозатора в трубопровод H = 5,5 м;

K – точность дозировки, K = 5 %;

$\sum h\zeta$ – гидравлическое сопротивление, $\sum h\zeta$ = 0,15 м. вод. ст.;

H_1 – максимальная высота слоя раствора реагента в дозаторе, м.

$$\Delta h = (1,06-1)(5,5+\frac{100\cdot 1,11}{5})+3\cdot 0,15 = 2,11 \text{ м.вод.ст.}$$

Диаметр шайбы

$$d_{Ш} = 4,27\cdot\sqrt{\frac{Q_{Ч}}{\alpha\cdot\sqrt{\Delta h}}}, \qquad \text{(Б.9.5.5)}$$

где $Q_ч$ – расход воды, м^3/ч;

α – коэффициент истечения, α = 0,6.

Δh – перепад давления, создаваемый дроссельной шайбой, м.вод.ст.

$$d_{Ш} = 4,27\cdot\sqrt{\frac{4,99}{0,6\cdot\sqrt{2,11}}} = 10,22 \text{ мм.}$$

Б.10 Вертикальный (вихревой) смеситель

Площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя

$$f_в = \frac{Q}{V_в}, \qquad \text{(Б.10.1)}$$

где Q – часовая производительность, м^3/ч;

$V_в$ – скорость восходящего потока воды, м/ч, $V_в$ = 93 м/ч.

$$f_в = \frac{4,99}{93} = 0,05 \text{ м}^2.$$

Сторона квадратной верхней части смесителя

$$B_в = \sqrt{f_в}, \qquad \text{(Б.10.2)}$$

где $f_в$ – площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м^2.

$B_в$ = 0,22 м.

Диаметр подводящего трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot V_n}}, \qquad \text{(Б.10.3)}$$

где q_c – производительность, м^3/с;
V_n – скорость в подводящем трубопроводе, м/с, V_n = 1,1 м/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001}{3,14 \cdot 1,1}} = 0,03 \text{ м, принимаем } d = 0,05 \text{ м.}$$

Площадь нижней части смесителя

$$f_н = D^2 = (d + 2 \cdot \delta)^2, \qquad \text{(Б.10.4)}$$

где d – диаметр подводящего трубопровода, м;
δ – толщина стенки труб, δ = 0,03.

$$f_н = D^2 = (0,05 + 2 \cdot 0,03)^2 = 0,012 \text{ м}^2.$$

Высота нижней части смесителя

$$h_н = 0,5 \cdot (B_в - B_н) \cdot ctg\frac{\alpha}{2}, \qquad \text{(Б.10.5)}$$

где $B_в$ – сторона квадратной верхней части смесителя, м;
α =45 º;
$B_н$ – диаметр трубопровода, $B_н$ = D, м.

$$h_н = 0,5 \cdot (0,22 - 0,012) \cdot ctg\frac{45}{2} = 0,13 \text{ м.}$$

Объем пирамидальной части смесителя

$$W_н = \frac{1}{3} \cdot h_н \cdot (f_в + f_н + \sqrt{f_в \cdot f_н}), \qquad \text{(Б.10.6)}$$

где $f_в$ – площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м^2;
$f_н$ – площадь нижней части смесителя, м^2;
$h_н$ – высота нижней части смесителя, м.

$$W_н = \frac{1}{3} \cdot 0,13 \cdot (0,05 + 0,012 + \sqrt{0,05 \cdot 0,012}) = 0,004 \text{ м}^3.$$

Полный объем смесителя

$$W = \frac{Q_ч \cdot t}{60}, \qquad \text{(Б.10.7)}$$

где $Q_ч$ – часовая производительность, м^3/ч;
t – время перемешивания воды, t = 1,5 мин.

$$W = \frac{4,99 \cdot 1,5}{60} = 0,12 \text{ м}^3.$$

Объем верхней части смесителя

$$W_в = W - W_н, \qquad \text{(Б.10.8)}$$

где W – полный объем смесителя, м^3;
$W_н$ – объем пирамидальной части смесителя, м^3.

$W_в$ = 0,12-0,004 = 0,116 м^3.

Высота верхней части смесителя

$$h_в = \frac{W_в}{f_в}, \qquad \text{(Б.10.9)}$$

где $f_в$ – площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м^2;
$W_в$ – объем верхней части смесителя, м^3.

$$h_в = \frac{0,116}{0,05} = 2,32 \text{ м.}$$

Полная высота смесителя

$$h_c = h_н + h_в, \qquad \text{(Б.10.10)}$$

где $h_н$– высота нижней части, м;
$h_в$ – высота верхней части, м.

$$h_c = 0,13 + 2,32 = 2,45 \text{ м.}$$

Сбор воды производится в верхней части смесителя периферийным лотком через затопленные отверстия.

Расход воды в лотке

$$Q_л = \frac{Q_ч}{2}, \qquad \text{(Б.10.11)}$$

где $Q_ч$ – часовая производительность, м^3/ч.

$$Q_л = \frac{4,99}{2} = 2,49 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Площадь живого сечения лотка

$$\omega_л = \frac{Q_л}{V_л \cdot 3600}, \qquad \text{(Б.10.12)}$$

где $Q_л$ – расход воды в лотке, м^3/ч.

$V_л$ – скорость движения воды в лотке, м/с, $V_л$ = 0,6 м/с.

$$\omega_л = \frac{2,49}{0,6 \cdot 3600} = 0,001 \text{ м}^2.$$

Высота слоя воды в лотке

$$h_л = \frac{\omega_л}{B_л}, \qquad \text{(Б.10.13)}$$

где $\omega_л$ – площадь живого сечения лотка, м^2;

$B_л$ – ширина лотка, м, $B_л$ = 0,27 м.

$$h_л = \frac{0,001}{0,27} = 0,004 \text{ м}.$$

Площадь затопления отверстий в стенках лотка

$$F_0 = \frac{Q_ч}{V_o \cdot 3600}, \qquad \text{(Б.10.14)}$$

где $Q_ч$ – часовая производительность, м^3/ч;

V_o – скорость движения воды через отверстия, м/с, V_o = 1 м/с.

$$F_0 = \frac{4,99}{1 \cdot 3600} = 0,001 \text{ м}^2.$$

При диаметре отверстия 80 мм, площадь одного отверстия

$$f_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}, \qquad \text{(Б.10.15)}$$

где d_o – диаметр отверстия, d_o = 80 мм.

$$f_0 = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} = 0,005 \text{ м}^2.$$

Количество отверстий

$$n_0 = \frac{F_0}{f_0}, \qquad \text{(Б.10.16)}$$

где F_o – площадь затопления отверстий в стенках лотка, м^2;
f_o – площадь одного отверстия, м^2.

n_o = 1.

Б.11 Гальванокоагулятор

Площадь полезного сечения (м^2) при диаметре стальных труб D = 0,7м и диаметре центрального стержня анода d_a = 0,05м.

$$S_n = \frac{\pi}{4} \cdot \left(D^2 - d_a^2 \right), \qquad \text{(Б.11.1)}$$

где D – диаметр трубопровода, м;
d – диаметр центрального стержня анода, м.

$$S_n = \frac{3,14}{4} \cdot \left(0,7^2 - 0,05^2 \right) = 0,38 \text{ м}^2.$$

Высота активной загрузки при времени контакта t = 4 мин.

$$H = \frac{Q \cdot t}{S_n}, \qquad \text{(Б.11.2)}$$

где Q – производительность, м^3/ч;

t – время контакта, ч;

S_n – площадь полезного сечения, м^2.

$$H = \frac{4,99 \cdot 0,07}{0,38} = 0,92 \text{ м}.$$

Принимаем 2 аппарата.

Общая высота модуля (м) при соотношении объема загрузки и общего объема, равного 0,7 составляет $H_{общ} = \frac{H}{0,7} = \frac{0,92}{0,7} = 1,31$ м.

Объем активной загрузки, м^3

$$V = S_n \cdot H \,, \qquad \text{(Б.11.3)}$$

где S_n – площадь полезного сечения, м^2;

H – высота активной загрузки, м.

$$V = 0,38 \cdot 0,92 = 0,35 \text{ м}.$$

Масса каждого компонента активной загрузки, вычисляется исходя из насыпного веса компонентов и массового соотношения, в данном случае, для алюминиевой стружки и активированного угля 4:1.

Насыпной вес для АУ фракции 2,8-5мм $\gamma_{АУ}$ = 450кг/м^3, для алюминиевой стружки >2мм $\gamma_{ст}$ = 275 кг/м^3 (насыпной вес определяется эмпирически в зависимости от природы загружаемого материала).

$$M_i = V_i \cdot \gamma_i \,, \qquad \text{(Б.11.4)}$$

где V_i – объем алюминия или активированного угля, м^3;

γ_i – насыпной вес стружки, активированного угля, кг/м^3.

$$M_{Al} = 0,28 \cdot 275 = 77 \text{ кг},$$
$$M_{АУ} = 0,07 \cdot 450 = 31,5 \text{ кг}.$$

Суммарный объем обрабатываемой воды для одного гальванокоагулятора исходя из коэффициента использования алюминиевой стружки 0,9 и максимальной концентрации $Al_{общ}$ в обработанной воде 100 мг/дм^3 (0,1 кг/м^3)

$$Q_1 = \frac{M_{Al} \cdot 0,9}{C_{Al}}, \qquad \text{(Б.11.5)}$$

где M_{Al} – масса стружки, кг;

C_{Al} – максимальная концентрация стружки, кг/м^3.

$$Q_1 = \frac{77 \cdot 0,9}{0,1} = 693 \text{ м}^3.$$

Минимальная продолжительность работы гальванокоагулятора производительностью 4,99 м^3/ч при 16 часовой работе в сутки

$$T = \frac{Q_1}{Q_ч \cdot t}, \qquad \text{(Б.11.6)}$$

где Q_1 – суммарный объем стока для одного гальванокоагулятора, м^3;

$Q_ч$ – расход стока, м^3/ч;

t – продолжительность работы, ч.

$$T = \frac{693}{4,99 \cdot 16} = 8,7 \text{ суток}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Экономическое обоснование выбора рационального метода очистки нефтесодержащих сточных вод

В.1 Ущерб от сброса сточных вод

Размер вреда, причиненного водному объекту сбросом загрязняющих веществ в составе сточных вод

$$У = К_в \cdot К_{вг} \cdot К_{ин} \cdot \sum_{i=1}^{n} (Н_i \cdot М_i) \cdot К_{из}, \qquad \text{(В.1.1)}$$

где $К_в$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов), $К_в$ = 1,36;

$К_{вг}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, $К_{вг}$ = 1,17;

$К_{ин}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития $К_{ин}$ = 2,67;

$Н_i$ – таксы для исчисления размера вреда от сброса i-го загрязняющего вещества в водные объекты, тыс. руб./т;

$М_i$ – масса сброшенного i-го загрязняющего вещества, т;

$К_{из}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия загрязняющих веществ на водный объект.

Коэффициент $К_{из}$ принимается: для загрязняющих веществ I и II классов опасности – в размере рассчитанной кратности превышения; для загрязняющих веществ III и IV классов опасности – равном 1 при

превышениях до 10 раз; равном 2 при превышениях более 10 и до 50 раз; равном 5 при превышениях более 50 раз.

Количество выбросов $j^{го}$ назначения и допустимое количество i-го компонента

$$m_i^j = \frac{m_i^j \cdot Q_c \cdot 260}{10^6}, \qquad \text{(В.1.2)}$$

где m_i^j – количество выбросов, мг/дм^3;

Q_c – суточный расход стока, м^3/сут.

В.2 Платежи за выброс загрязняющих веществ

Плата природопользователей за фактический сброс очищенных сточных жидкостей

$$П = J \cdot K_i \cdot \sum_{i=1}^{N} П_{общ}, \qquad \text{(В.2.1)}$$

где J – коэффициент инфляции, $J = 1{,}7$;

K_i – коэффициент, учитывающий экологическую ситуацию и значимость района, $K_i = 1{,}4$;

$П_{общ}$ – общая плата за выбросы в природную среду i-го компонента, руб/г.

Общая плата природопользователей за выбросы в природную среду загрязняющих веществ

$$П_{общ} = П_д + П_{пр}, \qquad \text{(В.2.2)}$$

где $П_д$ – плата природопользователей за допустимые выбросы в природную среду, руб./г.;

$П_{пр}$ – плата за превышение допустимых загрязнений, руб/г.

Плата природопользователей за допустимый сброс загрязняющих веществ в водный объект

$$П_д = m_д \cdot p_д, \qquad \text{(В.2.3)}$$

где $m_д$ – масса выбросов вещества в пределах допустимого, т/г;

$p_д$ − норма платы в пределах допустимого, руб/г.

Плата природопользователями за фактический сброс загрязняющих веществ

$$П_{пр} = (m_д - m_ф) \cdot p_{пр}, \quad \text{(В.2.4)}$$

где $m_д$ − масса выбросов вещества в пределах допустимого, т/г;
$m_ф$ − масса выбросов вещества в пределах фактического, т/г;
$p_{пр}$ − норма платы за превышение, руб/г.

Расчет оплаты природопользователей за сброс загрязняющих веществ в водный объект, как допустимой концентрации, так и за превышение сведен в таблицу В.2.

Таблица В.2 − Плата за выброс загрязняющих веществ

Компонент	Масса ве-ва, т/г		Норма платы, руб/г		Плата, руб/г		
	с учетом очистки	без учета очистки	с учетом очистки	без учета очистки	за сброс	за превышение	общ
Взешанные вещества	0,11	0,25	366	1830	40,26	256,6	296,46
Нфтепродукты	0,001	0,104	5510	27550	5,51	2837,65	2843,16
SO_4^{-2}	2,1	6,24	2,8	14	5,88	57,96	63,84
Cl^-	0,25	0,42	0,9	4,5	0,23	0,77	1,0
					∑52,08		∑3204,46

$П_с = 1,7 \cdot 1,4 \cdot 52,08 = 123,95$ руб/г;

$П_{без} = 1,7 \cdot 1,4 \cdot 3204,46 = 7626,61$ руб/г.

В.3 Расчет капитальных вложений

Емкость для усреднения сточной жидкости представляет собой прямоугольный резервуар с размерами в плане 7000×3000×2000 мм изготовленный из листового металла − сталь, толщина стенки 6 мм, вес метала (стали) 7850 кг/м^3, стоимость одного килограмма стали составляет 200 руб.

Стоимость сооружения для усреднения стока

$$P_{ус} = p \cdot \gamma \cdot \delta \cdot F_k \quad \text{(В.3.1)}$$

где p − стоимость одного килограмма метала, руб;
γ − удельный вес метала, кг/м^3;
δ − толщина стенки, м;
$F_к$ − площадь поверхности усреднителя, м^2;

1,3 − коэффициент учитывающий фланцевые соединения.

$$P_{ок} = 1,3 \cdot 200 \cdot 7850 \cdot 0,006 \cdot 82 = 1004172 \text{ руб.}$$

Стоимость электролизера определяется по расходу метала:

- на корпус (240×440×2425 мм);
- на рабочие пластины.

Толщину стенки принимаем 4 мм, удельный вес метала (стали) 7850 кг/м^3, стоимость одного килограмма стали составляет 200 руб.

Необходимый объем металла (сталь) на изготовление корпуса (прямоугольной формы 240×440×2425 мм) электролизера составляет 0,014 м^3.

Стоимость корпуса электролизера

$$P_э = W \cdot p \cdot \gamma \cdot 1,3 \qquad \text{(В.3.2)}$$

где W − объем метала, м^3;

p − стоимость одного килограмма метала, руб;

γ − удельный вес метала, кг/м^3;

1,3 − коэффициент учитывающий фланцевые соединения.

$$P_э = 0,014 \cdot 200 \cdot 7850 \cdot 1,3 = 28574 \text{ руб.}$$

Внутренняя часть электролизера состоит из 11 алюминиевых пластин (6×420×1850 мм), удельный вес алюминия 2760 кг/м^3, стоимость одного килограмма 100 руб.

Стоимость внутренней части электролизера.

$$P = N \cdot W \cdot p \cdot \gamma, \qquad \text{(В.3.3)}$$

где N − количество пластин в электролизере, шт;

W − объем метала, м^3;

p − стоимость одного килограмма метала, руб;

γ − удельный вес метала, кг/м^3.

$$P = 11 \cdot 0,004 \cdot 100 \cdot 2760 = 12144 \text{ руб.}$$

Камера хлопьеобразования имеет цилиндрическую форму, изготовлено из листовой стали с толщиной стенки 0,004 м, площадь поверхности составляет 15,15 м^2. Стоимость сооружения

$$P_{ок} = 1,3 \cdot p \cdot \gamma \cdot \delta \cdot F_k, \qquad \text{(В.3.4)}$$

где p − стоимость одного килограмма метала, руб;

γ – удельный вес метала, кг/м^3;
δ – толщина стенки, м;
$F_к$ – площадь поверхности камеры хлопьеобразования, м^2;
1,3 – коэффициент учитывающий фланцевые соединения.

$$P_{ок} = 1,3 \cdot 200 \cdot 7850 \cdot 0,004 \cdot 15,15 = 123684,6 \text{ руб.}$$

Гальванокоагулятор представляет собой сооружение из стали цилиндрического типа высотой в 1,31 м, а диаметром в 0,7 м, с толщиной стенки в 0,006 м. Стоимость сооружения включает в себя корпус гальванокоагулятора и стоимость загрузки, состоящей из 77 кг стружки алюминия и 31,5 кг углеродсодержащего материала (активированный уголь).

Стоимость корпуса гальванокоагулятора

$$P_г = 1,3 \cdot p \cdot \gamma \cdot \delta \cdot (2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H), \quad \text{(В.3.5)}$$

где p – стоимость одного килограмма метала, руб;
γ – удельный вес метала, кг/м^3;
δ – толщина стенки, м;
d и r – диаметр и радиус гальванокоагулятора, м;
1,3 – коэффициент учитывающий фланцевые соединения.

$$P_г = 1,3 \cdot 200 \cdot 7850 \cdot 0,006 \cdot (2 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,7^2}{4} + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,35 \cdot 1,31) = 44682,3 \text{ руб.}$$

Стоимость загрузки гальванокоагулятора

$$P_{зг} = p_{Al} \cdot M_{Al} + p_{АУ} \cdot M_{АУ}, \quad \text{(В.3.6)}$$

где p – стоимость одного килограмма алюминиевой стружки и активированного угля, руб;
M – масса стружки и угля, кг.

$$P_{зг} = 100 \cdot 77 + 220 \cdot 31,5 = 14630 \text{ руб.}$$

В.4 Показатели экономической эффективности

Эксплуатационные затраты представляют собой совокупность расходов необходимых для осуществления нормального функционирования используемого оборудования, сооружений и всей системы очистки.

$$Э = З_р + З_{з/пл} + З_{эл} + З_а + З_{тр} + З_{пр}, \quad \text{(В.4.1)}$$

где $З_р$ − стоимость реагентов и других строительных материалов, тыс. руб.;

$З_{з/пл}$ − заработная плата обслуживающего персонала с отчислениями на социальное страхование, тыс. руб.;

$З_{эл}$ − стоимость электроэнергии, тыс. руб.;

$З_{тр}$ − затраты на текущий ремонт, тыс. руб.;

$З_{пр}$ − прочие затраты, тыс. руб.;

$З_а$ − амортизационные отчисления, тыс. руб.

Заработная плата обслуживающего персонала зависит от штата, работающего на донном предприятии − 5 чел., размера минимальной оплаты труда обслуживающего персонала, районного коэффициента и налоговых отчислений в государственные внебюджетные фонды 13%.

Минимальный размер оплаты труда, для граждан Российской Федерации от 1.01.2016 г составляет 6204 руб.

$$З_{з/п} = 12 \cdot З_{ср} \cdot К_с \cdot К_р \cdot n, \qquad \text{(В.4.2)}$$

где $З_{ср}$ − среднегодовая зарплата на одного работника, тыс.руб;

$К_с$ − коэффициент равный налоговых отчислений 1,13;

$К_р$ − коэффициент учета региональных особенностей, $К_р$ = 1,6;

n − количество работающих.

$$З_{з/п} = 12 \cdot 6,204 \cdot 1,13 \cdot 1,6 \cdot 5 = 673,01 \text{ тыс.руб.}$$

Таблица В.3 − Потребляемая мощность

№ п/п	Наименование оборудования	Мощность, кВт	Инвестиционные проекты					
			Схема 1		Схема 2		Схема 3	
			кол-во	общ.	кол-во	общ.	кол-во	общ.
1	Электролизер	1,5	2	3,0	-	-	-	-
2	Воздуходувка, ВК-1,5	5,5	2	11,0	2	11,0	2	11,0
3	Центрифуга, ДАКТ	6,7	1	6,7	1	6,7	1	6,7
4	Смеситель	1,5	-	-	1	1,5	-	-
5	Насос Calpeda NM4 25/160AE	0,37	5	1,85	5	1,85	5	1,85
6	Насос для отходов	0,37	2	0,74	2	0,74	2	0,74
7	Насос дозатор НД1,0Р100/10К14В	0,5	4	2,0	6	3,0	4	2,0
8	Насос дозатор коагулянта, НД 400/16	1,1	-	-	2	2,2	-	-
9	Гальванокоагулятор	0,5	-	-	-	-	2	1,0
				∑25,29		∑26,99		∑23,29

Установленная мощность

$$N_i = \frac{P \cdot K_o \cdot N}{Cos\varphi}, \qquad \text{(В.4.3)}$$

где P – коэффициент учитывающий трансформаторный резерв, P = 1,5;
K_o – коэффициент учитывающий электросетевой нагрев, K_o = 1,05;
N – мощность всех работающих электроприемников, кВт;
$Cos\varphi$ – коэффициент учитывающий мощность электродвигателя, $Cos\varphi$ = 0,9.

$$N_1 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 25,29}{0,9} = 44,26 \text{ кВт.}$$
$$N_2 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 26,99}{0,9} = 47,23 \text{ кВт.}$$
$$N_3 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 23,29}{0,9} = 40,76 \text{ кВт.}$$

Предприятие потребляет электроэнергии менее 670 кВт, относится к потребителям первой ценовой категории, тариф на услуги по передаче электроэнергии – одноставочный. В обязательном порядке устанавливаются приборы учета общего количества потребленной электрической электроэнергии.

Годовой расход потребленной электроэнергии

$$C_{э.п} = \frac{\sum W \cdot T}{10^5}, \qquad \text{(В.4.4)}$$

где W – количество активной электроэнергии, кВт;
T – время, ч.

$$\sum W = \sum N_i \cdot T, \qquad \text{(В.4.5)}$$

где N – установленная мощность, кВт;
T – время, ч.

$$\sum W_1 = 44,26 \cdot 260 \cdot 16 = 184121,6 \text{ кВт·ч/г.}$$
$$\sum W_2 = 47,23 \cdot 260 \cdot 16 = 196476,8 \text{ кВт·ч/г.}$$
$$\sum W_3 = 40,76 \cdot 260 \cdot 16 = 169561,6 \text{ кВт·ч/г.}$$

$$C^1_{э.п} = \frac{184121,6 \cdot 260 \cdot 16}{10^5} = 7459,5 \text{ кВт.}$$
$$C^2_{э.п} = \frac{196476,8 \cdot 260 \cdot 16}{10^5} = 8173,43 \text{ кВт.}$$

$$C^3_{э.п} = \frac{169561,6 \cdot 260 \cdot 16}{10^5} = 7053,8 \text{ кВт.}$$

Затраты на расход электроэнергии

$$З^i_э = \frac{\sum W \cdot T_1 \cdot НДС}{1000}, \quad \text{(В.4.6)}$$

где W – количество активной электроэнергии, кВт;

T_1 – одноставочный тариф на электроэнергию, руб, T_1 = 2,47, руб;

НДС = 1,18.

$$З^1_э = \frac{184121,6 \cdot 2,47 \cdot 1,18}{1000} = 536,64 \text{ тыс.руб.}$$

$$З^2_э = \frac{196476,8 \cdot 2,47 \cdot 1,18}{1000} = 572,7 \text{ тыс.руб.}$$

$$З^3_э = \frac{169561,6 \cdot 2,47 \cdot 1,18}{1000} = 494,20 \text{ тыс.руб.}$$

Затраты на текущий ремонт и амортизационные затраты принимаем в размере 1% и 2% соответственно от капитальных вложений.

Текущий ремонт

$$З^i_{т.р} = 0,01 \cdot КВ, \quad \text{(В.4.7)}$$

где $КВ$ – капитальные вложения, тыс.руб.

$$З^1_{т.р} = 0,01 \cdot 3721,84 = 37,22 \text{ тыс.руб;}$$

$$З^2_{т.р} = 0,01 \cdot 4384,2 = 43,84 \text{ тыс.руб;}$$

$$З^3_{т.р} = 0,01 \cdot 4255,72 = 42,56 \text{ тыс.руб.}$$

Амортизационные затраты

$$З^i_а = 0,02 \cdot КВ, \quad \text{(В.4.8)}$$

где $КВ$ – капитальные вложения, т.руб.

$$З^1_а = 0,02 \cdot 3721,84 = 74,44 \text{ тыс.руб.;}$$

$$З^2_а = 0,02 \cdot 4384,2 = 87,68 \text{ тыс.руб.;}$$

$$З^3_а = 0,02 \cdot 4255,72 = 85,12 \text{ тыс.руб.}$$

Прочие затраты − элемент себестоимости продукта, в котором отражаются платежи по процентам, износ нематериальных активов, командировочные расходы, представительские расходы, расходы на рекламу, на подготовку кадров, некоторые налоги (налог на имущество, дорожный налог), затраты на ремонт основных фондов, платежи за выбросы загрязняющих веществ.

$$З^i_{пр} = 0,2 \cdot (З^i_a + З^i_{з/п}), \quad \text{(В.4.9)}$$

где $З_a$ − амортизационное затраты, т.руб;
$З_{з/п}$ − затраты на оплату труда рабочим, т.руб.

$З^1_{пр} = 0,2 \cdot (74,44 + 673,01) = 149,49$ тыс.руб.;
$З^2_{пр} = 0,2 \cdot (87,68 + 673,01) = 152,14$ тыс.руб.;
$З^3_{пр} = 0,2 \cdot (85,12 + 673,01) = 151,63$ тыс.руб.

Одной из составляющей суммы эксплуатационных издержек являются затраты необходимые на приобретение необходимого количества химических реагентов.

Годовая потребность в реагентах

$$C_p = \frac{Q \cdot D_p \cdot T}{10^6}, \quad \text{(В.4.10)}$$

где Q − производительность, м^3/ч;
D_p − расчетная доза реагента, г/м^3;
T − время, ч.

Затраты на материалы

$$З_p = C_p \cdot P_p, \quad \text{(В.4.11)}$$

где P_p − стоимость 1 тонны реагента, тыс.руб/т;
C_p − годовая потребность в реагенте, т/год.

Расчет сведен в таблицу В.4.

Таблица В.4 – Потребность в химических реагентах

Наименование реагентов	Стоимость 1 т, тыс. руб.	Количество реагента, т	Расчетная доза, г/м^3	Всего, тыс. руб.
Сульфат алюминия	44,0	8,3	400	365,2
Полиакриламид	150	0,01	0,5	1,5
Известь	10	6,6	320	66

Кислота серная	37,74	8,3	400	313,242

Проанализировав все полученные результаты расчетов можно определить эксплуатационные затраты каждого из инвестиционных проектов

$$Э_1 = 313,242 + 66,0 + 673,01 + 536,64 + 74,44 + 37,22 + 149,49 = 1850,04 \text{ тыс.руб.};$$
$$Э_2 = 365,2 + 1,5 + 66 + 673,01 + 572,7 + 43,84 + 87,68 + 152,14 = 1874,39 \text{ тыс.руб.};$$
$$Э_3 = 313,242 + 66 + 673,01 + 494,2 + 85,12 + 42,56 + 151,63 = 1825,8 \text{ тыс.руб.}$$

Расчет приведенных затрат

$$П_i = E \cdot КВ + Э, \qquad \text{(В.4.12)}$$

где E – коэффициент дисконтирования, $E = 0,16$;
$КВ$ – капитальные вложения, тыс.руб;
$Э$ – годовые эксплуатационные затраты, тыс.руб.

$$П_1 = 0,16 \cdot 3721,84 + 1850,04 = 2445,89 \text{ тыс.руб.};$$
$$П_2 = 0,16 \cdot 4384,2 + 1874,39 = 2575,86 \text{ тыс.руб.};$$
$$П_3 = 0,16 \cdot 4255,72 + 1825,8 = 2506,71 \text{ тыс.руб.}$$

Себестоимость очистки 1 м^3 отработанной в производстве воды

$$C_i = \frac{П_i}{Q_{год}}, \qquad \text{(В.4.13)}$$

где $П$ – приведенные затраты, руб;
Q – производительность, м^3/год.

$$C_1 = \frac{2445890}{80 \cdot 260} = 118 \text{ руб.};$$
$$C_2 = \frac{2575860}{80 \cdot 260} = 124 \text{ руб.};$$
$$C_3 = \frac{2506710}{80 \cdot 260} = 121 \text{ руб.}$$

Сравнение вариантов технических отличающихся друг от друга размером инвестиционных вложений и эксплуатационных расходов, производится путем расчета модифицированной суммы приведенных, эксплуатационных затрат.

$$З_n^i = \sum_{t=0}^{T} \frac{КВ + З}{(1+E)^t}, \qquad \text{(В.4.14)}$$

где *КВ* − капитальные вложения, тыс.руб;

З − годовые эксплуатационные затраты, тыс.руб;

Е − коэффициент дисконтирования, *Е* = 0,16;

t − период, 5 лет.

$$З_n^1 = \frac{\frac{3721,84}{5} + 0,16 \cdot 3721,84}{(1+0,16)^1} + \frac{\frac{3721,84}{5} + 0,16 \cdot (3721,84 - \frac{3721,84}{5})}{(1+0,16)^2} + \frac{\frac{3721,84}{5} + 0,16 \cdot (3721,84 - 2 \cdot \frac{3721,4}{5})}{(1+0,16)^3} +$$

$$+ \frac{\frac{3721,84}{5} + 0,16 \cdot (3721,84 - 3 \cdot \frac{3721,84}{5})}{(1+0,16)^4} + \frac{\frac{3721,84}{5} + 0,16 \cdot (3721,84 - 4 \cdot \frac{3721,84}{5})}{(1+0,16)^5} = 3650,49 \text{ тыс.руб},$$

$$З_n^2 = \frac{\frac{4384,2}{5} + 0,16 \cdot 4384,2}{(1+0,16)^1} + \frac{\frac{4384,2}{5} + 0,16 \cdot (4384,2 - \frac{4384,2}{5})}{(1+0,16)^2} + \frac{\frac{4384,2}{5} + 1 \cdot (4384,2 - 2 \cdot \frac{4384,2}{5})}{(1+0,16)^3} +$$

$$+ \frac{\frac{4384,2}{5} + 1 \cdot (4384,2 - 3 \cdot \frac{4384,2}{5})}{(1+0,16)^4} + \frac{\frac{4384,2}{5} + 1 \cdot (4384,2 - 4 \cdot \frac{4384,2}{5})}{(1+0,16)^5} = 4384,1 \text{ тыс.руб},$$

$$З_n^3 = \frac{\frac{4255,72}{5} + 0,16 \cdot 4255,72}{(1+0,16)^1} + \frac{\frac{4255,72}{5} + 0,16 \cdot (4255,72 - \frac{4255,72}{5})}{(1+0,16)^2} + \frac{\frac{4255,72}{5} + 0,16 \cdot (4255,72 - 2 \cdot \frac{4255,72}{5})}{(1+0,16)^3} +$$

$$+ \frac{\frac{4255,72}{5} + 0,16 \cdot (4255,72 - 3 \cdot \frac{4255,72}{5})}{(1+0,16)^4} + \frac{\frac{4255,72}{5} + 0,16 \cdot (4255,72 - 4 \cdot \frac{4255,72}{5})}{(1+0,16)^5} = 4255,71 \text{ тыс.руб}.$$

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

Инженерно-строительный институт

Кафедра «Инженерные системы здания и сооружения»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.В. Сакаш
подпись
« _____» _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
по форме бакалаврской работы

Студенту Козловой Светлане Александровне

Группа ИЭ 12-21. Направление (специальность) 08.03.01.06 «Строительство» 270800.62.06 − «Водоснабжение и водоотведение»

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод»

Утверждена приказом по университету № 8081/с от 10.06.2016 г.

Руководитель ВКР: Т.И. Халтурина, профессор, канд. тех. наук, СФУ ИСИ кафедра ИСЗиС

Исходные данные для ВКР: нефтесодержащие сточные воды образуются на территории Красноярского края, в количестве 80 $м^3$/сут с преобладающим содержанием нефтезагрязняющих веществ − 1000 мг/$дм^3$, качественный состав: взвешенные вещества 800 мг/$дм^3$; pH 8-9; щелочность 0,2-6,2 мг-экв/$дм^3$; сухой остаток 300-1400 мг/$дм^3$; окисляемость 30-300 мг·О/$дм^3$; SO_4^{-2} 300-500 мг/$дм^3$; Cl^- 20-70 мг/$дм^3$.

Перечень разделов ВКР: анализ литературных источников и патентной документации по методам очистки нефтесодержащих сточных вод; экспериментальные исследования электрообработки сточных вод содержащих эмульгированные нефтепродукты; технико-экономическое сравнение различных технологических схем обработки нефтесодержащих сточных вод; автоматизация.

Перечень графического материала: зависимости выходных параметров от варьируемых факторов; регулировочные диаграммы процесса электрокоагуляции нефтесодержащих сточных вод; нефтеловушка; технологическая схема очистки нефтесодержащих сточных вод; технико-экономическое обоснование рационального метода очистки; автоматизация водоочистных сооружений.

Руководитель ВКР _____ Т.И. Халтурина
подпись

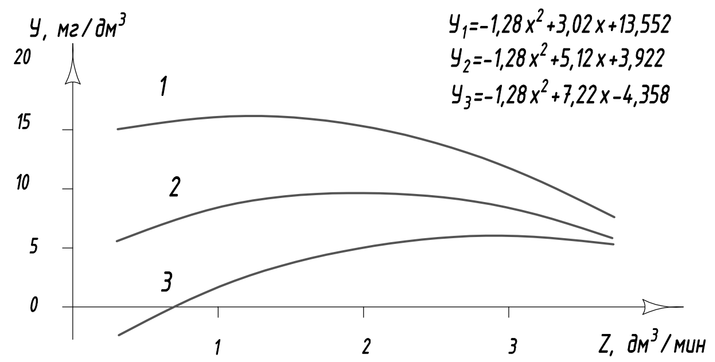
Задание принял к исполнению _____ С.А. Козлова
подпись

« 14» марта 2016 г.

Зависимости выходных параметров от варьируемых факторов

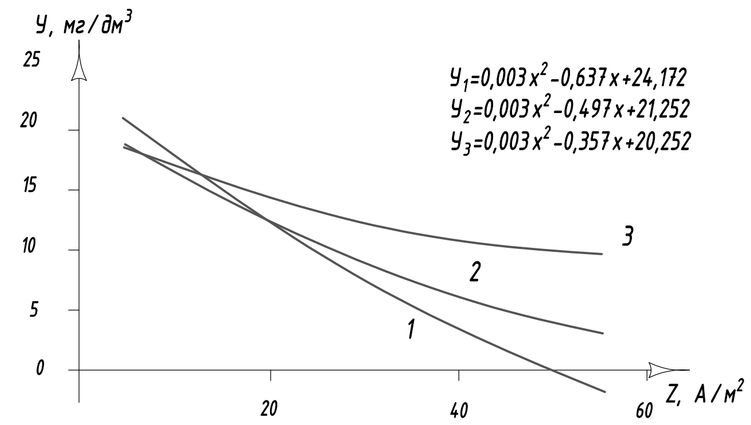
Зависимости остаточного нефтесодержания

От производительности



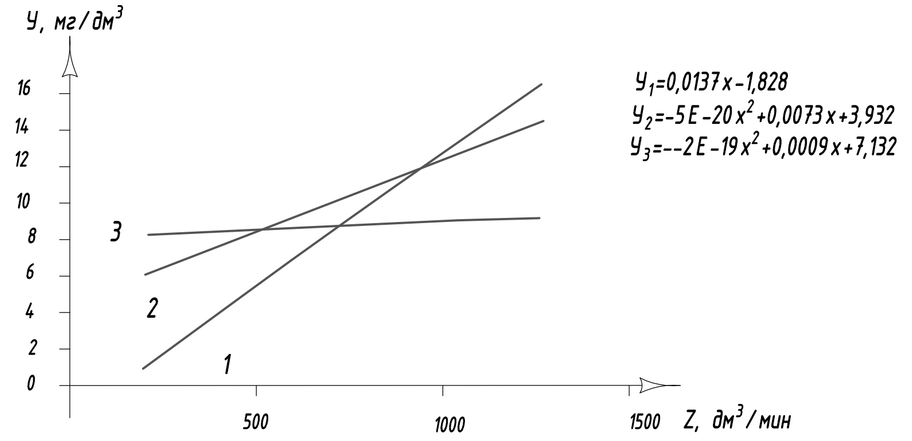
1- при 15 А/м^2; 2 - при 30 А/м^2; 3 - при 45 А\м^2

От плотности тока



1- при 1 дм^3/мин; 2 - при 2 дм^3/мин; 3 - при 3 дм^3/мин

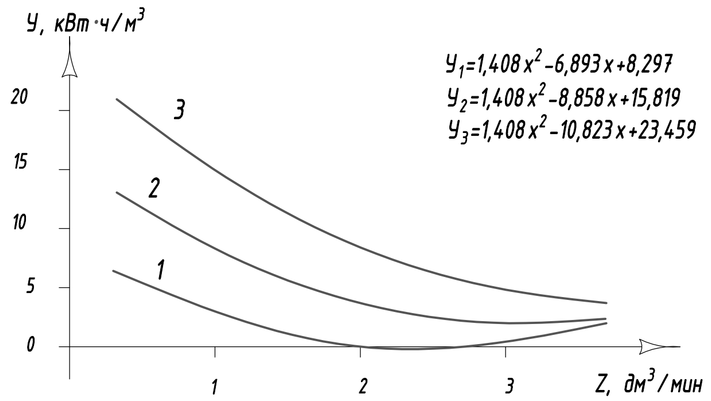
От остаточного нефтесодержания



1- при 1 дм^3/мин; 2 - при 2 дм^3/мин; 3 - при 3 дм^3/мин

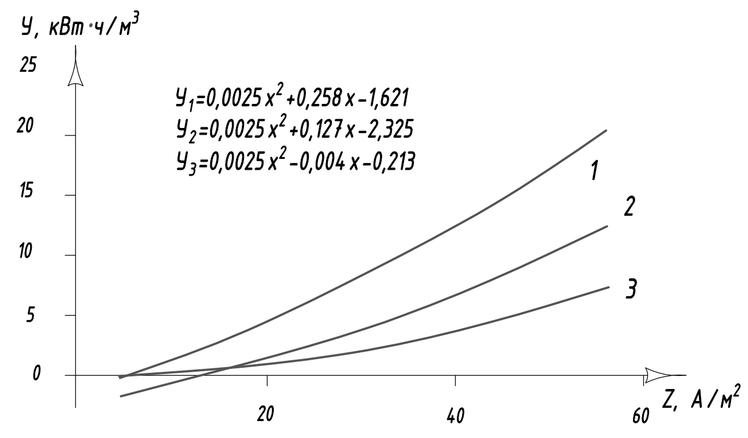
Зависимости расхода электроэнергии

От производительности



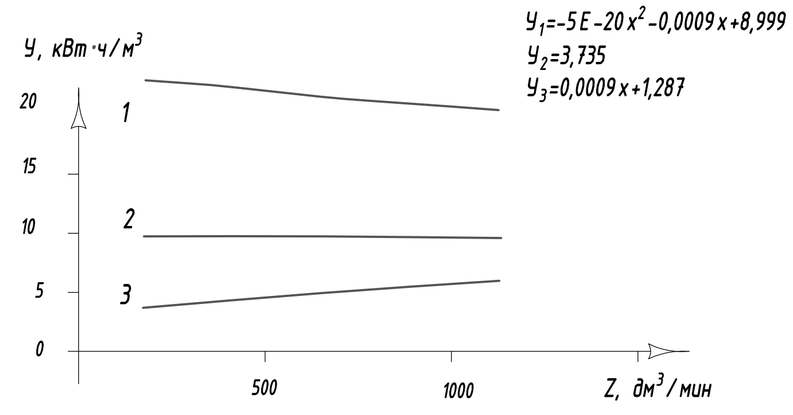
1- при 15 А/м^2; 2 - при 30 А/м^2; 3 - при 45 А\м^2

От плотности тока



1- при 1 дм^3/мин; 2 - при 2 дм^3/мин; 3 - при 3 дм^3/мин

От остаточного нефтесодержания



1- при 1 дм^3/мин; 2 - при 2 дм^3/мин; 3 - при 3 дм^3/мин

План полного факторного эксперимента

		Кодированные значения									Натуральные значения			Отклик	
	№п/п	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_2 \cdot x_3$	$x_3 \cdot x_1$	x_1^2	x_2^2	x_3^2	Z_1	Z_2	Z_3	y_1	y_2
Ядро плана	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1000	45	3	4,34	5,77
	2	-1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	400	45	3	2,6	5,61
	3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	1000	15	3	9,26	1,03
	4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	400	15	3	10,96	0,98
	5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	1000	45	1	3,5	14,05
	6	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	400	45	1	1,3	16,0
	7	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	1000	15	1	24,05	2,51
	8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	0	400	15	1	10,8	2,51
Звездные точки	9	+1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	1204	30	2	13,8	5,64
	10	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	196	30	2	5,13	4,8
	11	0	+1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	700	55,2	2	5,7	13,8
	12	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	700	4,8	2	18,6	0,47
	13	0	0	+1,68	0	0	0	0	0	2,82	700	30	3,68	8,4	2,88
	14	0	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	700	30	0,32	4,4	16,21
Дублирующие опыты	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	5,05	4,35
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	7,5	4,69
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	7,93	5,28
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	8,0	4,43
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	12,0	4,82
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	30	2	16,0	4,62

Математические зависимости выходных параметров от варьируемых факторов выраженных в уравнениях регрессии:

- для остаточного нефтесодержания

$$У_1 = 9,462 + 2,2x_1 - 4,76x_2 - 0,964x_1x_2 + 2,096x_2x_3 - 1,926x_2x_1 + 0,747x_2^2 - 1,28x_3^2$$

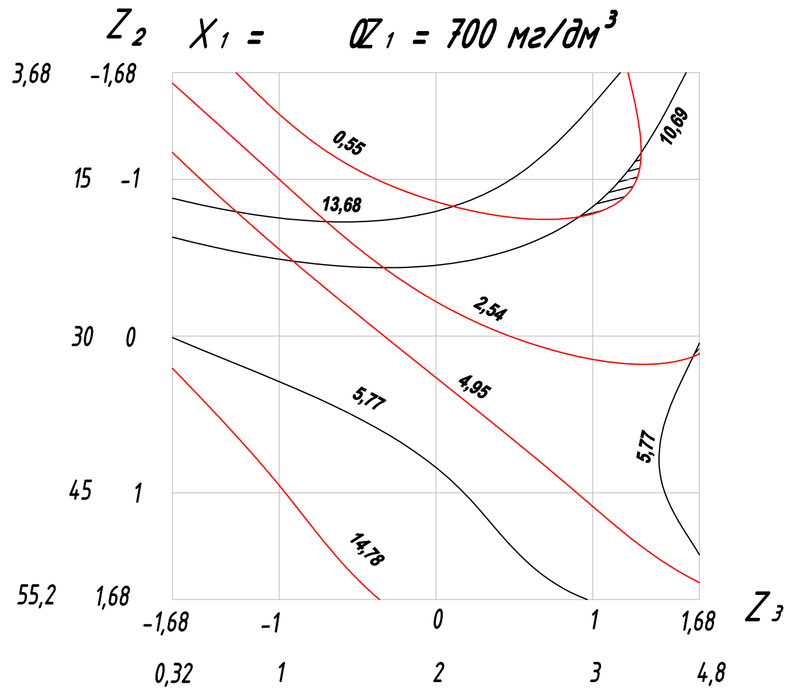
- для расхода электроэнергии

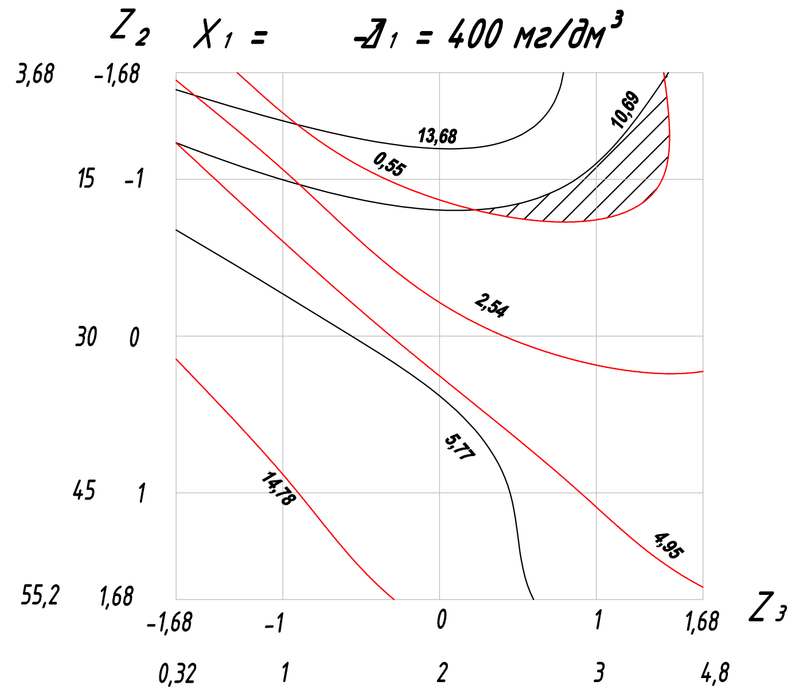
$$У_2 = 3,735 + 4,16x_2 - 3,226x_3 - 0,23x_1x_2 - 1,96x_2x_3 + 0,27x_3x_1 + 0,559x_2^2 + 1,408x_3^2$$

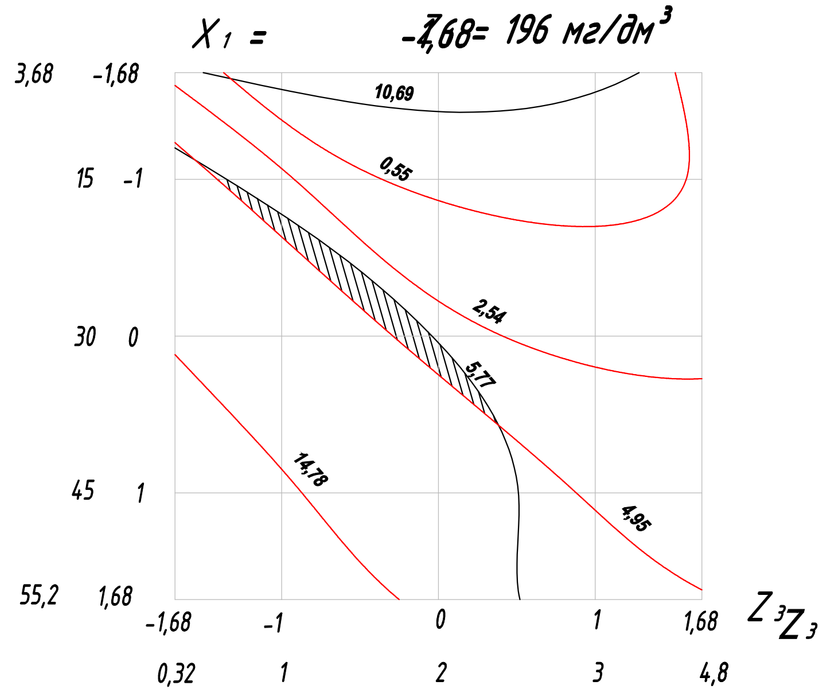
где x_1 - начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм^3;
x_2 - плотность тока, А/м^2;
x_3 - производительность, дм^3/мин.

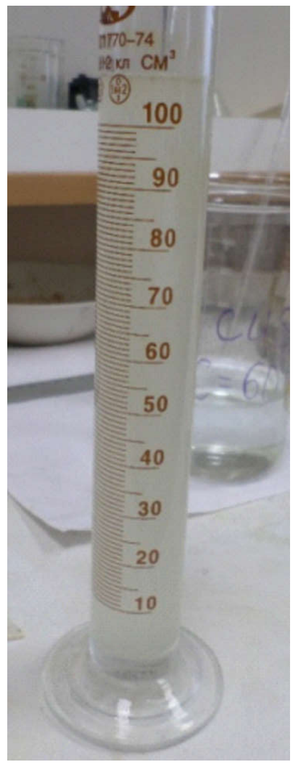
						БР.270800.62.06 - 2016 ОВ	
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт	
Изм	Колуч.	Лист	№док.	Подпись	Дата		
Разработал		Козлова С.А.				Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод	Стадия: У; Лист: 1; Листов: 6
Рук. ВКР		Хатрина Т.И.					
Консультант		Хатрина Т.И.					
Норм.контр.		Хатрина Т.И.				Зависимости выходных параметров от варьируемых факторов	Кафедра ИСЗиС гр.ИЭ12-21
Зав. каф.		Сакаш Г.В.					

Регулировочные диаграммы процесса электрокоагуляции нефтесодержащих сточных вод

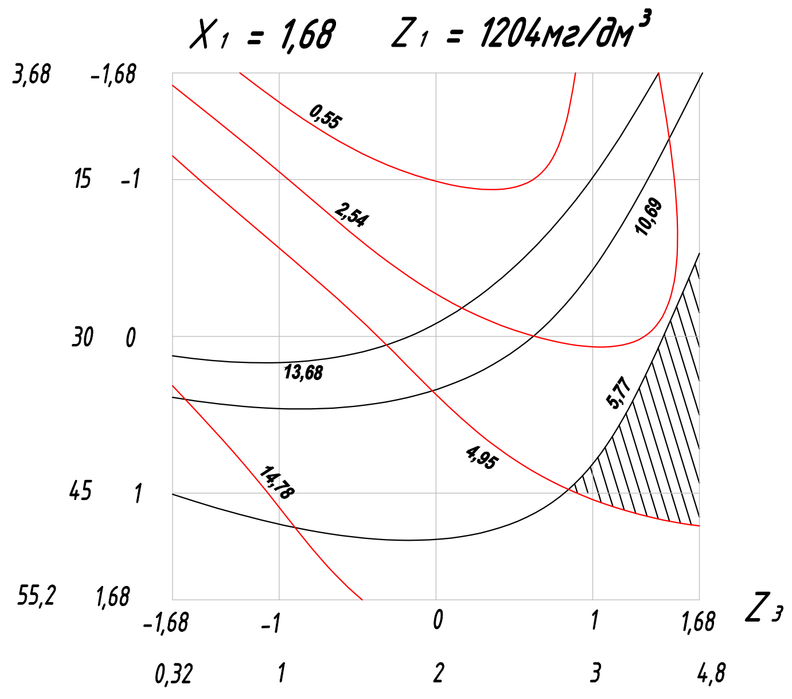


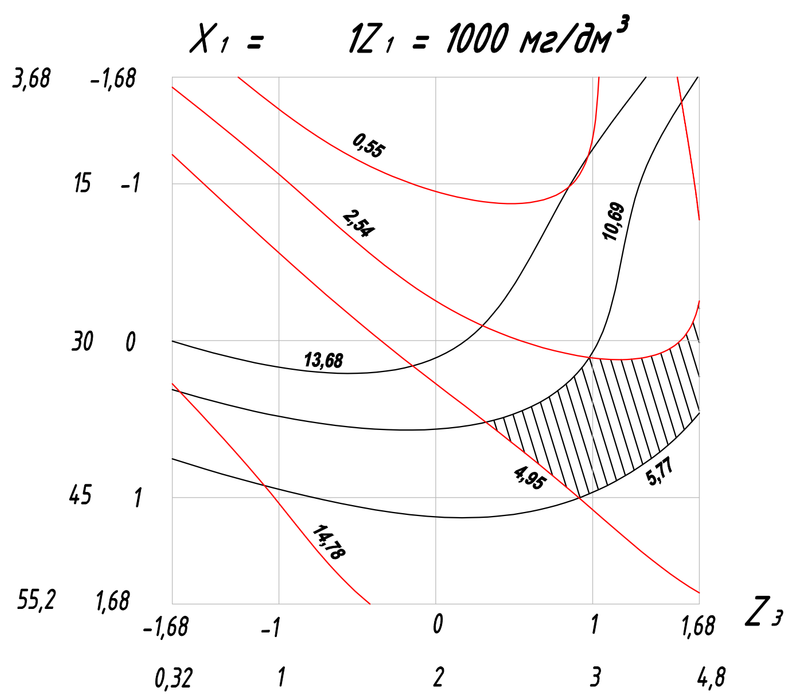


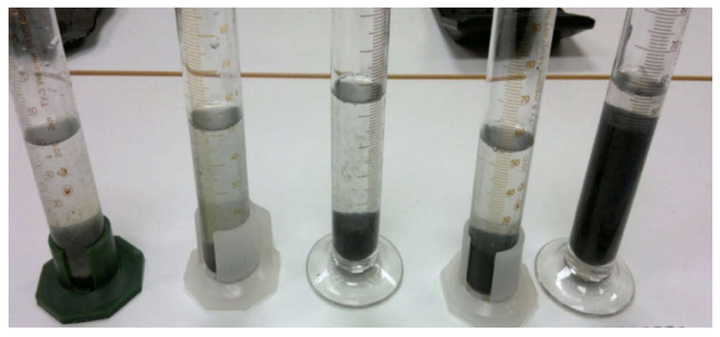




Фрагмент эксперимента







Фрагмент эксперимента

Условные обозначения

X_1- начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм^3;
X_2- плотность тока, А/м^2;
X_3- производительность, дм^3/мин;
Y_1-остаточное нефтесодержание, мг/дм^3;
Y_2-расход электроэнергии, кВт·ч/м^3.

Математические зависимости выходных параметров от варьируемых факторов выраженных в уравнениях регрессии в натуральном масштабе:

- для остаточного нефтесодержания

$$Y_1=6,052+0,0264Z_1-0,63Z_2+5,4Z_3-0,00021Z_1Z_2+0,14Z_2Z_3-0,0064Z_3Z_1+0,003Z_2^2-1,28Z_3^2$$

- для расхода электроэнергии

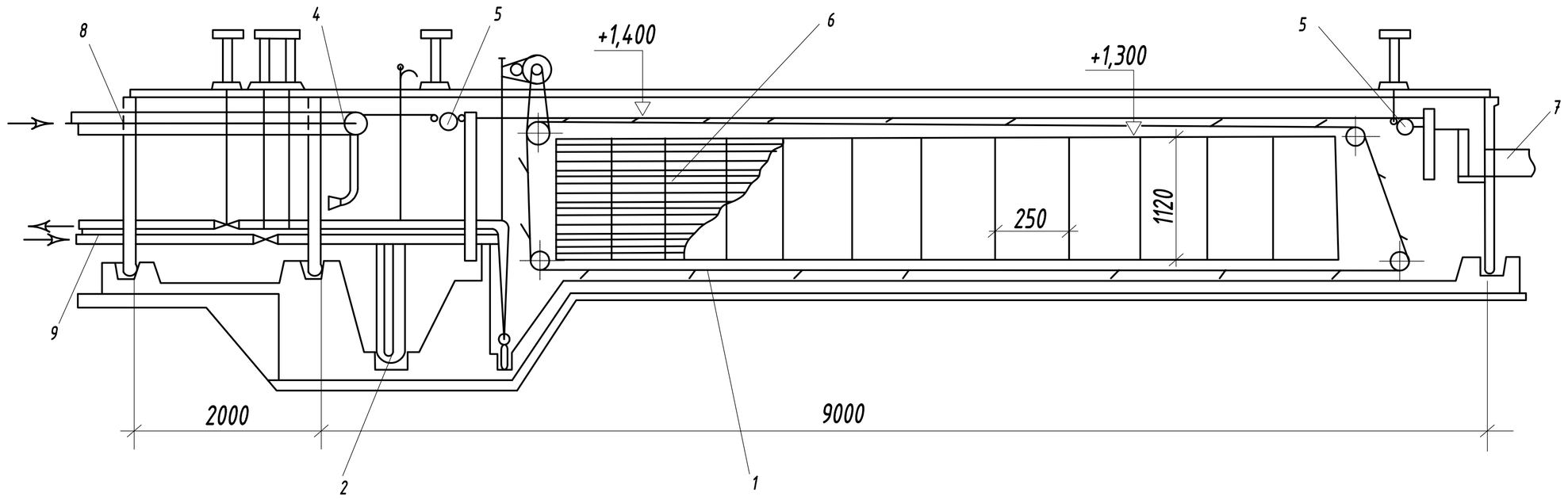
$$Y_2=3,159-0,0018Z_1+0,389Z_2-5,558Z_3-0,131Z_2Z_3+0,0009Z_3Z_1+0,0025Z_2^2+1,408Z_3^2$$

где Z_1 - начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм^3;
Z_2 - плотность тока, А/м^2;
Z_3 - производительность, дм^3/мин.

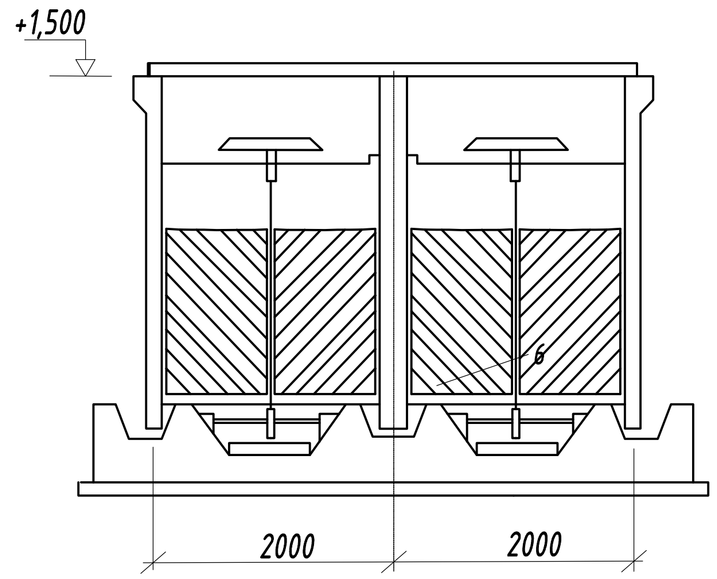
						БР.270800.62.06 - 2016 ОВ	
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт	
Изм	Колуч.	Лист	№док	Подпись	Дата		
Разработал		Козлова С.А.				Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод	Стадия: У; Лист: 2; Листов: 6
Рук. ВКР		Хатухина Т.И					
Консультант		Хатухина Т.И					
Норм.контр.		Хатухина Т.И				Регулировочные диаграммы процесса электрокоагуляции нефтесодержащих сточных вод	Кафедра ИСЗиС гр.ИЭ12-21
Зав. каф.		Сакаш Г.В.					

Нефтеловушка

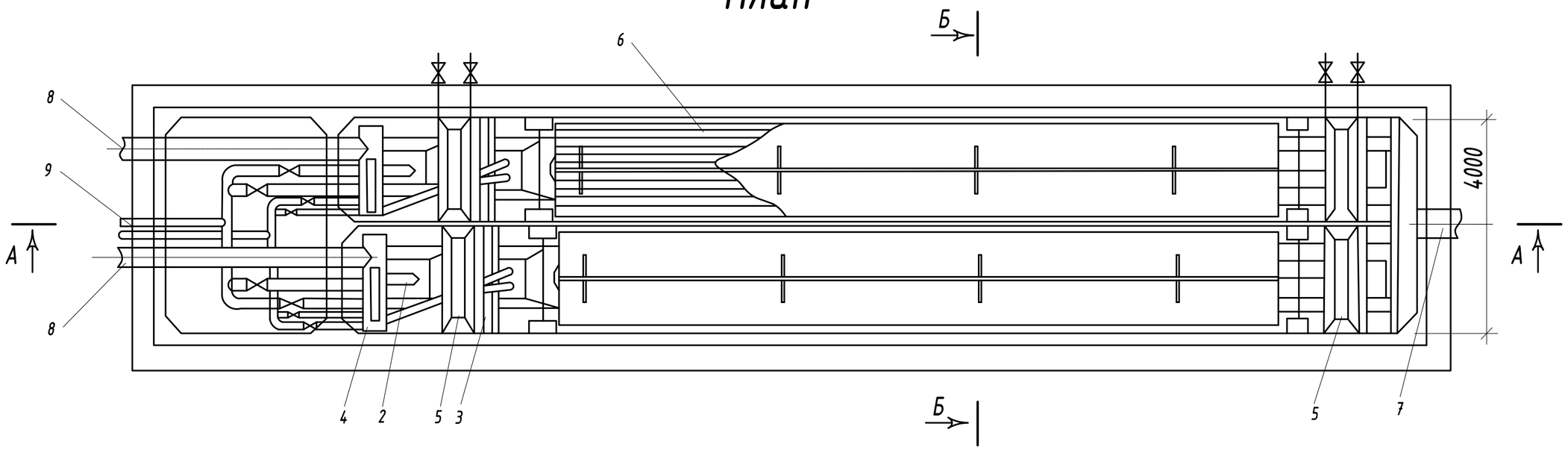
Разрез А-А



Разрез Б-Б



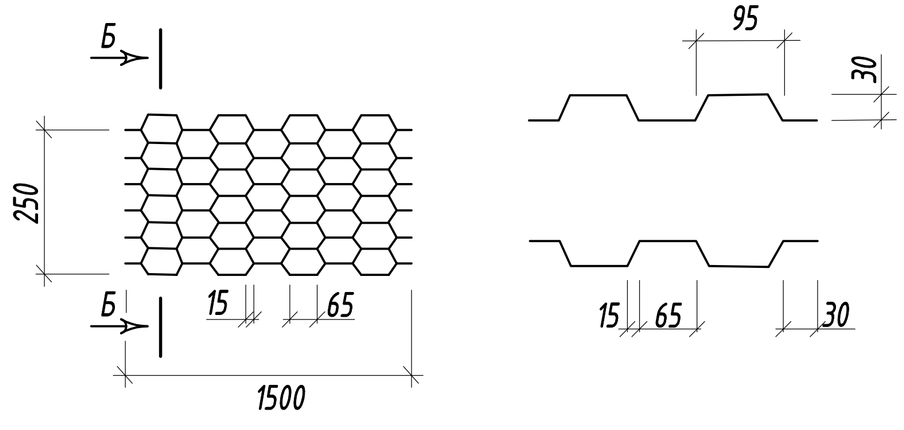
План



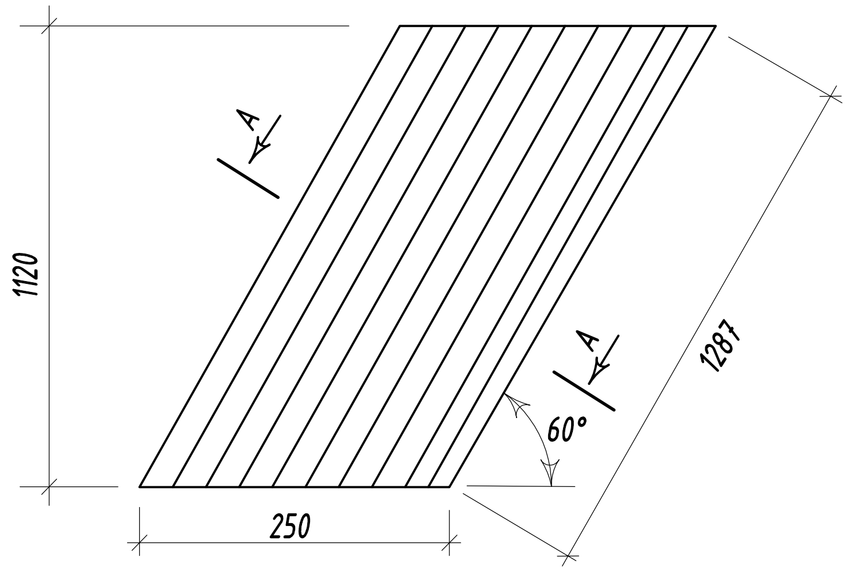
Экспликация	
Обозначение на чертеже	Наименование
1	Скребковый механизм
2	Гидроэлеватор
3	Распределительное устройство
4	Водораспределительная труба
5	Нефтесборная труба с ручным приводом
6	Тонкослойный модуль
7	Труба для отвода сточной жидкости
8	Труба для подачи сточной жидкости
9	Трубопровод для отвода осадка

Тонкослойный модуль

Разрез А-А



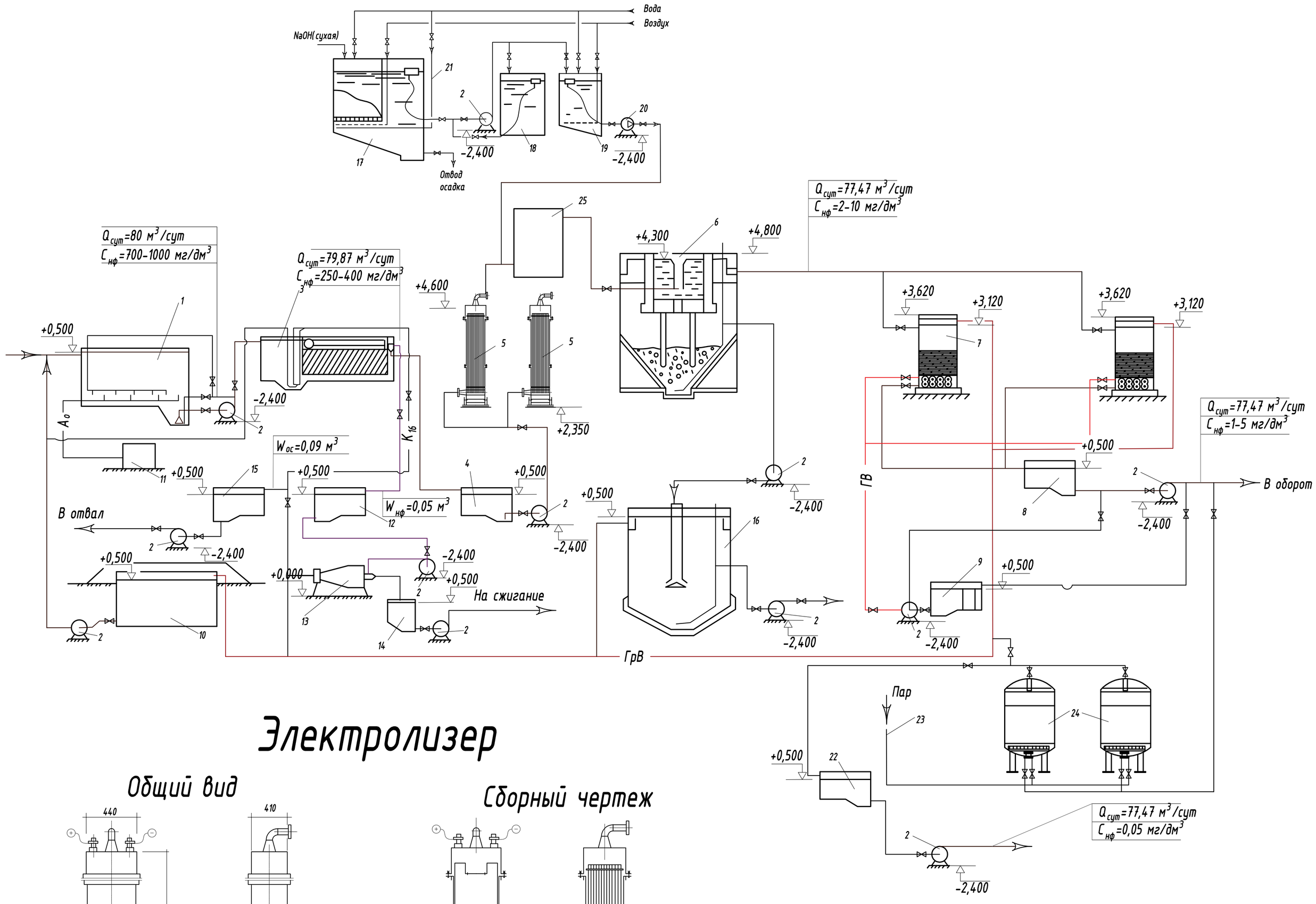
Разрез Б-Б



Условия нормальной работы нефтеловушки:
-равномерное распределение между секциями нефтеловушки сточных вод в количестве, не превышающем расчетный расход;
-регулярный сбор накопившейся нефти;
-своевременное удаление осадка.
Равномерность распределения потока достигается с помощью входных шиберов. О равномерности распределения потока судят визуально по высоте слоя воды на водосливе. Удаление осадка из приямков нефтеловушки производится гидроэлеватором.

						БР.270800.62.06 - 2016 ОВ	
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт	
Изм	Колуч.	Лист	№док.	Подпись	Дата		
Разработал		Козлова С.А.				Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод	Стадия: У; Лист: 3; Листов: 6
Рук. ВКР		Халтурина Т.И.					
Консультант		Халтурина Т.И.					
Норм.контр.		Халтурина Т.И.				Нефтеловушка	Кафедра ИСЗиС гр.ИЭ12-21
Зав. каф.		Сакаш Г.В.					

Технологическая схема очистки нефтесодержащих сточных вод



Спецификация

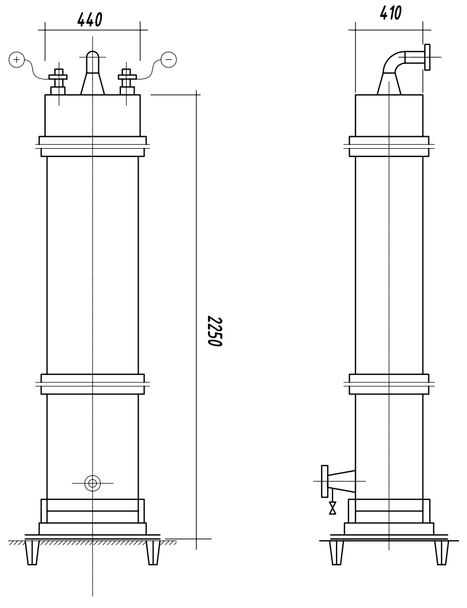
№п/п	Наименование	Примечание
1	Резервуар-усреднитель	3000х3500х2000
2	Насос	
3	Нефтеловушка	2000х9000х1500
4	Промежуточный резервуар	
5	Электролизер	440х410х2250
6	Отстойник с камерой хлопьеобразования	
7	Фильтр	d = 1000 мм
8	Резервуар чистой воды	W=11,44 м3
9	Резервуар горячей воды	W=0,11 м3
10	Резервуар грязной воды	W=0,22 м3
11	Воздуходувка	
12	Резервуар для пленочных нефтепродуктов	W=0,05 м3
13	Гидроциклон	
14	Резервуар обезвоженных нефтепродуктов	
15	Резервуар для замасленных взвесей	W=0,09 м3
16	Шламонакопитель	
17	Растворный бак	
18	Баки-хранилища	
19	Расходный бак	
20	Дозатор	
21	Трубопровод смыва осадка	
22	Резервуар глубоко очищенной воды	
23	Трубопровод для подачи острого пара	
24	Сорбционный фильтр	1000х3000
25	Воздухо-отделительная колонна	

Условные обозначения

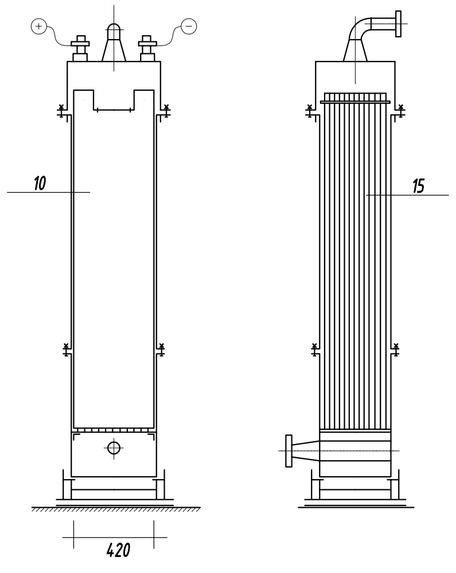
- ГВ — трубопровод горячей воды;
- ГрВ — трубопровод грязной воды;
- трубопровод пленочных отходов;
- K_{16} — трубопровод замасленных отходов;
- A_o — подача воздуха.

Электролизер

Общий вид



Сборный чертеж



Примечание: электрокоагулятор состоит из корпуса прямоугольной формы (440×240×2250 мм), изготовленного из листовой стали, с наклонным дном, крышкой и электродной системой. Электродные пластины, в количестве 11 штук, прямоугольной формы (420×1850 мм) установлены в блоки плоскопараллельно на одинаковом расстоянии друг от друга (10–20 мм). Объем жидкости над электродами не превышает 20 % общего объема электрокоагулятора.

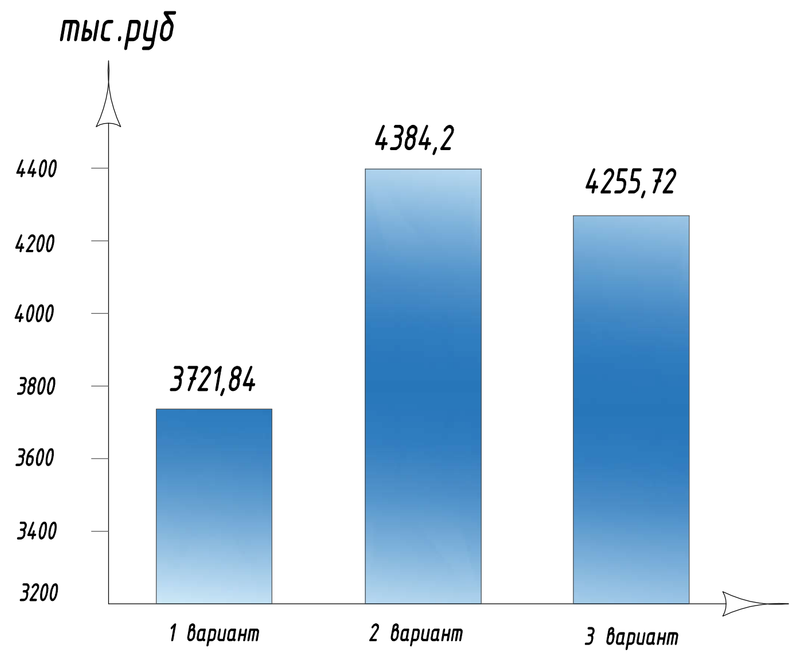
Изм	Колуч.	Лист	№док.	Подпись	Дата	БР.270800.62.06 – 2016 ОВ			
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт			
Разработал		Козлова С.А.				Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод	Стадия	Лист	Листов
Рук. ВКР		Халтурина Т.И.					У	4	6
Консультант		Халтурина Т.И.							
Норм.контр.		Халтурина Т.И.				Технологическая схема очистки нефтесодержащих сточных вод	Кафедра ИСЗиС гр.ИЭ12-21		
Зав. каф.		Сакаш Г.В.							

Технико-экономическое обоснование рационального метода очистки

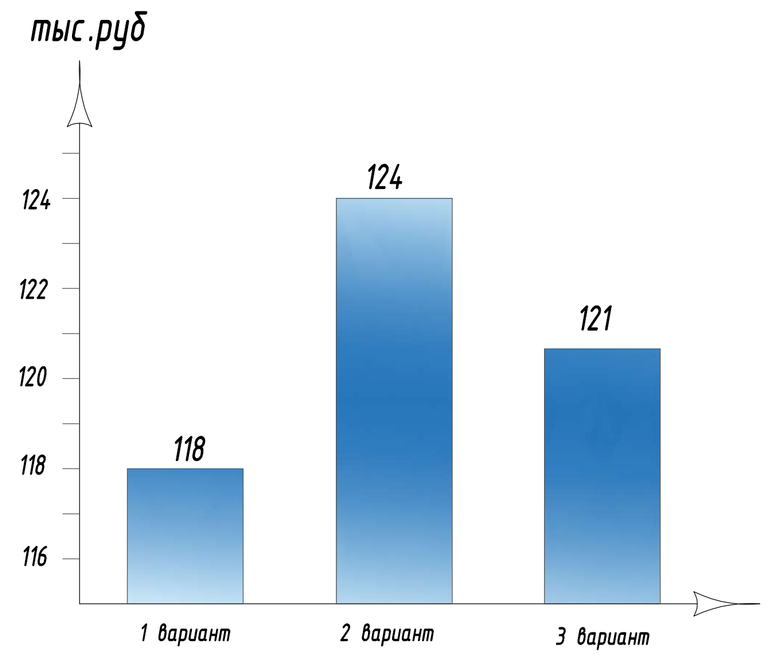
Технико-экономические показатели

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Инвестиционные проекты		
			1 вариант	2 вариант	3 вариант
1	Капитальные вложения	тыс.руб	3721,84	4384,2	4255,72
2	Эксплуатационные затраты	тыс.руб	1850,04	1874,39	1825,8
	реагенты	тыс.руб	379,24	432,7	379,24
	заработная плата	тыс.руб	673,01	673,01	673,01
	электроэнергия	тыс.руб	536,64	572,7	494,2
	текущий ремонт	тыс.руб	37,22	43,84	42,56
	амортизационные затраты	тыс.руб	74,44	87,68	85,12
	прочие	тыс.руб	149,49	152,14	151,63
3	Приведенные затраты	тыс.руб	2445,89	2575,86	2506,71
4	Себестоимость очистки $м^3$	руб	118	124	121
5	Модифицированные приведенные затраты	тыс.руб	3650,49	4384,1	4255,71
6	Срок окупаемости	год	3,25	3,58	3,67

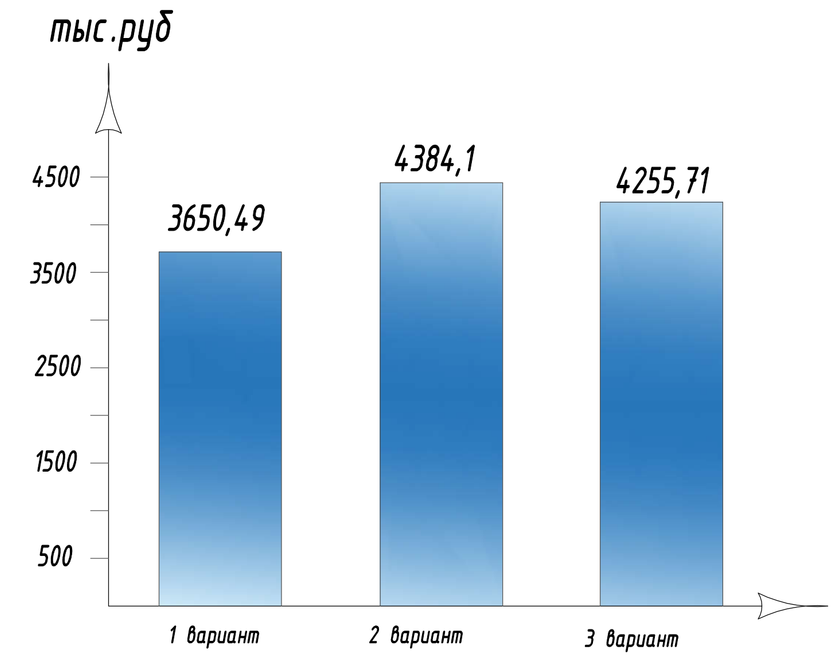
Капитальные вложения



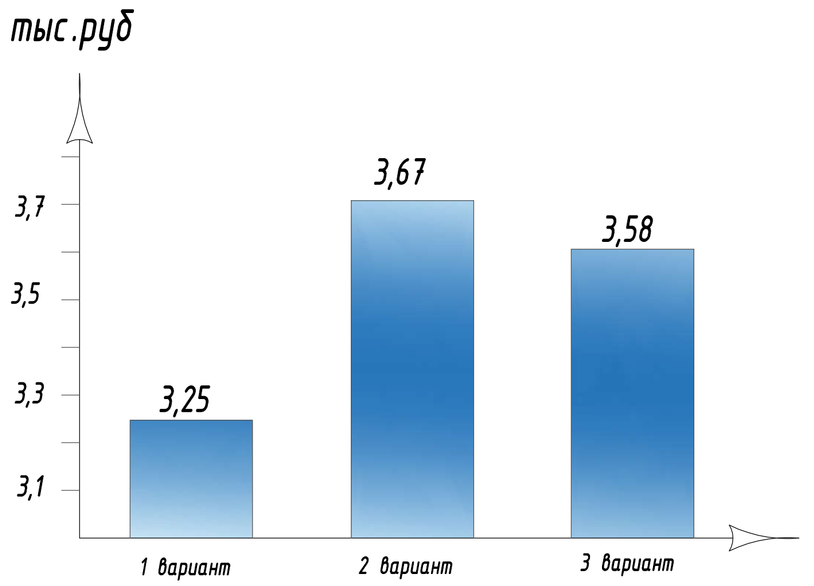
Себестоимость очистки



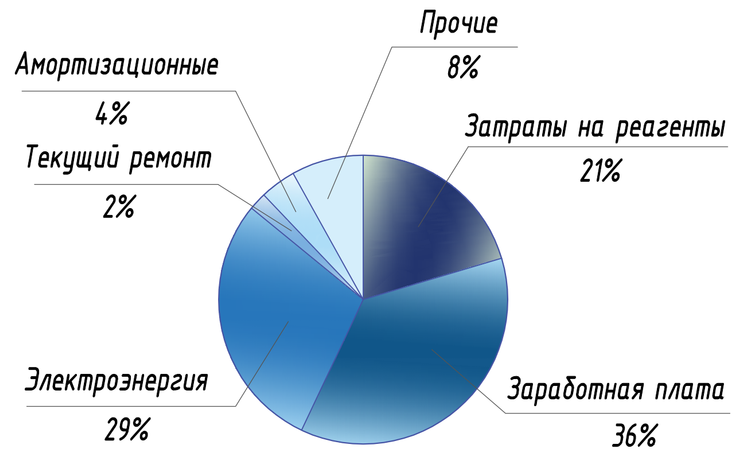
Модифицированные приведенные затраты



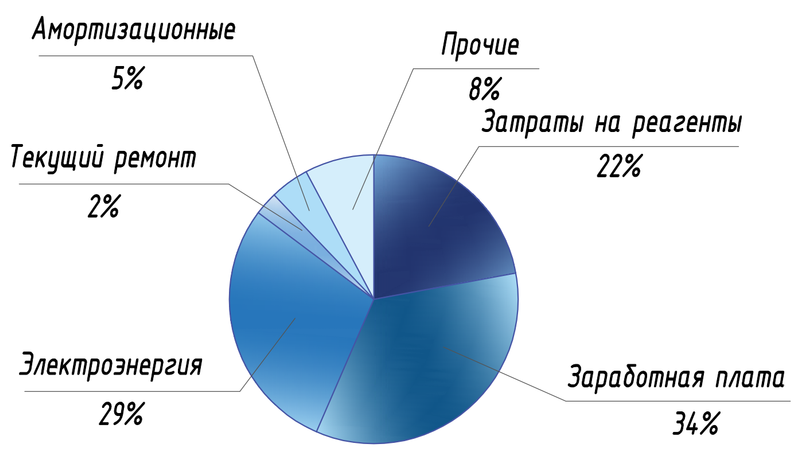
Срок окупаемости



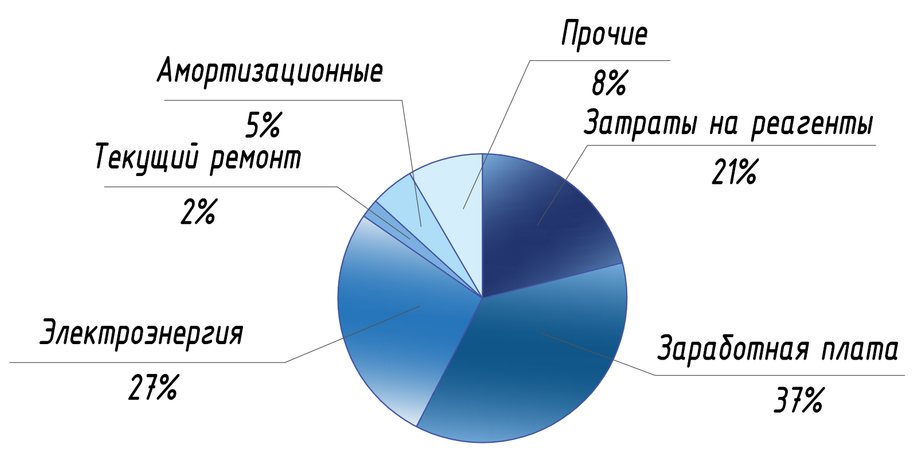
Метод электрокоагуляции



Метод реагентной обработки



Метод гальванокоагуляции

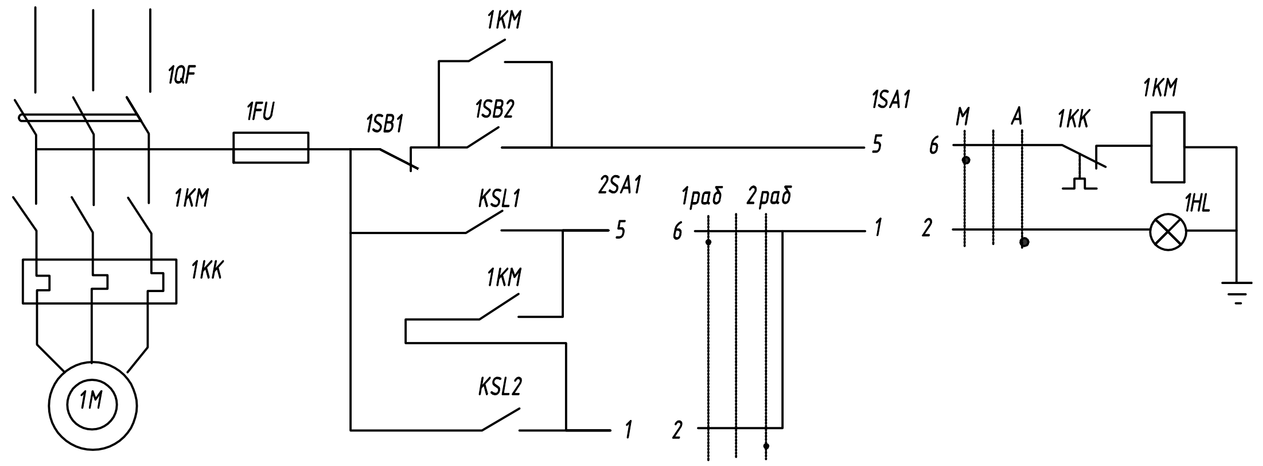


Примечание:
1 вариант - технологическая схема с применением метода электрокоагуляции;
2 вариант - применение реагентного метода;
3 вариант - применение метода гальванокоагуляции.

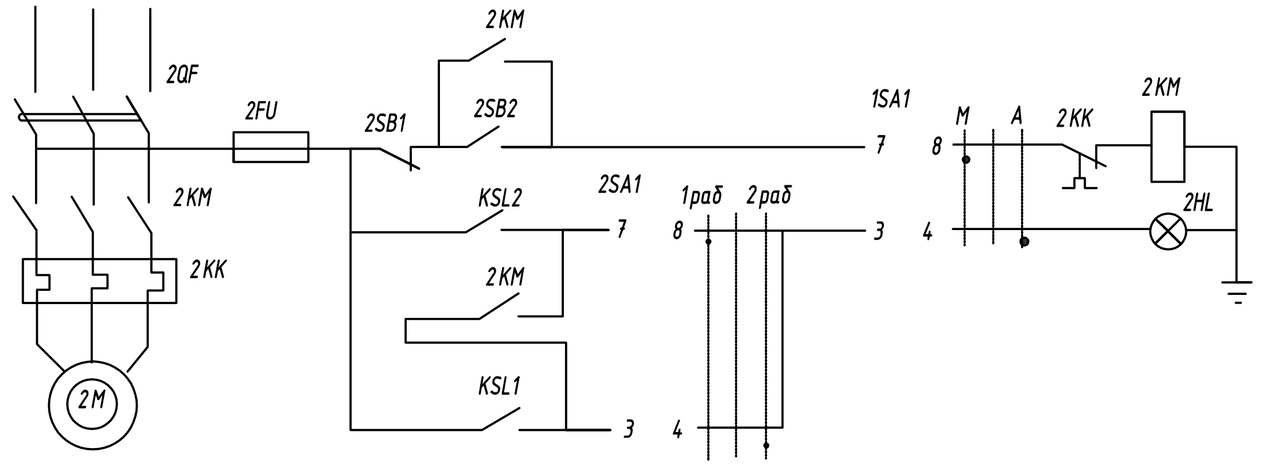
						БР.270800.62.06 - 2016 ОВ	
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт	
Изм	Колуч.	Лист	№док.	Подпись	Дата		
Разработал		Козлова С.А.				Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод	Стадия: У; Лист: 5; Листов: 6
Рук. ВКР		Халтурина Т.И.					
Консультант		Халтурина Т.И.					
Норм.контр.		Халтурина Т.И.				Технико-экономическое обоснование рационального метода очистки	Кафедра ИСЗиС гр.ИЭ12-21
Зав. каф.		Сакаш Г.В.					

Автоматизация водоочистных сооружений

Схема управления рабочих насосов



1	Цепи пуска
2	
3	Сигнализация включения
4	Включение рабочего насоса
5	Включение резервного насоса



6	Цепи пуска
7	
8	Сигнализация включения
9	Включение резервного насоса
10	Включение рабочего насоса

Примечание:

FU - плавкие предохранители. Защищают цепь от токов короткого замыкания.

QF - автоматический воздушный выключатель (автомат). Предназначен для защиты электрических цепей от коротких замыканий и перегрузки по току.

SA - переключатель режимов (ключ) управления. Предназначен для выбора режима: местное управление, автоматическое управление, режим опробования и т.д.

SB1 - кнопка управления (красного цвета), кнопка отключения.

SB2 - кнопка управления (черного цвета), кнопка включения.

K1 - реле.

KK - тепловые реле. Предназначены для защиты электродвигателей от перегрузки.

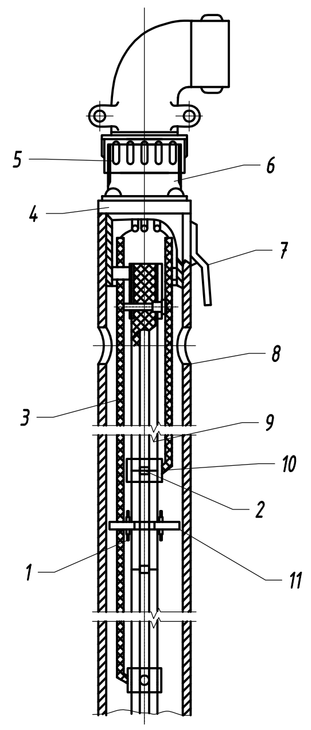
QS - путевые (конечные) выключатели.

KM - магнитные пускатели(контакторы).Предназначены для подключения электродвигателей к электрической сети при подаче напряжения на катушку магнитного пускателя.

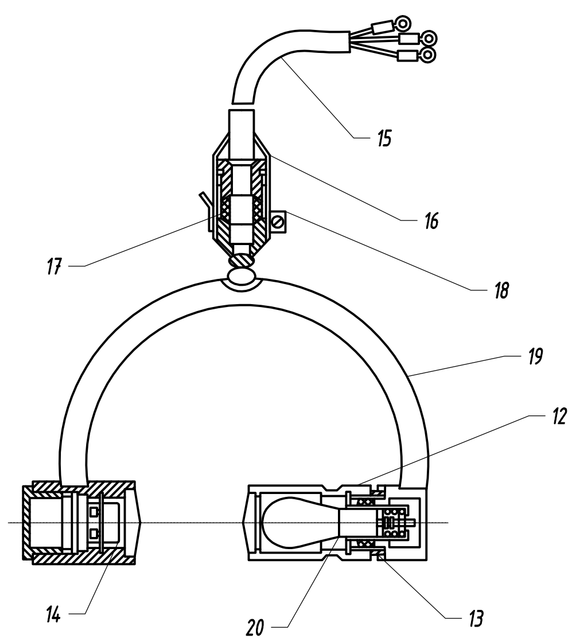
Спецификация

№п/п	Наименование	Примечание
1	Шплинт	
2	Винт	
3	Втулка	
4	Крышка	
5	Угловой штепсельный разъем	
6	Фигурная втулка	
7	Стальной крюк	
8	Защитная труба	
9	Изоляционный стержень	
10	Бронзовое кольцо	
11	Шпылька	
12	Защитный кожух	
13	Прокладка	
14	Фоторезистор	
15	Кабель	
16	Чехол	
17	Сальниковый ввод	
18	Хомут	
19	Корпус	
20	Осветительная лампа	

Электронный датчик уровня



Автоматический сигнализатор уровня осадка



Изм	Колуч.	Лист	№док	Подпись	Дата	БР.270800.62.06 - 2016 ОВ	
Разработал		Козлова С.А.				Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт	
Рук. ВКР		Хатухина Т.И				Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод	Стадия: У; Лист: 6; Листов: 6
Консультант		Хатухина Т.И					
Норм.контр.		Хатухина Т.И				Автоматизация водоочистных сооружений	Кафедра ИСЗиС гр.ИЭ12-21
Зав. каф.		Сакаш Г.В.					

ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную работу студентки группы ИЭ 12-21
Козловой Светланы Александровны
отделения строительства инженерной инфраструктуры и дорог
Инженерно-строительного института
Сибирского федерального университета
на тему «Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод»

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологии очистки нефтесодержащих сточных вод.

Работа состоит из пояснительной записки, представленной на 165 листах, состоящей из теоретической части, практической, расчетно-графической, 3^x приложений, 20 рисунков, 40 таблиц и 6 листов графического материала. Теоретическая часть подкреплена анализом изученных литературных источников и патентной документации (92 источника).

Выпускная квалификационная работа выполнена самостоятельно с соблюдением всех теоретических основ. В исследовании использовались данные реального научного эксперимента по электрообработке сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты постоянным током.

Каждая часть работы сочетает в себе имеющийся теоретический курс и практический, что позволяет точно отобразить всю глубину раскрываемого вопроса.

Научная часть работы является логическим продолжением теоретического материала. Большой практический материал подтверждает и обосновывает выводы и предпосылки, представленные в работе.

Экспериментальные исследования выполнены при планировании эксперимента по методу Бокса-Хантера, что позволило получить математическую модель процесса очистки стоков. С помощью проведенной оптимизации эксперимента диссоциативно-шаговым методом получены регулировочные диаграммы процесса электрообработки.

Выпускная квалификационная работа содержит расчеты сооружений станции очистки, технико-экономическое обоснование, для выбора наиболее рациональной схемы, раздел автоматизации.

Данные исследования позволяют внести вклад в решение вопросов по защите окружающей природной среды от негативного воздействия сбрасываемых недостаточно очищенных сточных вод.

Выпускная квалификационная работа Козловой С.А. выполнена на высоком научном уровне, имеет практическое значение и заслуживает оценки «отлично».

Руководитель
канд. хим. наук, профессор Т. И. Халтурина

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

660049, Красноярск, пр. Свободный ,79/10, тел.(3912) 2-912-820, факс (3912) 2-912-773
E-mail: bik@sfu-kras.ru

ОТЧЕТ
о результатах проверки в системе «АНТИПЛАГИАТ»

Автор: Козлова Светлана Александровна
Заглавие: Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод
Вид документа: Выпускная квалификационная работа бакалавра

По результатам проверки оригинальный текст составляет 89,78%

Источник	Коллекция / модуль поиска	Ссылка на источник	Доля в отчете	Доля в тексте
	citations		0,13	0,13
Руденко, Татьяна Михайловна диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Новосибирск 2008	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004248000/rsl01004248330/rsl01004248330.pdf	3,42	3,42
Курилина, Татьяна Александровна диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Новосибирск 2010	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004639000/rsl01004639059/rsl01004639059.pdf	0,15	0,82
Хомутова, Юлия Викторовна диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Новосибирск 2005	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002852000/rsl01002852325/rsl01002852325.pdf	0,12	0,59
Чурбакова, Ольга Викторовна диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Новосибирск 2001	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002278000/rsl01002278185/rsl01002278185.pdf	0,09	0,52
Трусова, Валентина Валерьевна диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Иркутск 2014	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01007000000/rsl01007523000/rsl01007523119/rsl01007523119.pdf	0,34	0,5
Сабитова, Зиля Шафигулловна на примере месторождения Куль-Юрт-Тау : диссертация ... кандидата технических наук : 03.00.16 Уфа 2010	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004725000/rsl01004725352/rsl01004725352.pdf	0,34	0,38
Набиев, Андрей Талибжанович на примере машиностроительного и горнорудного предприятий Республики Башкортостан : диссертация ... кандидата технических наук : 03.00.16 Уфа 2010	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004709000/rsl01004709067/rsl01004709067.pdf	0,05	0,37
Кирюшина, Наталья Юрьевна диссертация ... кандидата технических наук : 03.02.08 Белгород 2011	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005375000/rsl01005375881/rsl01005375881.pdf	0,02	0,36

Источник	Коллекция / модуль поиска	Ссылка на источник	Доля в отчете	Доля в тексте
Жалсанова, Дарима Баиновна На примере красителей и фенолов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Улан-Удэ 2000	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01000000000/rsl01000268000/rsl01000268957/rsl01000268957.pdf	0,01	0,36
Домрачева, Валентина Андреевна диссертация ... доктора технических наук : 25.00.13 Иркутск 2006	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01003000000/rsl01003315000/rsl01003315498/rsl01003315498.pdf	0,07	0,34
Смородин, Александр Павлович диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Пенза 2000	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01000000000/rsl01000294000/rsl01000294758/rsl01000294758.pdf	0,05	0,17
Маниева, Венера Ильинична диссертация ... кандидата технических наук : 05.18.04 Улан-Удэ 2000	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01000000000/rsl01000286000/rsl01000286089/rsl01000286089.pdf	0	0,17
Юрко, Анастасия Владимировна диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Волгоград 2010	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004641000/rsl01004641987/rsl01004641987.pdf	0,1	0,16
Топорков, Антон Владимирович диссертация ... кандидата технических наук : 03.02.08 Самара 2011	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005394000/rsl01005394617/rsl01005394617.pdf	0	0,14
Урванцева, Марина Игоревна диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Новосибирск 2011	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005111000/rsl01005111383/rsl01005111383.pdf	0	0,12
Вайншток, Платон Николаевич диссертация ... кандидата технических наук : 03.02.08 Уфа 2014	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01007000000/rsl01007527000/rsl01007527068/rsl01007527068.pdf	0,12	0,12
Руш, Елена Анатольевна диссертация ... доктора технических наук : 25.00.36 Иркутск 2004	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002752000/rsl01002752604/rsl01002752604.pdf	0	0,11
Райзер, Юлия Сергеевна диссертация ... кандидата технических наук : 07.00.10, 02.00.13 Уфа 2010	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004895000/rsl01004895092/rsl01004895092.pdf	0,06	0,06
Ким, Аркадий Николаевич диссертация ... доктора технических наук : 05.23.04 Санкт-Петербург 1998	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01000000000/rsl01000242000/rsl01000242419/rsl01000242419.pdf	0,05	0,05
Алёшин, Александр Викторович диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 Ростов-на-Дону 2011	disser.rsl	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004976000/rsl01004976450/rsl01004976450.pdf	0	0,04
	internet	http://bib.convdocs.org/v34727/?download=1#2	0,66	1,14
	internet	http://bib.convdocs.org/v34729/?download=1#4	0,96	1,14
Расчет и проектирование насосных станций 3 страничка на REFVIP.RU	internet	http://refvip.ru/ref_7d4b28fc2d372815ca72d5dff3e17132.html	0,82	0,91

Источник	Коллекция / модуль поиска	Ссылка на источник	Доля в отчете	Доля в тексте
	internet	http://www.sibstrin.ru/uploads/dissertation/_4094083.rar	0,2	0,84
	internet	http://bib.convdocs.org/v34729/?download=1#3	0,15	0,83
	internet	http://bib.convdocs.org/v34729/?download=1#2	0,36	0,79
Тема 5. ПЛАТЕЖИ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА - Тема охрана окружающей среды при эксплуатации предприятия	internet	http://l.120-bal.ru/geografiya/20151/index.html?page=5	0,46	0,6
Определение объемов земельных работ 3 страничка на REFVIP.RU	internet	http://refvip.ru/ref_b8005fdb6484d98f3db4af78f132cc70.html	0,46	0,46
Разработка коалесцентно-мембранного метода разделения водо-масляных эмульсий (2/2)	internet	http://diplomba.ru/work/130644#2	0,2	0,38
Реферат: Водоснабжение - BestReferat.ru - Банк рефератов, дипломы, курсовые работы, сочинения, доклады	internet	http://bestreferat.ru/referat-57592.html	0,2	0,37
Расчет и проектирование станций водоподготовки. Диплом. Читать текст online -	internet	http://bibliofond.ru/view.aspx?id=519545	0,17	0,33
301-001037.pdf	internet	http://lib.sfi.komi.com/ft/301-001037.pdf#1	0	0,31
Техника улучшения качества природных вод	internet	http://knowledge.allbest.ru/ecology/2c0a65635a3bc68a4d43a89521316c27_0.html	0,08	0,3
РАСЧЕТ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯТОРА	internet	http://studopedia.net/19_108978_raschet-galvanokoagulyatora.h	0,06	0,22
ТЕНДЕНЦИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД	internet	http://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-intensifikatsii-fiziko-himicheskih-sposobov-ochistki-neftesoderzhaschih-vod	0,11	0,15
	internet	http://window.edu.ru/resource/524/28524/files/ustu131.pdf	0,09	0,09
Импульсный барьерный разряд как метод обработки воды: активные частицы7окислители в водо7воздушном потоке - тема научной статьи по физике, читать бесплатно текст научно-исследовательской работы в электронной библиотеке КиберЛенинка	internet	http://cyberleninka.ru/article/n/impulsnyy-bariernyy-razryad-kak-metod-obrabotki-vody-aktivnye-chastitsy7okisliteli-v-vodo7vozdushnom-potoke	0,08	0,08
Моделирование, расчет и проектирование кассетных патронных магнитных сепараторов для очистки больших объемов водных технологических жидкостей / Е. М. Булыжев, Е. Н. Меньшов, Н. Н. Кондратьева, А. Ю. Богданов, Э. Е. Булыжев; под общей редакцией Е. М....	internet	http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2012/Bulyzhev.pdf	0	0,05

Источник	Коллекция / модуль поиска	Ссылка на источник	Доля в отчете	Доля в тексте
	internet	http://window.edu.ru/resource/885/36885/files/stup111.pdf	0	0,04
Сорбция и извлечение органических поллютантов из воды на углеродсодержащих материалах + " - скачать бесплатно автореферат диссертации по " + биологии + ", специальность " + Экология (2/2)	internet	http://earthpapers.net/sorbtsiya-i-izvlechenie-organicheskih-pollyutantov-iz-vody-na-uglerodsoderzhaschih-materialah#2	0	0,04
Бурба_2 глава	sfukras		0,02	0,05
Федеральное государственное автономное образовател.txt	sfukras		0	0,05

Частично оригинальные блоки: 10,22%
Оригинальные блоки: 89,78%
Заимствование из белых источников: 0,13%
Итоговая оценка оригинальности: 89,91%

Подготовлено автоматически с помощью системы «Антиплагиат»
дата: 24.06.2016