



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
1 Обзор существующих методов очистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий.....	6
1.1 Характеристика нефтепродуктов .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.2 Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов.....	6
1.3 Выводы и выбор метода совершенствования процесса очистки нефтесодержащих сточных вод.....	26
2 Исследования технологического процесса реагентной очистки нефтесодержащих сточных вод.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.1 Планирование эксперимента и обработка результатов экспериментальных исследований.....	42
2.2 Анализ зависимостей.....	48
2.3 Оптимизация моделей диссоциативно-шаговым методом.....	53
3 Автоматизация технологического процесса флотации.....	27
3.1 Анализ автоматизации технологических процессов очистки сточных вод.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1.1 Общие сведения АСУ ТП очистки сточных вод.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1.2 Флотационная очистка нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1.3 Принцип работы флотационной очистки.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1.4 Флотатор как объект управления .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1.5 Теоретические основы флотационного процесса.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

3.2 Проектирование и имитационное моделирование системы.....	28
3.2.1 Разработка структурной схемы .....	28
3.2.2 Функциональные и структурные схемы автоматизации процессов	<b>Ошибка! З</b>
3.2.3 Построение компьютерной модели .....	36
3.2.4 Имитационное моделирование системы .....	38
4 Усовершенствование технологической схемы очистки .....	57
нефте содержащих сточных вод.....	57
4.1 Общие сведения .....	57
4.2 Традиционная схема очистки нефте содержащих сточных вод .....	58
4.3 Усовершенствованная схема очистки нефте содержащих сточных вод.....	58
4.4 Техничко-экономические показатели .....	64
4.4.1 Расчет капитальных вложений .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.4.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат	<b>Ошибка! Закладка не определена</b>
4.4.3 Расчет приведенных затрат .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.4.4 Себестоимость очистки 1м <sup>3</sup> воды ....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.4.5 Эффективность инвестиций.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день нефть является неотъемлемым продуктом нашей жизни. Данный ресурс входит в число самых востребованных и распространённых. Нефть является проводником к комфортной жизнедеятельности людей всего света. Но высокий уровень и широкие возможности применения нефти, также увеличивают техногенные воздействия на окружающую среду. Продукты отхода от данного ресурса являются одними из самых опасных и сложно - удаляемых. Они оставляют существенную часть проблем поддержания нормального качества и жизни природной воды. Попадание нефти в природную воду происходит по разным причинам (техногенные аварии, недостаточно очищенные сточные воды, недобросовестные предприятия, сбрасывающие неочищенные отходы и т.д). Попадание нефти в природные источники могут привести к катастрофическим последствиям. Поэтому данная проблема защиты природных вод от нефтепродуктов является весьма актуальной, и требует глубоких исследований и изучений, для наиболее эффективного и качественного процесса защиты окружающей среды.

Целью выпускной квалификационной работы является расширение автоматизации процесса очистки нефтесодержащих сточных вод.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1) анализ литературных источников, публикаций по технологическим процессам очистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий.

2) предложение усовершенствованной автоматизированной системы очистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий;

3) моделирование рабочего процесса системы управления процессом флотации в программной среде SimInTechnic.

4) экспериментальные исследования реагентной очистки сточных вод, для выявления характера проведённых процессов и последующего математического моделирования.

Актуальность работы заключается в расширении автоматизации процесса очистки нефтесодержащих сточных вод. Выявление и создание наиболее рациональных и эффективных способов очистки.

Научная новизна заключается в разработке функциональной, структурной схем, имитационной модели процесса очистки нефтесодержащих сточных вод напорной флотацией, и разработки модели системы автоматического управления.

# **1 Обзор существующих методов очистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий**

## **1.1 Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов**

Нефтепродукты - различные углеводородные фракции, получаемы путем перегонки нефти. Осуществление перегонки нефти заключается не только в получении таким образом разных видов топлива (бензина, керосина, мазута и т.д), но и для разных химических веществ, извлекаемые из нефти.

Основную группу нефтепродуктов составляют различные виды топлива. Нефтяные масла, применяемые для уменьшения силы трения и снижения износа, представляют собой вторую группу нефтепродуктов. Третья группа – углеродные и вяжущие материалы – кровельно изоляционные. Четвертая группа это нефтехимическое сырье – “твердые углеводороды” (парафин, церезин, растворители и др.) [4].

Нефтепродукты включены в группу наиболее опасных загрязнителей водоемов. Нефтепродукты обладают малой растворимостью в воде, поэтому плохо подвергаются естественному разложению. Пленка, образуемая на поверхности воды, препятствует нормальному растворению атмосферного кислорода. Также нефтепродукты оказывают сильное токсическое воздействие на организмы.

В основе всех существующих схем очистки нефтесодержащих сточных вод лежат следующие методы: механические; биохимические; физико-химические и электрохимические.

Механическая очистка – самый простой метод очистки нефтесодержащих сточных вод. Эффективность данного метода зависит от крупности и степени

загрязнения. Высокая эффективность достигается при очистке сточной воды от плавающей нефти и нефтешламов. Применение метода для очистки от растворенной или эмульгированной нефти является нецелесообразным.

Песколовки. Применяются для задержания крупных частиц нефтепродуктов. Дополнительно оборудуются устройствами для сбора выпавшей и всплывающей нефти. Эффективность может достигать до 75%.

Нефтеловушки. Основная часть нефтепродуктов удаляется нефтеловушками. Эффект очистки достигает до 90-95%. Механизм очистки основан на похожем принципе песколовок, на разности плотности нефтепродуктов и воды. Нефтеловушка может быть оборудована дополнительными устройствами для повышения качества очистки (тонкослойными модулями, угольными фильтрами). Применение тонкослойных модулей может помочь исключить устройство дополнительных зон отстаивания.

Тонкодиспергированные и эмульгированные нефтепродукты, оставшиеся в сточной воде, выделяются фильтрованием. Наибольшую популярность для очистки обрела фильтрующая среда из кварцевого песка и антрацитовой крошки, а также загрузки из керамзита и полимерных материалов.

Механическая очистка, в основном, служит первой ступенью очистки сточных вод, после которых используются более глубокие методы очистки. К ним относят методы коагуляционной, флотационной и сорбционной очистки сточных вод [6].

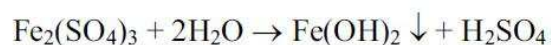
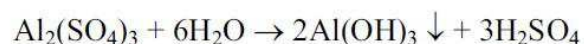
Физико-химические методы очистки применяются для доочистки сточных вод, прошедших этап механической очистки, содержащие растворенные и эмульгированные нефтепродукты. Очистка таких веществ возможна только путем укрупнения частиц загрязнений, с последующим их отделением от воды. Осуществить укрупнение частиц загрязнений возможно с помощью коагуляции, электрокоагуляции, флокуляции и других методов.

Одним из методов укрупнения растворенных частиц является коагуляционный метод. Коагуляционный метод заключается в взаимодействии частиц загрязнений друг с другом, и объединения в агрегатные частицы. После механической очистки нефтепродукты образуют эмульсионную систему, устойчивость которой определяется степенью дисперсности и поверхностями свойствами частиц. С помощью гетеро- или электрокоагуляции такая устойчивость может быть нарушена. Гетерокоагуляция - добавляются осаждающие или эмульгирующие вещества, образующие малорастворимые в воды мелкокристаллические или аморфные структуры. В качестве коагулянтов используют известь в чистом виде, и ее смесь с углекислым газом, а также с солями хлорного железа и алюминия, с соединениями кальция с глиной, хрома, серной кислотой или сульфатом меди, алюминат натрия и т.д. В нашей стране чаще всего применяется сульфат алюминия, сульфат двухвалентного железа. Дозы устанавливаются экспериментальным путем. [7,8].

Процессы, происходящие при введении минеральных коагулянтов:

- снижается устойчивость дисперсной системы под действием введенной соли;
- сорбция ионов на поверхности частиц;
- образования хлопьевидных структур, нового малорастворимого соединения, являющегося центром, включающих частицы эмульсионной системы.

Основной процесс определяющий эффективность очистки воды коагуляцией – образование малорастворимых гидроксидов, путем гидролиза солей алюминия и железа.



В условиях оптимального значения pH уменьшается расход коагулянтов.



Преимущества данного метода:

- простота необходимого оборудования;
- низкая стоимость установки очистного оборудования;
- чувствительность к колебаниям качества сточных вод;
- возможность прерывать процесс в случае отсутствия поступающих сточных вод и возобновить его при поступлении стоков. Перерывы при это не влияют на протекание процесса [11].

Недостатки:

- Расход коагулянтов;
- образование больших объемов осадка большой влажности, труднообезвоживаемых;
- повышенное содержание ионов  $\text{SO}_4^{-2}$  и  $\text{Cl}^-$  в очищенной воде, которые затем приводят к коррозии систем оборотного водоснабжения [12].

Флокуляция применяется для интенсификации процесса коагуляции. Флокулянты увеличивают процесс хлопьеобразования, скорость осаждения, и повышают качество очистки. Флокулянты бывают органического и неорганического происхождения. Группы флокулянтов [13]:

- 1) неионогенные (крахмал, поливиниловый спирт, и др.);
- 2) анионные (активная кремниевая кислота, полиакрилат натрия, и др.);
- 3) катионные (полиэтиленамин, четвертичные аммониевые соли на основе полистирола и др.);
- 4) амфотерные, то есть, содержащие одновременно и анионные и катионные группы (полиакриламид, белки и др.).

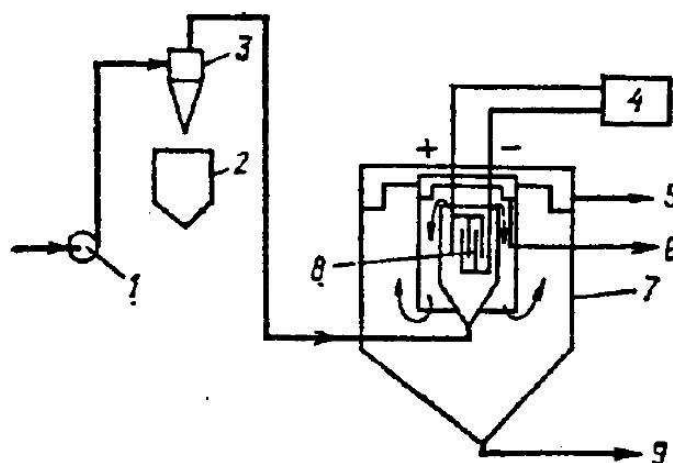
От состава сточных вод зависит скорость и процесс флокуляции. Также скорость зависит от температуры, интенсивности перемешивания и последовательность введения реагентов.

Отделение хлопьевидного осадка осуществляют отстаиванием, фильтрованием и напорной флотацией [12-15].

Наряду с оптимизацией параметров, влияющих на процесс гетерокоагуляции (перемешивание, температура, магнитные и электрические поля и т.д.) постоянно идет поиск новых, более эффективных реагентов.

Электрокоагуляция. Метод электрокоагуляции основан на физикохимическом процессе оседания коллоидных систем при воздействии на них постоянным электрическим током. Данный метод удаляет растворенные и взвешенные примеси органического и неорганического происхождения с помощью электролиза сточных вод с использованием растворимых электродов анодов, выполненных из железа или алюминия [8,16,17,18].

На рисунке 1 представлена установка электрокоагуляционной очистки.



1 – насос; 2 – бункер для осадка; 3 – гидроциклон; 4 –  
выпрямитель;

5 – очищенная вода; 6 – уловленные нефтепродукты;

7 – вертикальный отстойник; 8 – электродный блок; 9  
– осадок

Рисунок 1.1 – Установка электрокоагуляционной очистки

Сущность процесса в том, что при наложении электрического поля поляризуется двойной ионный слой частицы, и она перемещается к электроду,

имеющему противоположный заряд, то есть происходит поляризационная коагуляция дисперсных частиц.

Широко распространенным реагентным методом является адсорбция. Адсорбция – это практически единственный метод, позволяющий очистить сточные воды от нефтепродуктов до требуемого уровня без вторичных загрязнений [7].

Адсорбенты – природные и искусственные пористые материалы. Все выпускаемые адсорбенты должны удовлетворять стандартным показателям: прочность на истирание, сорбционная емкость и др.

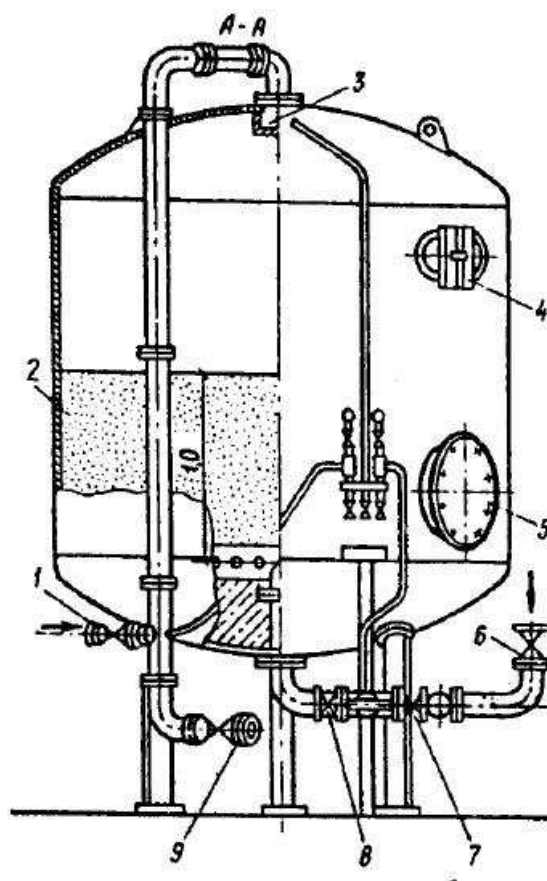
Для доочистки сточных вод от нефтепродуктов используют асбестосодержащий материал – отходы от производства асбестовых бумаг и картона ; пористый полимерный сорбент-сополимер стирола и дивинилбензола ; пенополиуретан, в который введен гранулы ферромагнитного материала размером 0,01-0,1 мм в количестве 0,02-0,08% для фильтрования в магнитном поле ; сорбент на основе базальтового волокна и гидрофобизатора – кремний или органические гидрофобизирующие соединения – 2-15% [37]; древесные стружки, опилки, волокна, помещенные в пористые тканые оболочки и др.

Наиболее используемым материалом считается гранулированный активированный уголь, с размером частиц 0,10 мм на 85-99% состоящий из углеродов, со способностью самостоятельно отделиться от воды. [41] Исходное сырье - любые углеродосодержащие материалы: торф, уголь, древесина и т.д. [37,39-42]. В нашей стране, из-за сложного процесса изготовления, активированный уголь используется многократно. Наиболее приемлемы для очистки воды угли типа КАД-иодный, АГ-3, БАУ, ДАК, АГМ. БАУ и ДАК эффективны при адсорбции нефтепродуктов. АГМ и АГ-3 – при доочистке биохимически очищенных сточных вод [45].

Плотный слой гранулированных активных углей оборудуется в напорные фильтры, перед которыми расположены механические фильтры (рисунок 7).

Двухступенчатое фильтрование применяется при глубокой очистке нефтесодержащих сточных вод

Напорные фильтры используются комбинацией из трех фильтров из которых два рабочих, один резервный. Исходную воду подают в первый адсорбер, доочистку проводят во втором. При полной отработке первый отключают на регенерацию, и подключают резервный [48].



1 – трубопровод для подачи воды на очистку; 2 – слой зернистого фильтрующего материала;

3 – верхнее распределительное устройство; 4 – контрольный эллиптический лаз;

5 – круглый лаз; 6 – трубопровод для подачи промывной воды; 7 – трубопровод для отвода первого фильтрата; 8 – трубопровод для отвода очищенной воды;

9 – трубопровод для отвода промывной воды; 10 – трубопровод сжатого воздуха;

11 – штуцер для гидравлической выгрузки и загрузки фильтрующего материала

Рисунок 1.7 – Напорный фильтр с зернистой загрузкой

## **1.2 Анализ предшествующих исследований**

### **Современные методы очистки сточных вод**

В статье рассмотрена природа сточных вод, проведена оценка степени их загрязнения, а также предложен ряд методов по водоочистке, ставшей одной из лидирующих и наиболее актуальных проблем нашего времени. В связи с ситуацией, сложившейся в настоящее время: бурное развитие различных отраслей промышленности (металлургических, нефтеперерабатывающих, химических), сельского хозяйства, транспортной инфраструктуры и других видов антропогенной деятельности, водоочистка сточных вод является одной из лидирующих и актуальных проблем наших дней. Необходимость в очищении сточных вод от всевозможных типов загрязнений возникает, если качество исследуемой воды не соответствует общепринятым регламентированным требованиям.

Сточные воды – это пресные воды, поступившие с разных видов антропогенной деятельности и в результате претерпевшие некоторые изменения своих физико-химических свойств. Основная характеристика, по которой производят классификацию сточных вод, – их происхождение. По этому критерию сточные воды

подразделяют на большие 3 группы: бытовые, производственные, атмосферные.

Производственные сточные воды – это сточные воды, образующиеся в результате производства всевозможных видов продукции (использованные технические жидкости, технологические и промывные воды и др.). В зависимости от типа рассматриваемой сферы промышленности в сточных водах могут присутствовать как органические виды загрязнителей, так и неорганические, растворимые и нерастворимые. Перейдём непосредственно к самому процессу водоочистки. Методы очистки сточных вод поддаются классификации и бывают 3 видов: механические, физико-химические, биохимические.

Механическая водоочистка – это, как правило, предварительная стадия перед последующей биологической очисткой. К элементам механической очистки сточных вод относят: решётки, сита, песколовки, отстойники, фильтры различных конструкций. При необходимости снижения концентрации взвешенных веществ в сточных водах на 40-50% и БПК<sub>полн</sub> – на 20-30% ограничиваются механической очисткой.

Основная область применения методов физико-химической водоочистки – очистка производственных сточных вод. Данный вид очистки применяется для водных расходов – 10-20 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Ввиду стремительно развивающихся отраслей промышленности, роста населённых пунктов, численности населения потребление водных ресурсов неминуемо растёт, также в результате процесса водопользования

увеличиваются объёмы сточных вод. Именно поэтому особое значение имеет развитие современной системы водоотведения бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающих высокую степень защиты окружающей нас среды от всевозможных загрязнений. Предпосылками успешного решения этих задач являются разработки, выполняемые высококвалифицированными специалистами, использующими новейшие достижения науки и техники в области строительства и реконструкции водоотводящих сетей и очистных сооружений. Таким образом, эффективное удаление всевозможных видов загрязнений из сточных вод позволит обеспечить наиболее благоприятные условия использования водных ресурсов во всех сферах антропогенной деятельности. [1]

#### **Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом очистки сточных вод**

В данной статье предлагается рассмотреть результат разработки системы управления процессом очистки сточных вод. В результате проделанной работы предлагается обновление средств автоматизации более новыми, обеспечивающими точность измерений и компактность установки. Все функции управления возложены на панельный контроллер Овен СПК-207, обеспечивающий лучшее быстродействие, большую надежность, и позволяющую дальнейшую модернизацию оборудования, вплоть до изменения технологических программ, или расширения средств автоматизации.

По данным изменения давления в азротенке, была определена в программном средстве MathCAD, математическая модель объекта управления. В ходе исследования было определено, что объект имеет второй порядок, обладает временем запаздывания, равным 1. По графику, построенному в программном средстве VisSim 5.0, было выяснено, что объект управления является устойчивым, ПИ регулятор подобран, верно, так как процесс требует быстрого и точного изменения регулируемой величины, а значение перерегулирования не превышает 10 %. При выборе технических средств, для проектируемой системы управления были сделаны следующие предпочтения. Выбираем панельный программируемый контроллер Овен СПК-207. Для ввода аналоговых сигналов в контроллер используем модуль MB110-8A. Основные особенности модуля ввода аналоговых сигналов MB110-8A. (8 универсальных каналов аналогового ввода; Типы входных сигналов: термопреобразователи сопротивления, термопары, унифицированные сигналы напряжения и тока (требуют использования внешнего резистора 50 Ом), сопротивление до 2 кОм). Для вывода аналоговых сигналов из контроллера используем модуль МУ110-8И. Прибор предназначен для преобразования цифровых сигналов, передаваемых по сети RS-485, в аналоговые сигналы диапазоном от 4 до 20 мА для управления исполнительными механизмами или для передачи сигналов приборам регистрации и самописцам. Для измерения расхода выбираем расходомеры ЭМИС-Вихрь 200. [2]



## **Эффективность очистки нефтесодержащих сточных вод методом флотации**

В данной работе определена эффективность физико-химических методов существующих очистных сооружений промышленных сточных вод нефтеперерабатывающего завода. Для достижения этой цели были проанализированы известные физико — химические методы очистки нефтесодержащих сточных вод; оценена эффективность физико-химических методов очистки сточных вод от нефтепродуктов на нефтеперерабатывающем заводе. Промстоки нефтеперерабатывающих предприятий независимыми потоками поступают на очистные сооружения и проходят раздельную механическую и физико-химическую очистку, перед биологической очисткой все потоки объединяются. После механической очистки стоки совместно подаются на установки импеллерной флотации.

Оценку эффективности физико-химических методов очистки нефтесодержащих сточных вод I и II системы нефтеперерабатывающего предприятия проводили путем определения концентрации нефтепродукта.

Метод импеллерной флотации отличается от всех остальных тем, что обладает низкой эффективностью, так как при его использовании во флотаторе происходит большая турбулентность потоков, в результате которой разрушаются частицы хлопьевидной формы. После флотатора перед сбросом очищенной воды или ступенью тонкой очистки желательно установить дополнительный отстойник. Существенной особенностью состава сточных вод нефтеперерабатывающего завода является тот факт, что

они загрязнены ароматическими растворимыми в воде (бензол, толуол, ксилолы) и спиртами (метанол и бутиловые спирты), которые негативно влияют на процесс флотационного выделения нефтепродуктов. Наличие кислородсодержащих органических соединений приводит к биологическому обрастанию установок и оборудования очистных сооружений. В качестве решения предлагается подача азота для подавления аэробных биоценозов. В качестве решения проблем импеллерной флотации, можно предложить электрофлотационный метод, эффективность которого достигает 95 % . [3]

### **Обзор современных методов очистки резервуаров от нефтяных остатков**

В данной статье подробно рассматривается один из этапов очистки сточных вод, а именно физико-химическая очистка. Данный этап очистки проводится путем флотации растворенным азотом с целью удаления остаточных взвешенных частиц и остаточных свободных углеводородов. Применение в качестве флотационного газа именно азота, а не воздуха или кислорода, обусловлено современными требованиями к конструкции сооружений, а именно к полной герметичности флотационных установок. Так как, в сточных водах нефтеперерабатывающих предприятий присутствуют в достаточном количестве нефтепродукты и масла, то при контакте данных загрязнений с кислородом (Минимальное взрывоопасное содержание кислорода (МВСК) в газовой смеси — 12 %), даже без искры, возникает взрыв. Поэтому применение воздушной смеси в качестве газа для флотации в данном случае невозможно. Так же в сооружениях предусмотрена газовая «подушка», предохраняющая окружающую среду от запахов и вредных выбросов. На

случай разгерметизации сооружения предусмотрена автоматическая система сигнализации об обнаружении кислорода в смеси газа.

Система флотации растворенным азотом (Dissolved Nitrogen Flotation — DNF) состоит из следующих элементов: – коагуляционный бассейн, обеспечивающий оптимальную коагуляцию коллоидного материала и нейтрализацию pH. В качестве коагулянта обычно используется хлорид железа  $FeCl_3$ . Так же часто бассейн оснащается мешалкой, обеспечивающей соответствующую степень смешивания сточных вод с коагулянтом; – поточная коагуляция, выполняемая с помощью вводимого в трубопровод полимера; – пластинчатый флотатор, представляющий собой модульный прямоугольный блок. Флотатор оснащен пластинчатым элементом, который представляет собой зону промежуточной поверхности захвата загрязнений, в которой обеспечивается низкая скорость протекания стоков и высокая скорость захвата взвесей. Загрязняющие вещества, имеющие разную плотность, будут подниматься и формировать слой всплывающих веществ при различных показателях скорости. Быстро поднимающиеся загрязняющие вещества будут подниматься до верхней части ячейки разделения, а более мелкие, медленно поднимающиеся частицы будут отделяться пластинчатым элементом, расположенным перед выходом из флотационной установки.

В данном элементе используются гофры для усиления контакта между небольшими хлопьями и микропузырьками, увеличивая их размер и плавучесть, что позволяет им подниматься до уровня всплывших веществ. Очищенная вода стекает вниз по элементу, собирается в нижней части флотатора сетью трубопроводов и направляется на выход из установки; – микропузырьки растворенного азота, необходимые для надлежащей флотации, получают с помощью системы циркуляции, использующей азот в качестве флотационного газа. Оптимальным размером микропузырьков считается размер 30–40 мкм. Данная система, созданная для работы на устойчивой скорости и на

непрерывной основе, удовлетворяет необходимым условиям для надлежащего растворения флотационного газа и создания микропузырьков.

Также она обеспечивает высокую скорость захвата, позволяя взаимодействовать хлопьям и микроскопическим пузырькам азота, которые образуют скопления хлопьев и пузырьков; – система сбора отходов, позволяющая непрерывно удалять всплывшие и осажденные загрязнения, состоит из скребка и вращающихся мешалок, оснащенных редукторными двигателями с возможностью регулировки переменных скоростей; – установка флотации растворенным азотом оснащается герметичной крышкой, позволяющей создавать газовую «подушку» для контроля запахов и выбросов углеводородов (летучих органических соединений), устраняя риск возникновения аварийной ситуации.

В качестве решения проблемы более экономичного использования ресурсов предприятия предлагается вместо модульной газоочистной установки плазменно-каталитического типа отправлять часть отходящего газа на блок комплексной осушки и очистки газа (БКОО) и возвращать часть азота в коллектор заводской сети для дальнейшего использования в рецикле на площадке очистных сооружений сточных вод. [4]

### **Инновационные подходы к очистке сточных вод от соединений азота в локальных очистных сооружениях**

Одним из современных способов очистки сточных вод в мире является биологический (в разных модификациях). Рассмотрим некоторые инновационные способы биологической очистки стоков, применимых в условиях ЛОС малых предприятий. В настоящее время системы биологической очистки сточных вод должны обеспечивать удаление биогенных элементов. Данное положение закреплено в постановлении ХЕЛКОМ, в котором Россия и

другие страны Балтийского региона взяли обязательства по сокращению сброса соединений азота и фосфора [1]. В основе биологической очистки лежат два принципа: Способность микроорганизмов превращать примеси воды в биомассу клетки и внеклеточные продукты. Способность микроорганизмов синтезировать биофлокулянты и с их помощью образовывать многоклеточные агрегаты, легко отделимые от воды.

Биологическая очистка сточных вод способствует также получению альтернативных видов топлива, поскольку во многих случаях продуктами реакции является биогаз (смесь  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в соотношении 1:3). Доказано, что, в зависимости от содержащихся в сточной воде органических веществ, изменяется также состав биогаза и доля метана в ней. Такие ее компоненты, как углеводы, белки, жиры имеют выход биогаза 0,83; 0,72; 1,43 ( $\text{см}^3/\text{г}$ ), в котором доля метана составляет (%) 50; 71; 70 соответственно. Во всем мире принято два подхода к биологической очистке сточных вод, целью которых является создание благоприятных условий для биодegradации загрязнений. Удаление загрязняющих веществ может происходить как в аэробных условиях, так и в анаэробных условиях [5]. Обработка сточных вод возможна с использованием микробных агрегатов 3 типов: статические (в биофильтрах), в виде макрочастиц (в реакторах с псевдоожиженным слоем), флокулы (в активном иле) [4]. Для ускорения процессов очистки и восстановления водных экосистем необходимо использовать биологические резервы не только микробных сообществ и биоценозов [7]. В аэробных условиях используется активный ил (или биопленка), которые представляют собой скопление разнообразных микроорганизмов, видовой состав которых зависит от конкретных экологических условий. Одним из перспективных путей интенсификации процесса нитрификации-денитрификации является использование прикрепленных микроорганизмов в виде биопленки. На сегодня существуют различные системы очистки сточных вод от соединений азота с использованием прикрепленных биомасс. Они отличаются друг от друга принципом работы.

Так, существуют биореакторы с движением воды относительно неподвижного материала загрузки, а также с движением загрузки относительно воды. Движение воды может обеспечиваться как сверху вниз, так и снизу вверх. Европейское поколение затопленных биофильтров (фильтры В2а) с многослойной фиксированной загрузкой успешно применяется для 2-й и 3-й ступеней очистки. Биопленки представляют собою сложные сообщества микроорганизмов, прикрепленных к поверхности [10]. Эти микробные сообщества часто состоят из нескольких видов, которые помогают друг другу разрушать сложные органические соединения, попадание которых в водную среду крайне нежелательно [3]. На наружной поверхности биопленок находятся аэробные микроорганизмы, выделяющие гидролитические ферменты. В состав более глубоких слоев биопленок входят микроорганизмы, генерирующие и потребляющие водород, а также микроорганизмы брожения. Последние производят органические кислоты, используемые производителями водорода, и получают от них углерод и энергию за счет использования различных сахаров. В дополнение к метаболическим взаимодействиям между микроорганизмами, они выделяют сигнальные молекулы, которые обеспечивают меж- и внутривидовую коммуникацию. Эти особенности микроорганизмов, а также факторы окружающей среды способствуют пространственной организации биопленки [9]. На формирование биопленок большое влияние имеют геометрия и структура поверхности. Грубые и пористые поверхности в большей степени способствуют формированию биопленки. Образование биопленки ускоряется на пластике с гидрофобной поверхностью. Полимерные носители высокой плотности (полистирол, полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и полиметилметакрилат-метакрилат) обладают хорошей гидрофобностью и полярностью поверхностного заряда, что способствует формированию биопленок. Но лучшими свойствами для формирования биопленок обладает полипропилен [15]. Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы: 1) Наиболее экономически целесообразным методом очистки сточных



медно-серный комбинат» осуществлялся по индексу Стьюдента для зависимых выборок:

В двух выборках 12 членов для каждого ряда. Водородный показатель перед очисткой сточных вод участка нейтрализации цеха горных работ ООО «Медногорский медно-серный комбинат» за 2017 год варьируется в пределах 2,9–5,1. В свою очередь после очистки водородный показатель имеет значения в пределах 7,8–8,9. Водородный показатель перед очисткой сточных вод участка брикетирования медеплавильного цеха ООО «Медногорский медно-серный комбинат» за 2017 год варьируется в пределах 2,6–3,7. После очистки водородный показатель имеет значения в пределах 6,0–8,8. Переход водородного показателя сточной воды медеплавильного цеха из сильноокислой в нейтральную достигается путем добавления  $\text{CaO}_{\text{тов.}} = 10\text{--}13\%$ , которое приготавливают из товарной извести с содержанием  $\text{CaO}_{\text{акт.}}$  не менее 75 %. Расчет индекса Стьюдента для зависимых выборок по признаку «водородный показатель» до и после очистки участка нейтрализации цеха горных работ за 2017 г.:  $t_{\text{ф}} = 13,973$ ;  $t_{\text{кр}} = 2,201$ , (при  $p < 0,05$ ). В результате получается, что , следовательно, в изученной выборке водородного показателя разность средних значений водородного показателя до и после очистки сточной воды участка нейтрализации цеха горных работ ООО «Медногорский медно-серный комбинат» является статистически достоверны. Расчет индекса Стьюдента для зависимых выборок по признаку «водородный показатель» до и после очистки участка брикетирования медеплавильного цеха за 2017 г.:  $t_{\text{ф}} = 19,619$ ;  $t_{\text{кр}} = 2,201$ , (при  $p < 0,05$ ). В результате получается, что , следовательно в изученной выборке водородного показателя разность средних значений водородного показателя до и после очистки сточной воды участка брикетирования медеплавильного цеха ООО «Медногорский медно-серный комбинат» является статистически достоверны. [6]



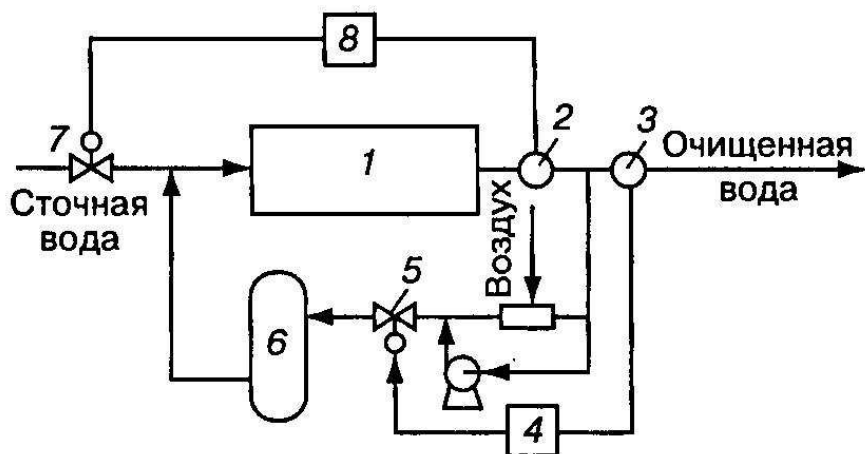
## **Методика расчета двухкамерной флотационной машины с эжекционной системой аэрации с диспергатором**

Рассмотрена двухкамерная флотационная машина с эжекционной системой аэрации с диспергатором. Показано, что применение диспергатора позволяет получить полимодальное распределение размеров пузырьков, характеризующееся несколькими группами. Отмечена важность правильного определения времени процесса как одного из важнейших параметров для расчета флотатора. Предложена методика расчета двухкамерной флотационной машины с эжекционной системой аэрации с диспергатором, учитывающая особенности дисперсного состава пузырьков и гидродинамической обстановки в камерах. В основу методики расчета для определения времени процесса положено использование многостадийной модели флотации, в которой представлено разделение пузырьков на несколько групп по размерам. Гидродинамическая обстановка в камерах учтена с использованием уравнений для реакторов идеального смешения и вытеснения. Проведен расчет двухкамерной флотационной машины с эжекционной системой аэрации с диспергатором для очистки сточных вод автомойки. Представлены результаты расчета параметров системы аэрации, констант процесса, времени флотации и характерных геометрических параметров флотомашины. Приведенный пример показывает возможность применения данной методики для расчета предлагаемой флотационной установки.

### 1.3 Рабочая гипотеза

На рисунке 2.1 показана блочная схема АСР со стабилизацией качества очищенной воды путем изменения потока рециркуляции, несущего во флотатор мелкодисперсную газовую фазу. Система состоит из установленных на выходе флотационного резервуара 1, мутномера 3, измеряющего концентрацию взвешенных частиц в очищенной воде, расходомера 2, регуляторов 4 и 8, исполнительных механизмов 5 и 7, один из которых регулирует расход циркуляционного потока, насыщаемого воздухом в напорном ресивере 6, а другой расход сточной воды, поступающей во флотатор.

С мутномера 3, расположенный на выходе, при превышении заданного значения концентрации взвеси в воде, на регулятор 5 поступает сигнал. Регулятор 5 воздействует на исполнительный механизм 5, который увеличивает расход потока рециркуляции. С увеличением рециркулирующего потока увеличивается количество газовой сферы переносимой во флотатор. Новое количество газа обеспечивает уменьшение мутности очищенных стоков. Одновременно при увеличении расхода потока рециркуляции через флотационный резервуар появляется сигнал отклонения на выходе расходомера 2, который поступает на регулятор 8. Этот регулятор, воздействуя на исполнительный механизм 7, уменьшает поступление сточной воды во флотатор, обеспечивая постоянство суммарного расхода через него. При снижении концентрации взвеси производительность флотатора соответственно увеличивается. Описанная АСР позволяет сократить объем флотаторов почти на 20% при соблюдении заданного качества очистки.



1 – флотатор; 2 – расходомер; 3 – мутномер; 4, 8 – регулятор; 5, 7 – исполнительный механизм; 6 – сатуратор

Рисунок 2.1 – Схема АСР напорной флотации

## Выводы

На основе результатов, литературного обзора методов очистки нефтесодержащих сточных вод, сделан вывод: в настоящих условиях наиболее эффективным, обеспечивающим глубокую очистку, для очистки нефтесодержащих сточных вод является физико-химический метод. Также данный метод позволяет широко применить средства регулирования, автоматизации, управления.

## 2 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

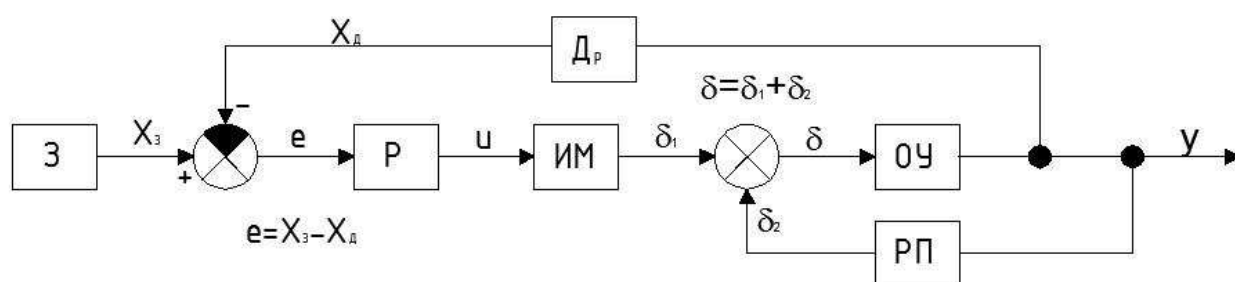
### 2.1 Разработка структурной схемы

Напорная флотация является одним из самых распространенных методов для физико-химической очистки сточных вод. Принцип действия напорной флотации основан на насыщении сточной воды газом(воздухом) под избыточным давлением. Всплывающие пузырьки попутно собирая на своей поверхности вещества, образуют пену с загрязнениями, откуда она механизмами удаляется.

Необходимость оснащения установок средствами автоматического контроля и регулирования обуславливается непостоянством состава сточных вод, высокой интенсивностью процесса и его повышенной чувствительностью к входным процессам.

*Функциональная схема автоматизация процессов физико-химической очистки сточных вод*

На основе схемы АСР, рисунок 3.6, разработана функциональная схема процессов очистки нефтесодержащих сточных вод напорной флотацией, рисунок 2.2.



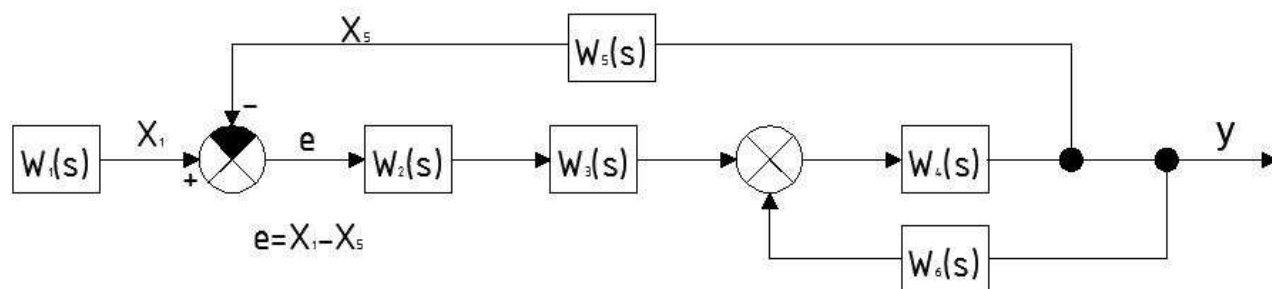
З – задающий элемент; Р – регулятор; ИМ – исполнительный механизм; ОУ – флотационная установка; РП – система расхода рециркуляционного потока

(сатуратор, мутномер, регулятор, исполнительный механизм);  $D_p$  – датчик расхода очищенной воды;  $e$  – ошибка;  $X_5$  – расход сточной воды

Рисунок 2.2 – Функциональная схема АСР напорной флотации

*Структурная схема автоматизация процессов физико-химической очистки сточных вод*

На основе функциональной схемы АСР, рисунок 3.7, разработана структурная схема процессов очистки нефтесодержащих сточных вод напорной флотацией, рисунок 2.3.



$W_1(s)$  – ПФ задатчика;  $W_2(s)$  – ПФ ПИД-регулятора;  $W_3(s)$  – ПФ исполнительного механизма;  $W_4(s)$  – ПФ флотационной установки;  $W_5(s)$  – ПФ датчика расхода очищенной воды;  $W_6(s)$  – ПФ системы расхода рециркуляционного потока;  $e$  – ошибка.

Рисунок 2.3 – Структурная схема АСР напорной флотации

*Исследование устойчивости системы очистки флотацией*

Критерий устойчивости системы автоматического управления Найквиста.

Опубликован в 1932 г. американским ученым Найквистом. Критерий Найквиста позволяет судить об устойчивости замкнутой САУ (рисунок 2.4)

по амплитудно-фазовой частотной характеристике разомкнутой системы [63].

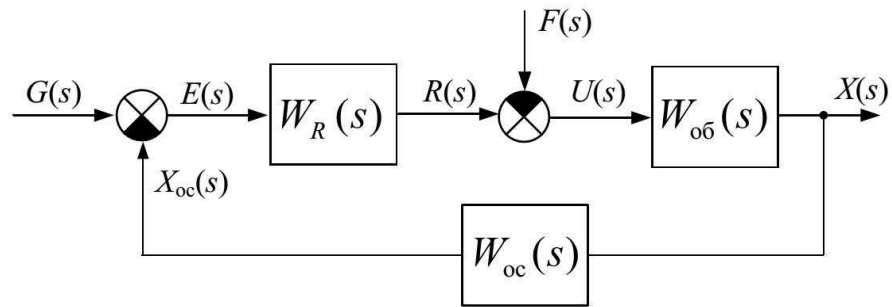


Рисунок 2.4 – Структурная схема замкнутой САУ

Передаточная функция замкнутой системы относительно сигнала рассогласования по задающему воздействию:

$$W_{\varepsilon g}(s) = \frac{W_{\text{пр}}^{g\varepsilon}(s)}{1 + W_{\text{раз}}(s)}. \quad (3.17)$$

Рассмотрим знаменатель передаточной функции замкнутой системы:

$$1 + W_{\text{раз}}(s) = 1 + \frac{K_{\text{раз}}(s)}{D_{\text{раз}}(s)} = \frac{D_{\text{раз}}(s) + K_{\text{раз}}(s)}{D_{\text{раз}}(s)}. \quad (3.18)$$

Числитель выражения (3.18)  $D_{\text{раз}}(s) + K_{\text{раз}}(s)$  есть характеристический полином замкнутой системы  $D_z(s)$ , знаменатель  $D_{\text{раз}}(s)$  – характеристический полином разомкнутой системы.

Так как в технически реализуемых системах порядок полинома  $K_{\text{раз}}(s)$  не выше порядка полинома  $D_{\text{раз}}(s)$ , то порядки полиномов числителя и знаменателя выражения (3.18) равны между собой и равны  $n$ . Тогда

характеристические полиномы разомкнутой и замкнутой САУ соответствуют следующим выражениям:

$$\begin{cases} D_{\text{раз}}(s) = b_0 s^n + b_1 s^{n-1} + \dots + b_n; \\ D_3(s) = D_{\text{раз}}(s) + K_{\text{раз}}(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n. \end{cases} \quad (3.19)$$

Заменяем  $s = j\omega$ , тогда:

$$1 + W_{\text{раз}}(j\omega) = \frac{D_{\text{раз}}(j\omega) + K_{\text{раз}}(j\omega)}{D_{\text{раз}}(j\omega)} = \frac{D_3(j\omega)}{D_{\text{раз}}(j\omega)} \quad (3.20)$$

Примем, что характеристическое уравнение замкнутой САУ  $D_3(s) = 0$  имеет  $l$  правых корней и  $(n - l)$  левых корней. А характеристическое уравнение разомкнутой САУ  $D_{\text{раз}}(s) = 0$  –  $k$  правых и  $(n - k)$  левых корней. Тогда приращение аргумента вектора  $1 + W_{\text{раз}}(j\omega)$  равно:

$$\begin{aligned} \Delta \text{Arg} [1 + W_{\text{раз}}(j\omega)]_{\omega=-\infty}^{\omega=\infty} &= \pi[(n-l) - l] - \pi[(n-k) - k] = 2\pi(k-l) \\ \Delta \text{Arg} [1 + W_{\text{раз}}(j\omega)]_{\omega=0}^{\omega=\infty} &= \pi(k-l). \end{aligned} \quad (3.21)$$

Для устойчивости замкнутой САУ необходимо и достаточно, чтобы все корни её характеристического уравнения были левыми, т. е.  $l = 0$ .

Отсюда следует, что суммарный поворот вектора  $1 + W_{\text{раз}}(j\omega)$  устойчивой САУ вокруг начала координат при изменении частоты от 0 до  $+\infty$  в направлении против часовой стрелки должен быть равен  $\pi k$ .

На комплексной плоскости начало вектора  $(1 + W_{\text{раз}}(j\omega))$  находится в точке с координатами:  $(-1; j0)$ , а конец на АФЧХ разомкнутой системы, т. к.  $W_{\text{раз}}(j\omega)$  есть амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы.

Из этого следуют формулировки критерия Найквиста. Если разомкнутая система автоматического управления устойчивая,  $k = 0$ , то для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы при изменении  $\omega$  от 0 до  $+\infty$  не охватывала точку с координатами  $[-1; j0]$  (рисунок 2.5).

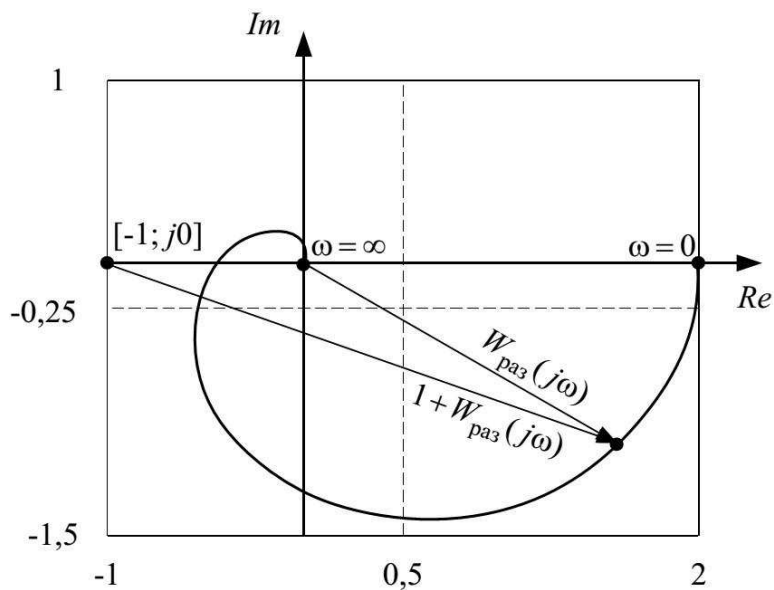
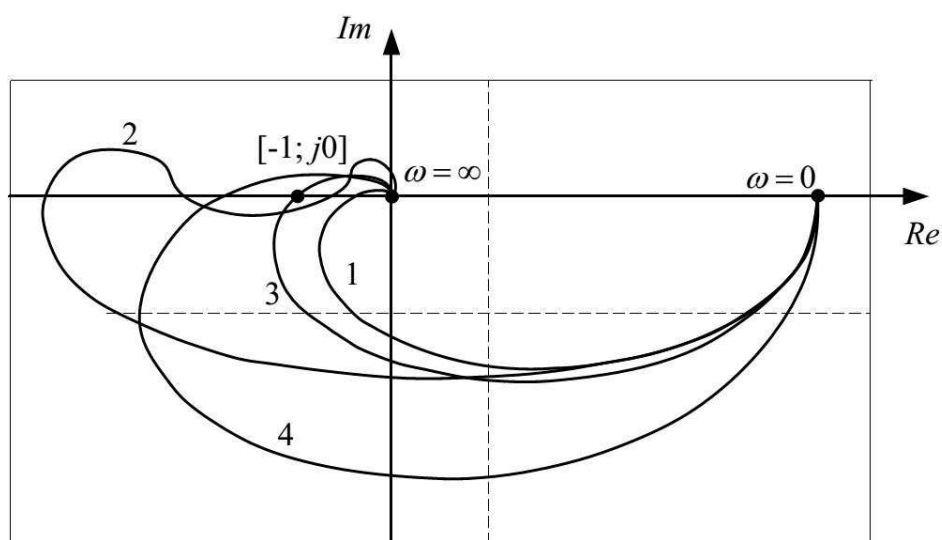


Рисунок 2.5 – Годограф АФЧХ устойчивой САУ

На рисунке 2.6 изображены примеры амплитудно-фазовых частотных характеристик разомкнутых систем.





1 – замкнутая система абсолютно устойчива; 2 – замкнутая система условно устойчива; 3 – замкнутая система находится на колебательной границе устойчивости; 4 – замкнутая система неустойчивая

Рисунок 2.6 – Типовые годографы АФЧХ разомкнутых САУ

Исследование модели процесса очистки напорной флотацией.

На основе описания элементов системы напорной флотацией полученных по результатам исследований д-р техн. наук, проф. Ксенофонов Б.С. и его учеников, разработана имитационная модель в среде MATLAB&Simulink.

Структурная схема модели разомкнутой системы показана на рисунке 2.7.

Исследование устойчивости по критерию Найквиста выполнено в среде MATLAB&Simulink.

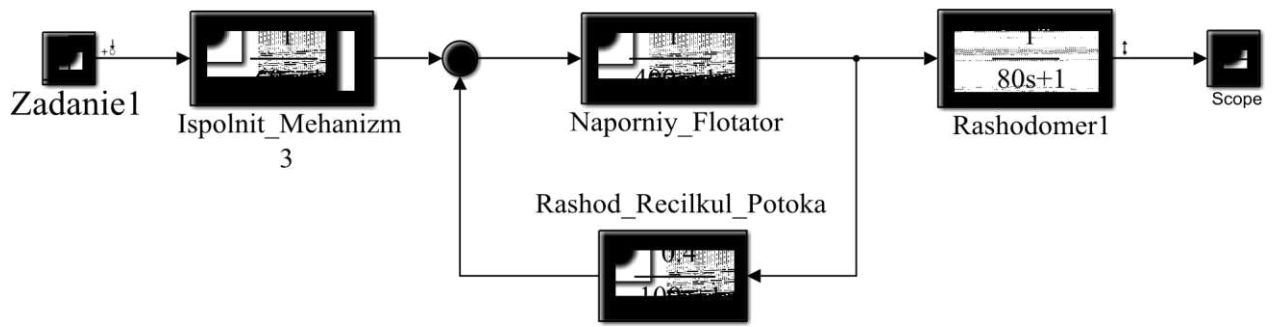


Рисунок 3.12 – Структурная схема линейной разомкнутой системы для проверки устойчивости

Имитационное моделирование исследования устойчивости.

Получены переходная и импульсная характеристики, рисунки 3.13, 3.14.

Определен график годографа критерия Найквиста, рисунок 3.15.

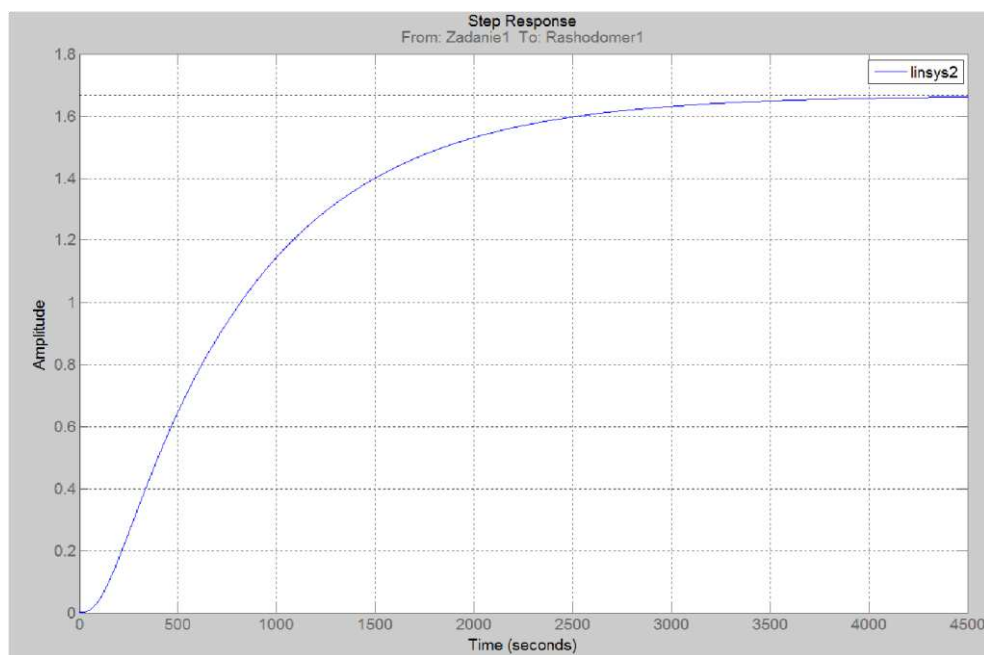


Рисунок 3.13 – Переходная характеристика исследуемой системы

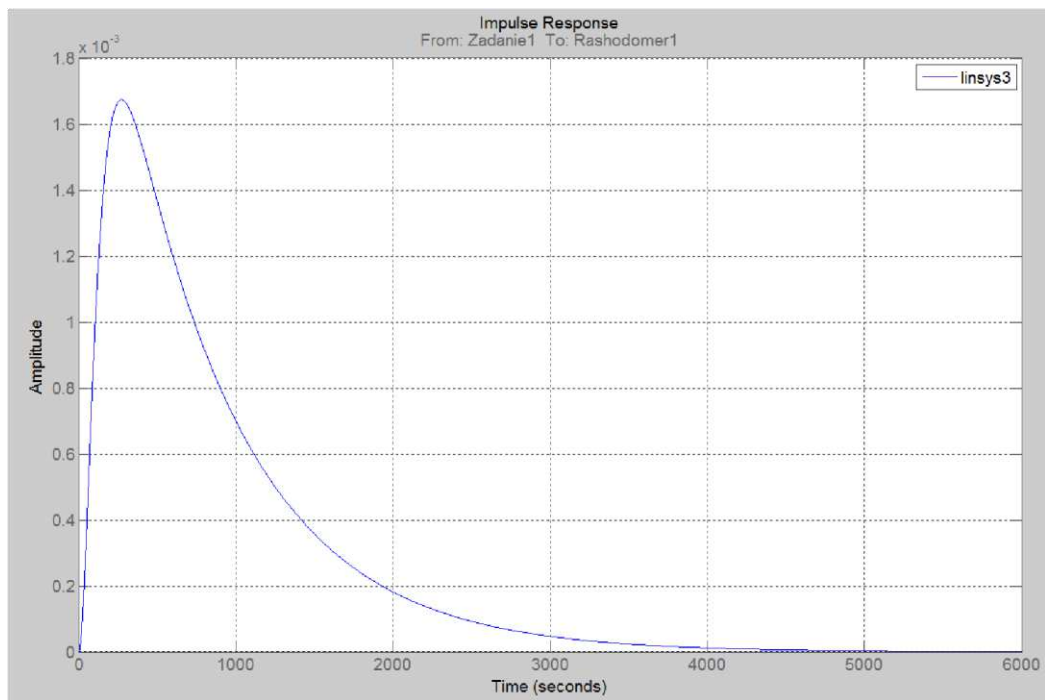


Рисунок 3.14 – Импульсная характеристика исследуемой системы

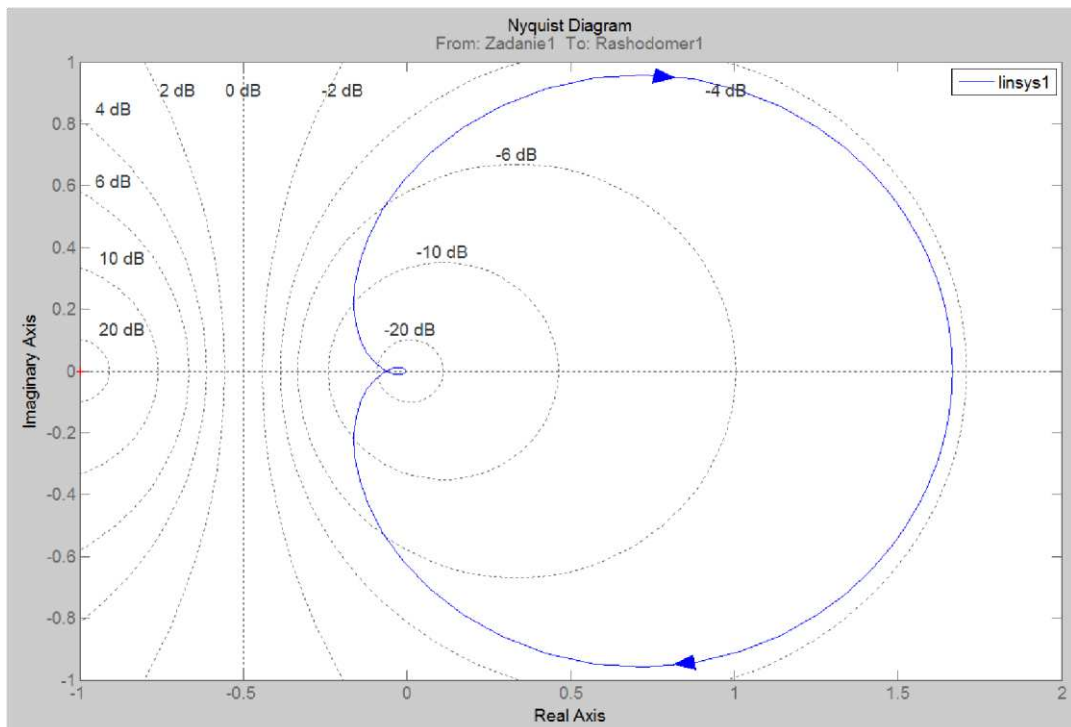


Рисунок 3.15 – Годограф АФЧХ исследуемой системы (замкнутая система устойчива)

Вывод. Исследуемая система устойчива, т.к. годограф Найквиста находится правее оси проходящей через минус 1.

### 2.3 Построение компьютерной модели

Имитационная модель системы управления с обратной связью разработана в среде SimulationInTechnic, рисунок 3.16.

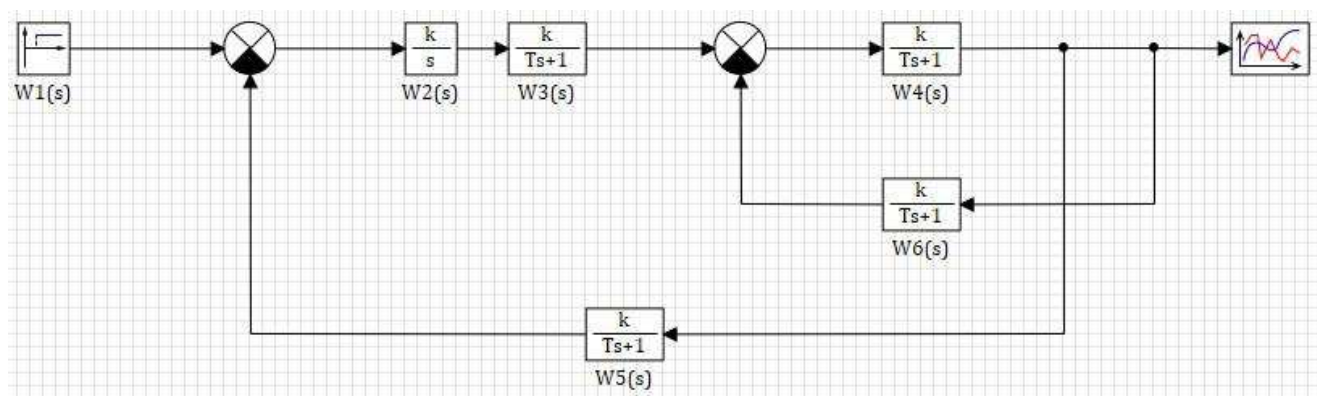


Рисунок 3.16 – Имитационная модель АСР процесса очистки сточных вод напорной флотацией

Значения параметров:

$W1(s)$  = Время срабатывания  $t-0$

Начальное состояние  $y_0-0$

Конечное состояние  $y_k-20$

$W2(s)$  = Коэффициент усиления  $k-1$

Начальное условие  $x_0-0$

$W3(s)$  = Коэффициент усления  $k-1$

Постоянные времени  $T-60$

Начальные условия  $x_0 = 0$

$W_4(s)$  = Коэффициент усиления  $k = 1$

Постоянные времени  $T = 400$

Начальные условия  $x_0 = 0$

$W_5(s)$  = Коэффициент усиления  $k = 1$

Постоянные времени  $T = 80$

Начальные условия  $x_0 = 0$

$W_6(s)$  = Коэффициент усиления  $k = 0.2$

Постоянные времени  $T = 100$

Начальные условия  $x_0 = 0$

Выполнено имитационное моделирование модели системы управления. Результаты имитационного моделирования переходного процесса управления флотацией приведены на рисунке 3.17.

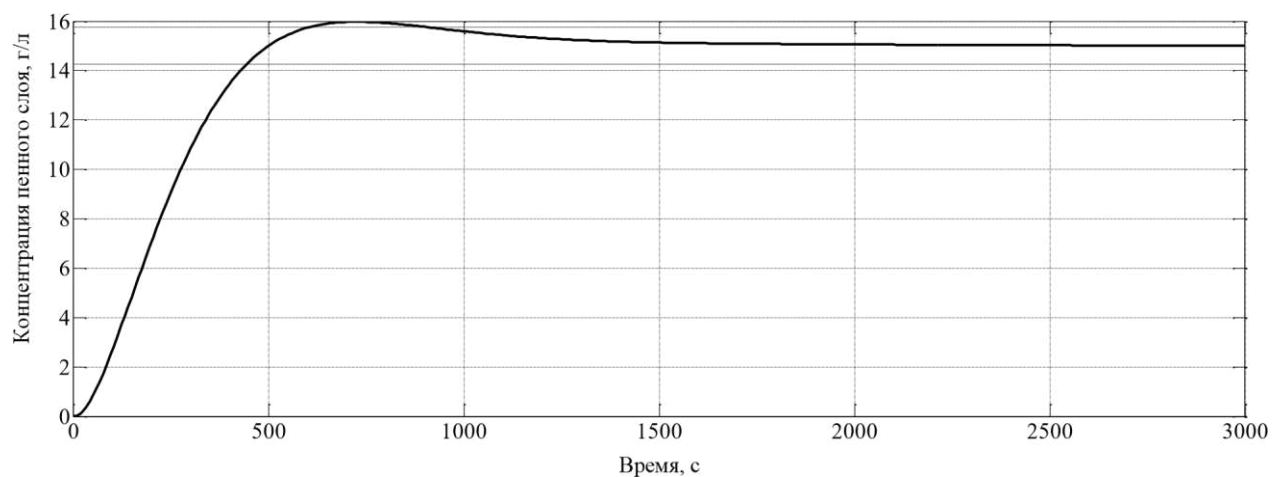


Рисунок 3.17 – График переходного процесса управления напорной флотацией

## 2.4 Имитационное моделирование системы

Выполнено экспериментальное компьютерное моделирование процесса модели системы очистки сточных вод напорной флотацией.

Переменным фактором принят коэффициент передачи расхода рециркуляционного потока, рисунок 3.18.

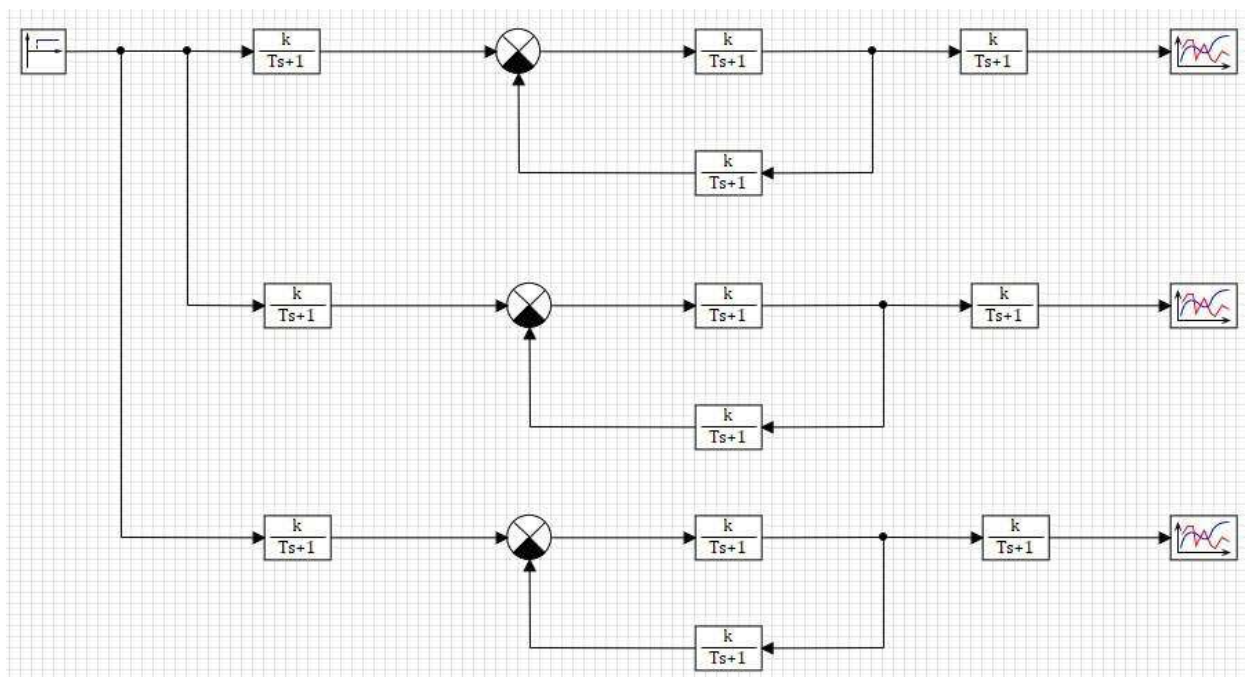


Рисунок 3.18 – Имитационная модель исследуемой системы на языке SimulationInTechnic

Ко  
нц  
ен  
тр  
ац  
ия  
пе  
не  
нн  
ог  
о  
сл  
о  
г  
ля  
г/л

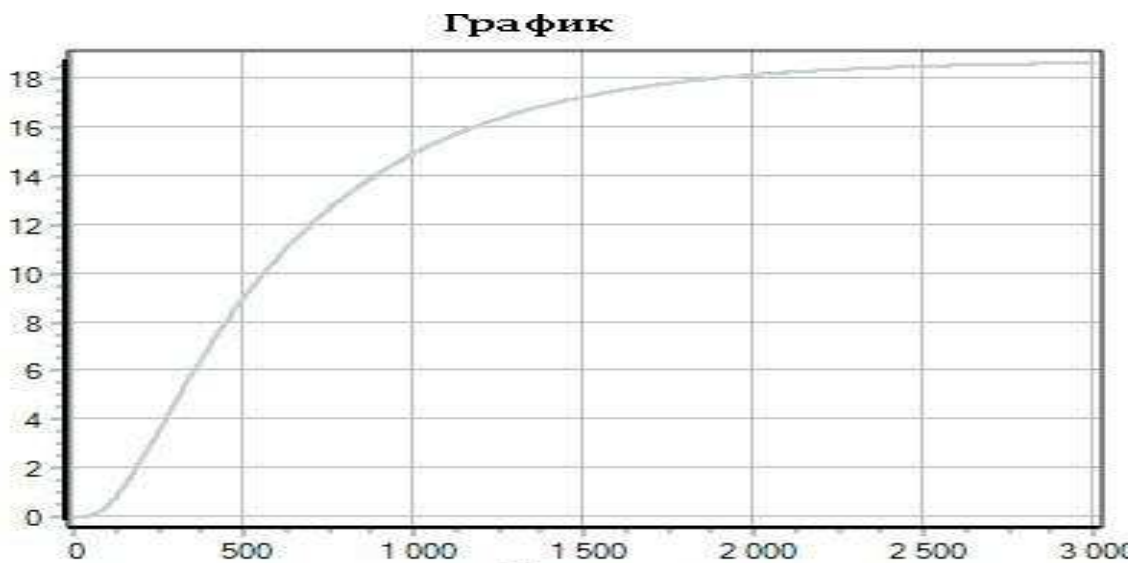


Рисунок 3.19 - Графики имитационного моделирования при  $k=0,2$

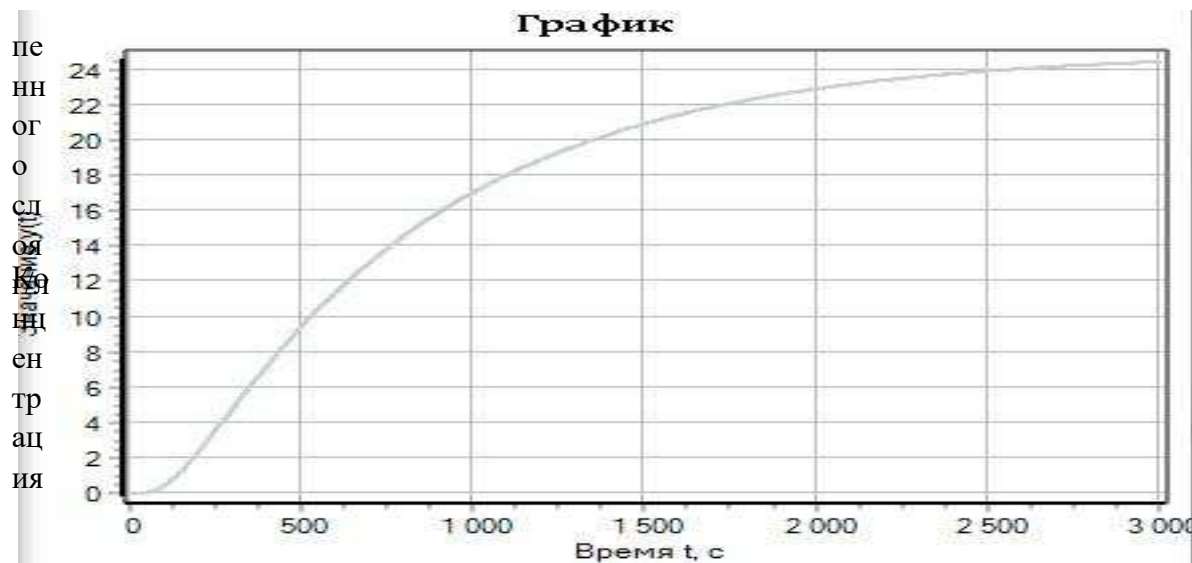


Рисунок 3.20 - Графики имитационного моделирования при  $k=0,4$

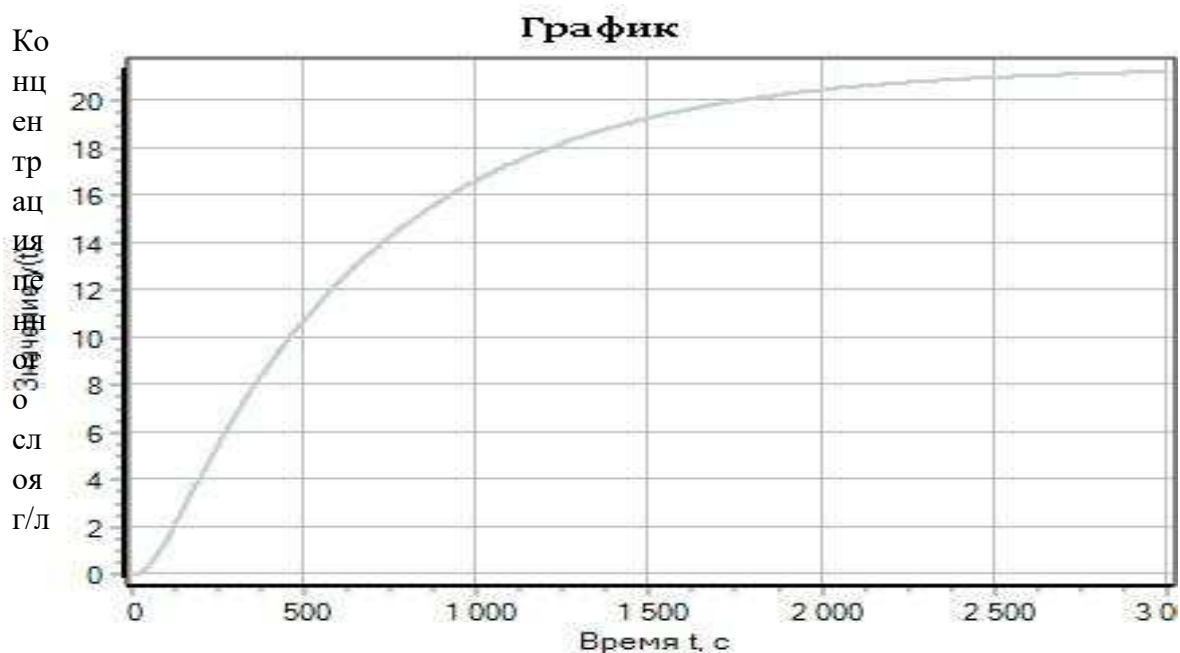


Рисунок 3.21 - Графики имитационного моделирования при k=0,3

По результатам имитационного моделирования получены данные представленные в таблице 3.21.

Таблица 3.1 – Показатели коэффициентов передачи и времени

k	Время, с								
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
0,2	0	8,95	14,93	17,2	18,1	18,53	18,66	18,71	18,73
0,3	0	10,52	16,5	19,2	20,35	21,2	21,7	21,81	21,84
0,4	0	9,8	17	20,8	22,9	24	24,3	24,7	24,74

Средствами EXCEL выполнена обработка экспериментальных данных методом корреляционно-регрессионного анализа и построение графиков, получены полиномиальные зависимости, рисунок 3.22.

Достоверность экспериментальных зависимостей определялась коэффициентом детерминации. Полученные модели имеют очень хорошую достоверность,  $R^2 = 0,999$ .



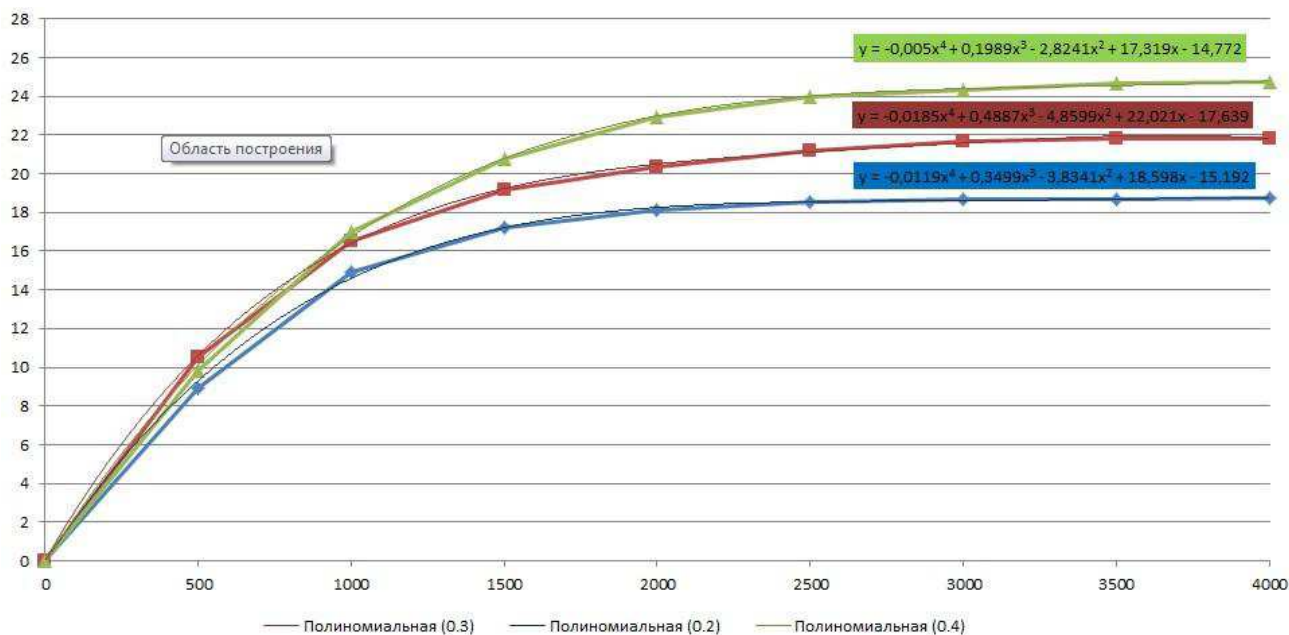


Рисунок 3.22 – Графики зависимости концентрации пенного слоя (г/л) исследуемой системы от времени

Выводы.

1) Получены полиномиальные регрессионные модели зависимости концентрации пенного слоя при различных значениях коэффициента передачи системы расхода рециркуляции потока  $k= 0,2; 0,3; 0,4$ .

2) При увеличении коэффициента передачи концентрация пенного слоя возрастает, а мутность очищенной воды уменьшается.

### 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

#### 3.1 Планирование эксперимента и обработка результатов экспериментальных исследований

Планирование эксперимента предполагает одновременное изучение всех параметров, влияющих на процесс, что позволяет установить степень их взаимодействия и значительно сократить общее число опытов.

Цель работы: экспериментальное исследование процесса реагентной обработки стоков содержащих эмульгированные нефтепродукты и его математическое описание.

Проведено экспериментальное исследование для изучения воздействие коагулянта  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  на рабочий раствор, модифицирующий сточную жидкость с заданным составом и свойствами.

Оксихлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  приготавливали растворением свежесосажденного  $Al(OH)_3$  в 0,5% растворе  $HCl$

Рабочий раствор, модифицирующий сточную жидкость с заданным составом и свойствами, готовили из эмульсола-СП-3

В качестве переменных факторов, от которых зависит процесс реагентной обработки нефтесодержащих стоков, приняты следующие:

$X_1$  – исходная концентрация эмульгированных нефтепродуктов, мг/дм<sup>3</sup>;

$X_2$  – доза оксихлорида алюминия по  $Al_2O_3$ , мг/дм<sup>3</sup>;  $X_3$  – pH.

Параметры варьирования приведены в таблице 2.1.

Исследуемые функциональные зависимости реагентной обработки маслоэмульсионных стоков:

$Y_1$  –остаточная концентрация нефтепродуктов, мг/дм<sup>3</sup>;  $Y_2$

– объем осадка , %.

Таблица 2.1 - Факторы и уровни их варьирования

	-	-	0	+1	+1,68
	1,68	1			
$X_1$	196	400	700	1000	1204
$X_2$	106	140	190	240	276
$X_3$	6,6	7,0	7,5	8,0	8,16

Планирование экспериментального исследования проведено по ротатабельному плану второго порядка Бокса и Хантера. По данным результатов эксперимента, были построены эмпирические зависимости нормализованных значений остаточных концентраций нефтепродуктов и объема осадка от варьируемых параметров и получены уравнения.

Таблица 2.2 – Матрица планирования эксперимента в безразмерной системе координат.

п/п	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1 \cdot X_2$	$X_2 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_3$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_3^2$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Y_1$	$Y_2$
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	240	8	48,00	15,50
2	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	400	240	8	50,00	15,00
3	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1000	140	8	40,00	10,00
4	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1000	240	7	40,00	20,00
5	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	400	140	7	3,70	12,00
6	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	400	140	8	4,90	9,00
7	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	400	240	7	24,40	16,00
8	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1000	140	7	72,00	17,00
9	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	196	190	7,5	4,20	13,00
10	1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	1204	190	7,5	2,40	6,00
11	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	700	106	7,5	3,60	11,00
12	0	1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	700	276	7,5	2,00	18,00
13	0	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	700	190	6,6	18,20	15,00
14	0	0	1,68	0	0	0	0	0	2,82	700	190	8,16	5,80	10,00
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	190	7,5	16,00	14,00

16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	190	7,5	17,00	9,00
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	190	7,5	4,40	10,00
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	190	7,5	4,50	9,80
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	190	7,5	3,90	8,50
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	190	7,5	4,20	10,00

Математическая обработка производилась двумя способами:

- “Анализ данных” – встроенный пакет программного обеспечения Excel
- Программным обеспечением “Mathcad”

Полученные математические модели от разных способов выдавали идентичные результаты при построении графиков зависимостей, что свидетельствует о правильности расчетов данных способов.

Ниже предоставлены результаты расчетов в программном комплексе “Mathcad”.

Первым действием является составление матрицы планирования эксперимента с помощью панели Matrix (рисунок 2.2).

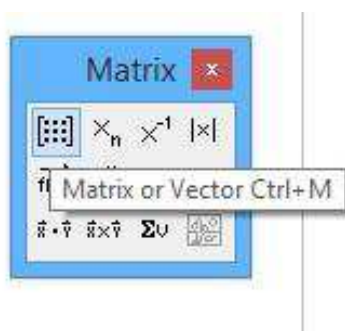


Рисунок 2.2 – Панель “Matrix” в Mathcad

Далее вводим количество строк и столбцов требуемое в матрице, как показано на рисунке 2.3.

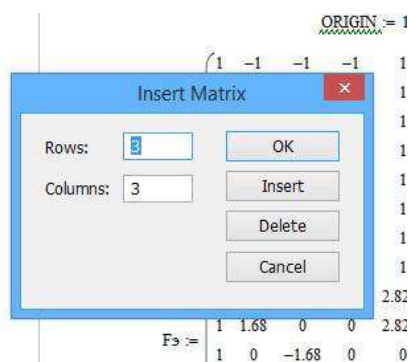


Рисунок 2.3 – Панель ввода размера матрицы



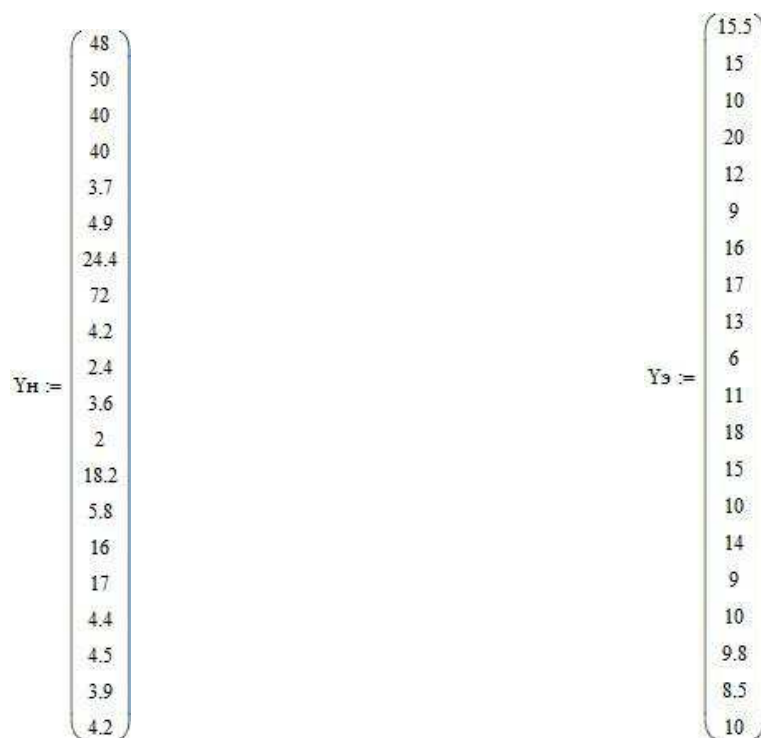


Рисунок 2.6 – Выходные параметры, для концентрации нефтепродуктов и объема осадка соответственно, представленные в виде матрицы

### 3.2 Анализ зависимостей

В программной среде EXCEL с помощью встроенного пакета “анализ данных”, были вычислены коэффициенты для построения функциональных зависимостей в исследованном диапазоне переменных. Результаты расчета представлены на рисунке 2.29.



Регрессионная статистика								
Множествен	0,73477							
R-квадрат	0,53989							
Нормирован	0,12578							
Стандартная	19,2197							
Наблюдени	20							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	значимость F			
Регрессия	9	4334,38	481,597	1,30375	0,34108			
Остаток	10	3693,95	369,395					
Итого	19	8028,33						
Коэффициентная статистика-Значения 95% нижние 95% верхние 95% нижние 95% верхние 95,0%								
Y-пересече	2293,51	1308,42	1,75288	0,11017	-621,837	5208,85	-621,837	5208,85
Переменная	0,42061	0,35964	1,16953	0,26931	-0,38072	1,22194	-0,38072	1,22194
Переменная	-2,41952	2,19986	-1,09985	0,29717	-7,32112	2,48208	-7,32112	2,48208
Переменная	-593,92	333,092	-1,78305	0,10491	-1336,09	148,254	-1336,09	148,254
Переменная	-0,00075	0,00045	-1,65191	0,12956	-0,00176	0,00026	-0,00176	0,00026
Переменная	-0,04233	0,0453	-0,93449	0,37207	-0,14327	0,0586	-0,14327	0,0586
Переменная	0,322	0,27181	1,18466	0,26354	-0,28362	0,92762	-0,28362	0,92762
Переменная	4,8E-05	5,6E-05	0,85002	0,4152	-7,7E-05	0,00017	-7,7E-05	0,00017
Переменная	0,00153	0,00199	0,77276	0,45754	-0,00289	0,00596	-0,00289	0,00596
Переменная	37,6373	22,0037	1,7105	0,11796	-11,39	86,6647	-11,39	86,6647

Регрессионная статистика								
Множествен	0,8464							
R-квадрат	0,7164							
Нормирован	0,4613							
Стандартная	2,7176							
Наблюдени	20							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	значимость F			
Регрессия	9	186,61	20,735	2,8075	0,0617			
Остаток	10	73,856	7,3856					
Итого	19	260,47						
Коэффициентная статистика-Значения 95% нижние 95% верхние 95% нижние 95% верхние 95,0%								
Y-пересече	326,16	185,01	1,763	0,1084	-86,063	738,39	-86,063	738,39
Переменная	0,0461	0,0509	0,9074	0,3855	-0,0672	0,1595	-0,0672	0,1595
Переменная	-0,4021	0,3111	-1,2926	0,2252	-1,0951	0,291	-1,0951	0,291
Переменная	-76,358	47,099	-1,6212	0,136	-181,3	28,585	-181,3	28,585
Переменная	-1E-05	8E-05	-0,1951	0,8492	-0,0002	0,0001	-0,0002	0,0001
Переменная	-0,0063	0,0064	-0,9757	0,3522	-0,0205	0,008	-0,0205	0,008
Переменная	0,0225	0,0384	0,5854	0,5712	-0,0631	0,1081	-0,0631	0,1081
Переменная	2E-06	8E-06	0,2515	0,8065	-2E-05	2E-05	-2E-05	2E-05
Переменная	0,0008	0,0003	2,6766	0,0232	0,0001	0,0014	0,0001	0,0014
Переменная	4,8908	3,1113	1,572	0,147	-2,0416	11,823	-2,0416	11,823

Рисунок 2.29–Результаты расчета регрессионного анализа

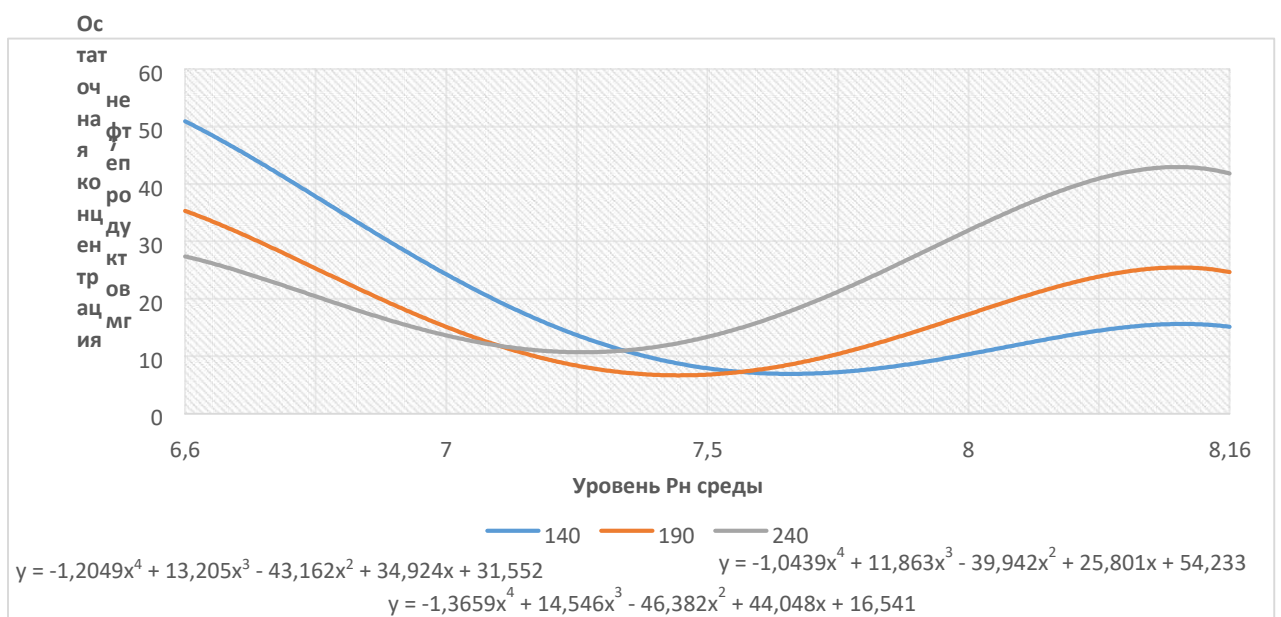


Рисунок 2.30 - Зависимость остаточной концентрации от уровня рН разных уровней дозы коагулянта

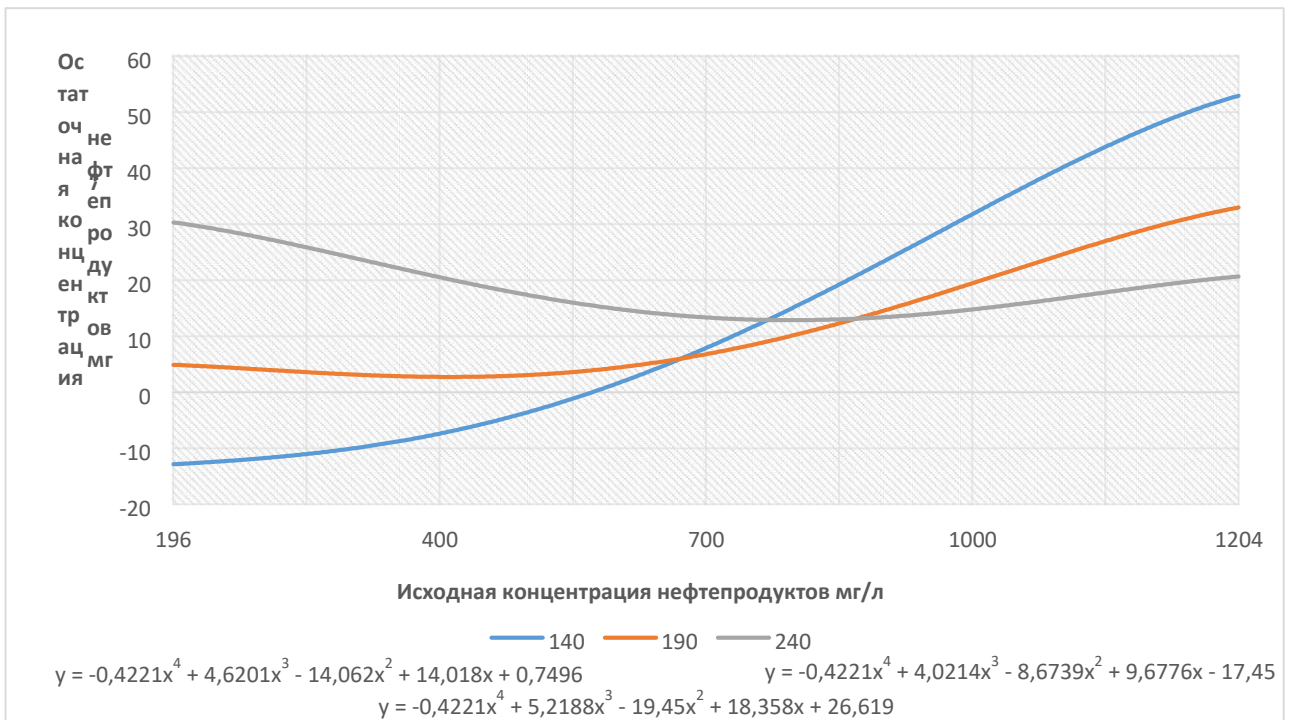


Рисунок 2.31- Зависимость остаточной концентрации от исходной концентрации разных доз коагулянта

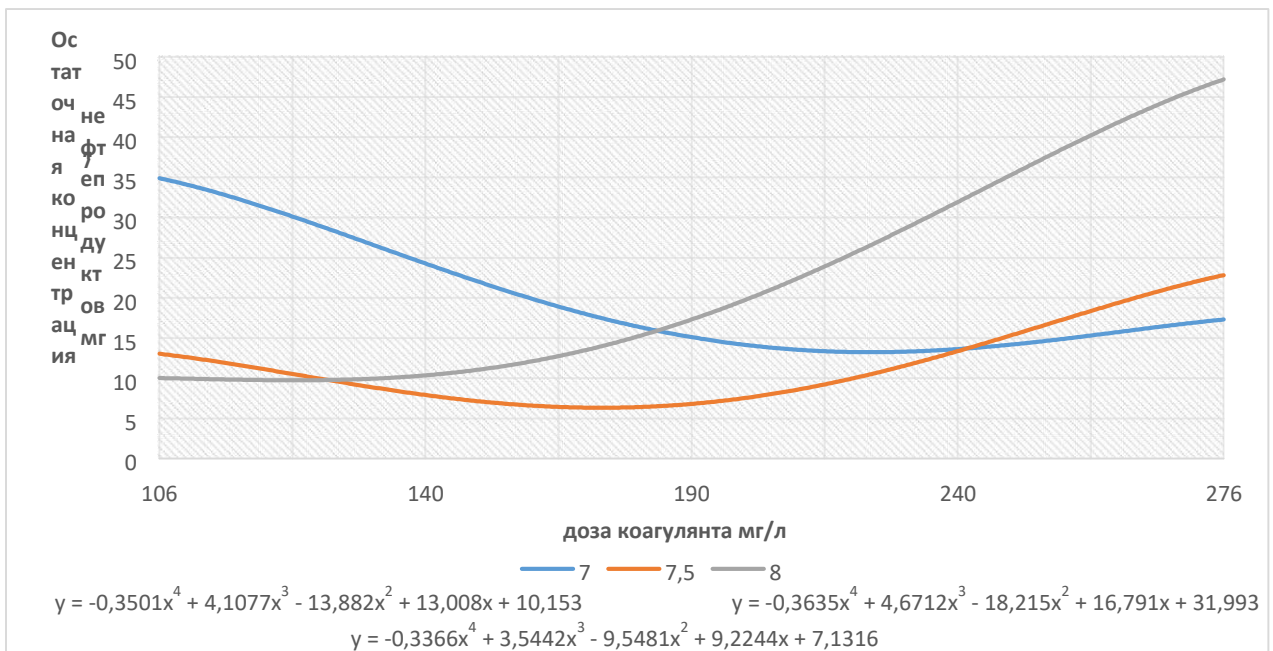


Рисунок 2.32 - Зависимость остаточной концентрации от дозы коагулянта разных уровней среды рН

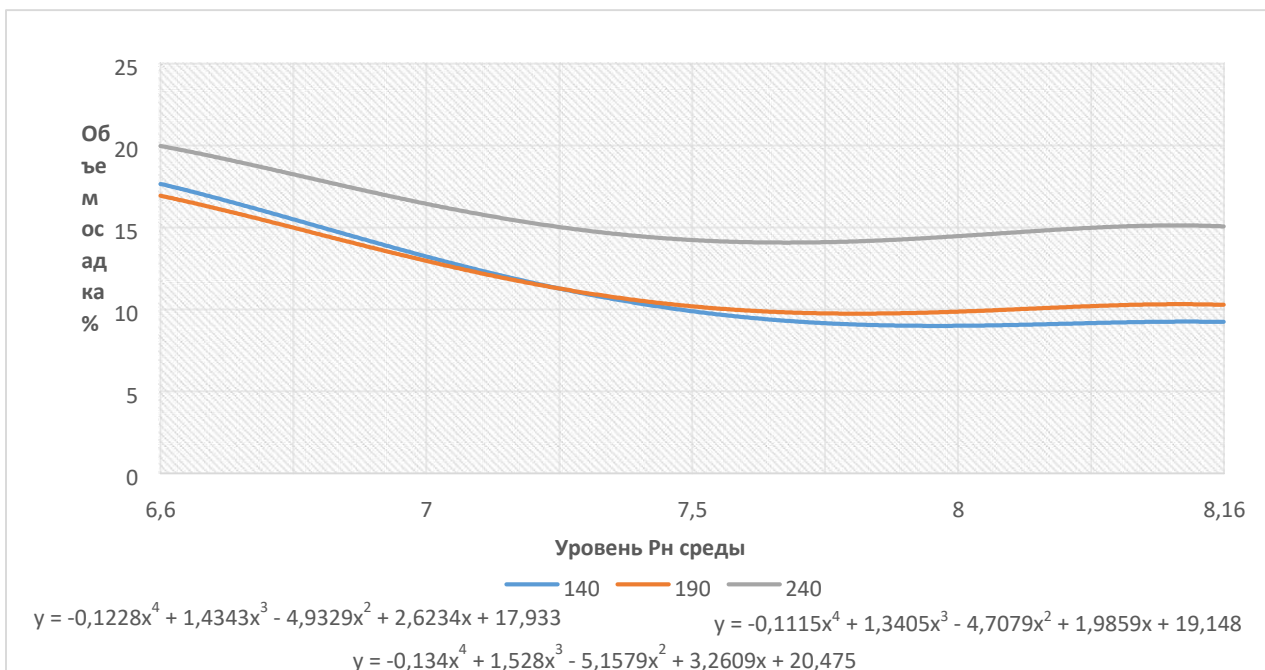


Рисунок 2.33 - Зависимость объема осадка от уровня pH разных уровней дозы коагулянта

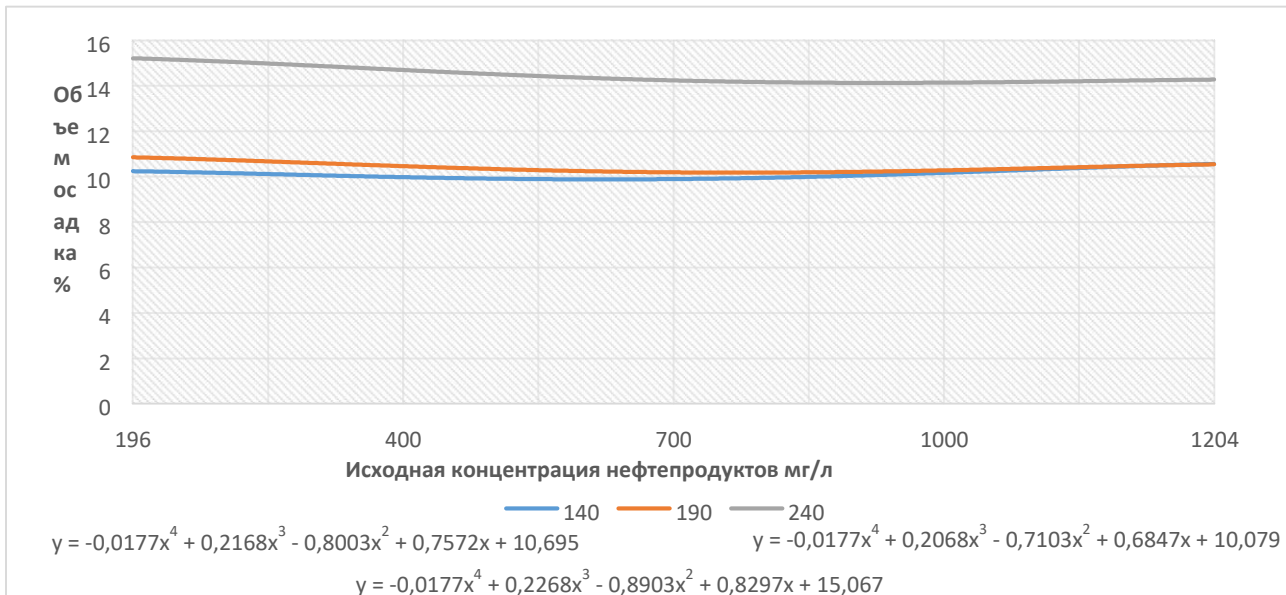


Рисунок 2.34 - Зависимость объема осадка от исходной концентрации разных доз коагулянта

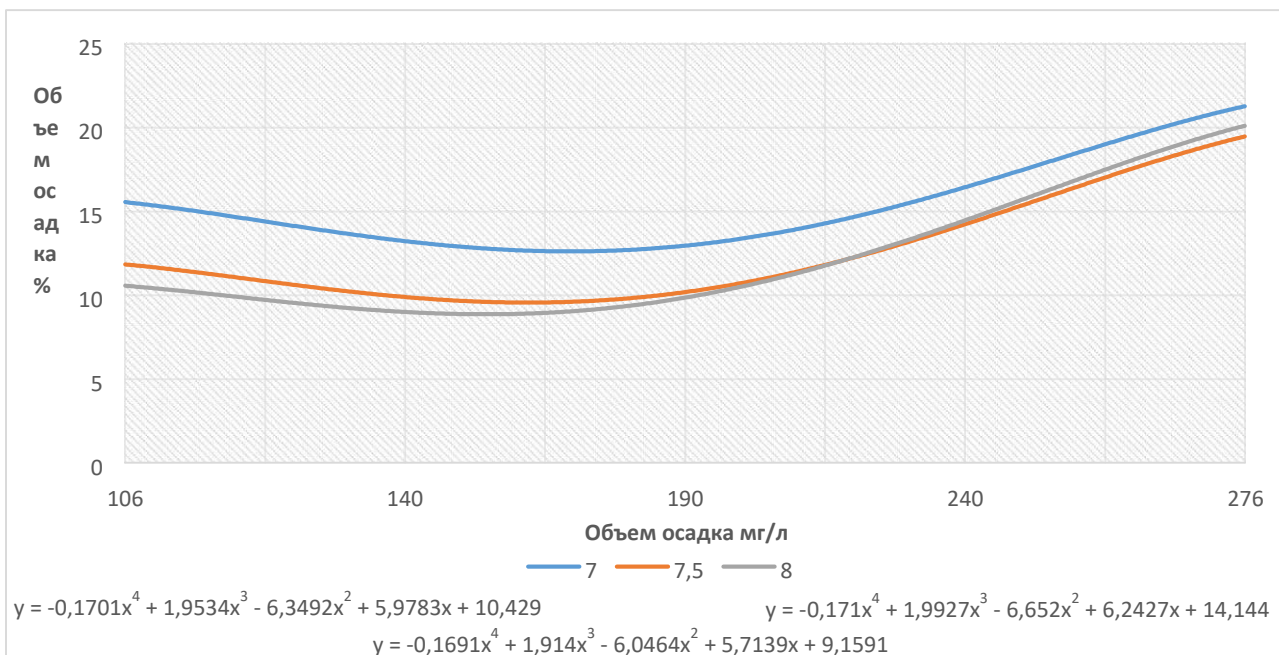


Рисунок 2.35 - Зависимость объема осадка от дозы коагулянта разных уровней среды pH

Полученные зависимости имеют нелинейный характер, что позволяет определить оптимальные их значения.

Из рисунков 2.29-2.35 следует, что в перспективе при пониженном уровне pH, дозы коагулянта или исходной концентрации наилучшими показателями обладают пониженные факторы, а при их повышении, наилучшими показателями будут иметь повышенные факторы.

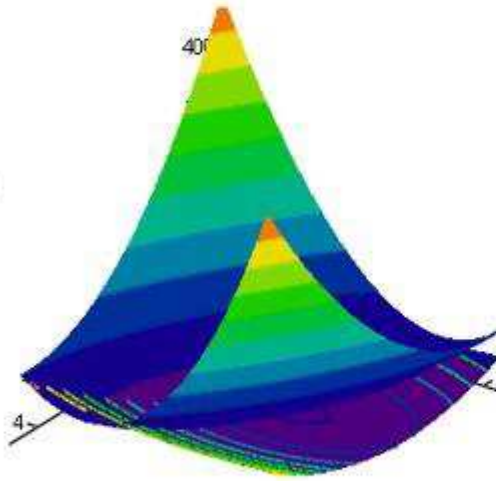
Наилучшие показатели содержания остаточной концентрации и объема осадка проявляются при  $D_k=190\text{мг/дм}^3$ ,  $C_{\text{нп}}^{\text{исх}}=700\text{мг/дм}^3$ , pH=7,5.

Таким образом, проведённые исследования позволили математически описать процесс очистки нефтесодержащих сточных вод для определения оптимальных режимов обработки (доза  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} - 0,35 \div 0,375$  г. на 1 г. эмульгированных нефтепродуктов; pH=7,5).

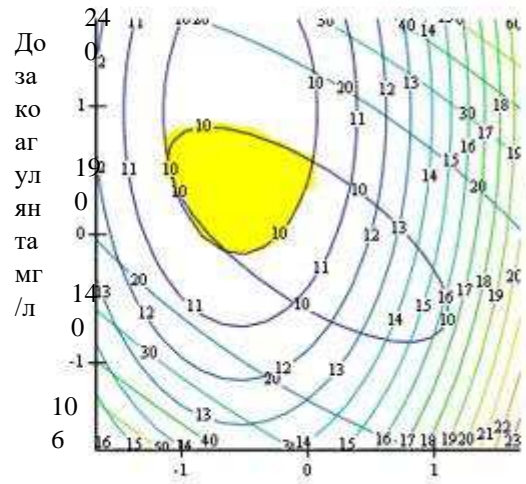
$$1. X_1=0$$

$$Y_{н1}(X_{н2}, X_{н3}) = 7.348 + 4.283X_{н2}^2 + 7.543 \cdot X_{н3}^2 + 8.05 \cdot X_{н2} \cdot X_{н3}$$

$$Y_{з1}(X_{з2}, X_{з3}) = 10.391 + 2.218 \cdot X_{з2} - \frac{27}{6} \cdot 1.213 \cdot X_{з3} + 2.069 \cdot X_{з2}^2 + 0.637 \cdot X_{з3}^2$$



Y<sub>н1</sub>, Y<sub>з1</sub>



Y<sub>н1</sub>, Y<sub>з1</sub>

По полученным уравнениям строим графики в среде Mathcad при фиксации одного из переменных параметров (+1,68; +1; 0; -1; -1,68). Фиксированным параметром принимаем  $X_1$ .

6,6      7      7,5      8      8,16

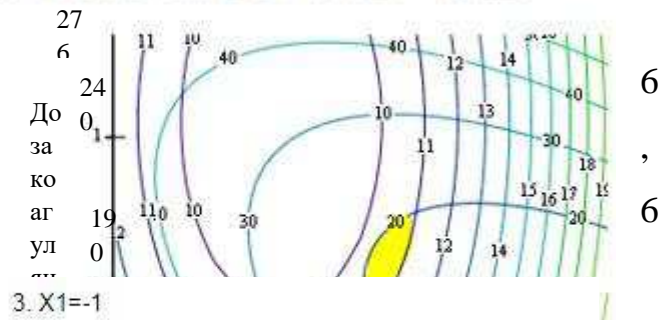
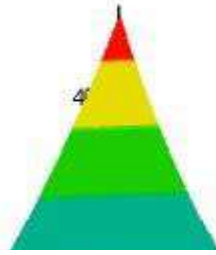
Уровень P<sub>н</sub> – среды

Рисунок 2.41 – Регулировочная диаграмма при исходной концентрации нефтепродуктов 700 мг/дм<sup>3</sup>

2. X1=1

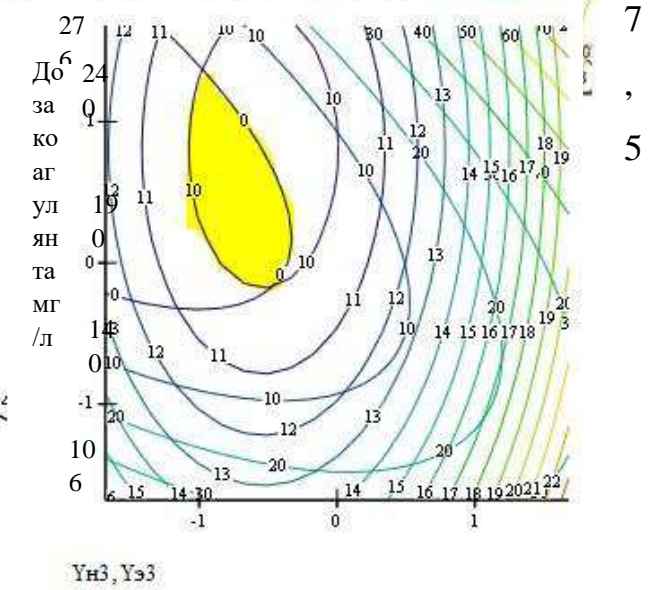
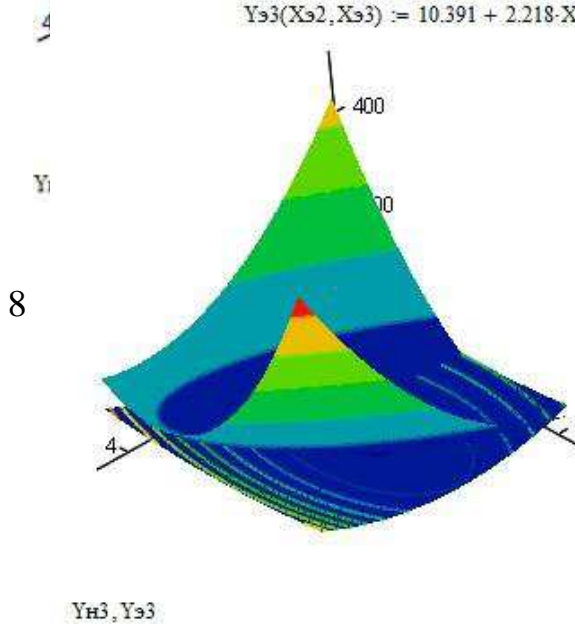
$$Y_{н2}(X_{н2}, X_{н3}) := 7.348 + 4.283X_{н2}^2 + 7.543 \cdot X_{н3}^2 + 8.05 \cdot X_{н2} \cdot X_{н3} + 8.353 + 4.461 - 11.225X_{н2}$$

$$Y_{э2}(X_{э2}, X_{э3}) := 10.391 + 2.218 \cdot X_{э2} - 1.213 \cdot X_{э3} + 2.069 \cdot X_{э2}^2 + 0.637 \cdot X_{э3}^2 - 0.188X_{э3}$$



$$Y_{н3}(X_{н2}, X_{н3}) := 7.348 + 4.283X_{н2}^2 + 7.543 \cdot X_{н3}^2 + 8.05 \cdot X_{н2} \cdot X_{н3} - 8.353 + 4.461 + 11.225X_{н2}$$

$$Y_{э3}(X_{э2}, X_{э3}) := 10.391 + 2.218 \cdot X_{э2} - 1.213 \cdot X_{э3} + 2.069 \cdot X_{э2}^2 + 0.637 \cdot X_{э3}^2 + 0.188X_{э3}$$



8,16

Уровень Pн – среды

Рисунок 2.42 – Регулировочная диаграмма при исходной концентрации нефтепродуктов 1000мг/дм<sup>3</sup>

6,6      7      7,5      8      8,16

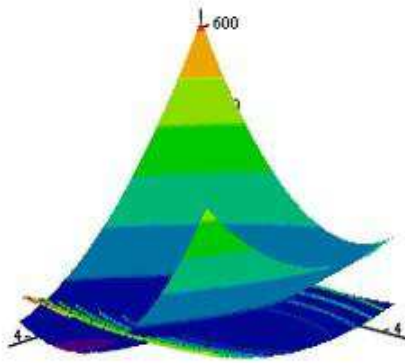
Уровень Pн – среды

Рисунок 2.43 – Регулировочная диаграмма при исходной концентрации нефтепродуктов 400мг/дм<sup>3</sup>

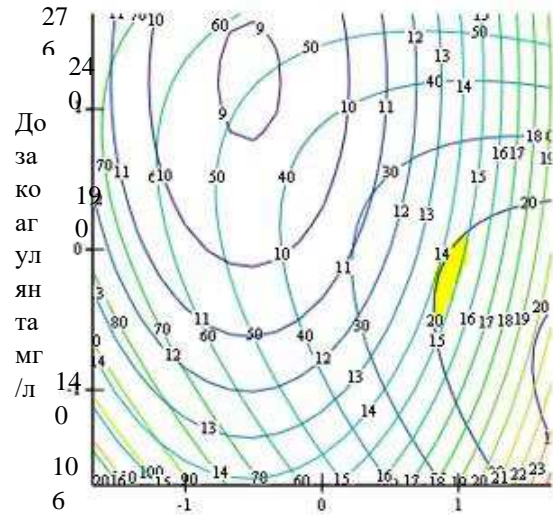
$$4. X1=1,68$$

$$Y_{н4}(X_{н2}, X_{н3}) := 7.348 + 4.283X_{н2}^2 + 7.543 \cdot X_{н3}^2 + 8.05 \cdot X_{н2} \cdot X_{н3} + 8.353 \cdot 1.68 + 4.461 \cdot 1.68^2 - 11.225 \cdot 1.68X_{н2}$$

$$Y_{э4}(X_{э2}, X_{э3}) := 10.391 + 2.218 \cdot X_{э2}^2 - 1.213 \cdot X_{э3} + 2.069 \cdot X_{э2}^2 + 0.637 \cdot X_{э3}^2 - 0.188 \cdot X_{э3} \cdot 1.68$$



Y<sub>н4</sub>, Y<sub>э4</sub>



Y<sub>н4</sub>, Y<sub>э4</sub>

6,6      7      7,5      8      8,16

Уровень P<sub>н</sub> – среды

Рисунок 2.44 – Регулировочная диаграмма при исходной концентрации нефтепродуктов 1204мг/дм<sup>3</sup>

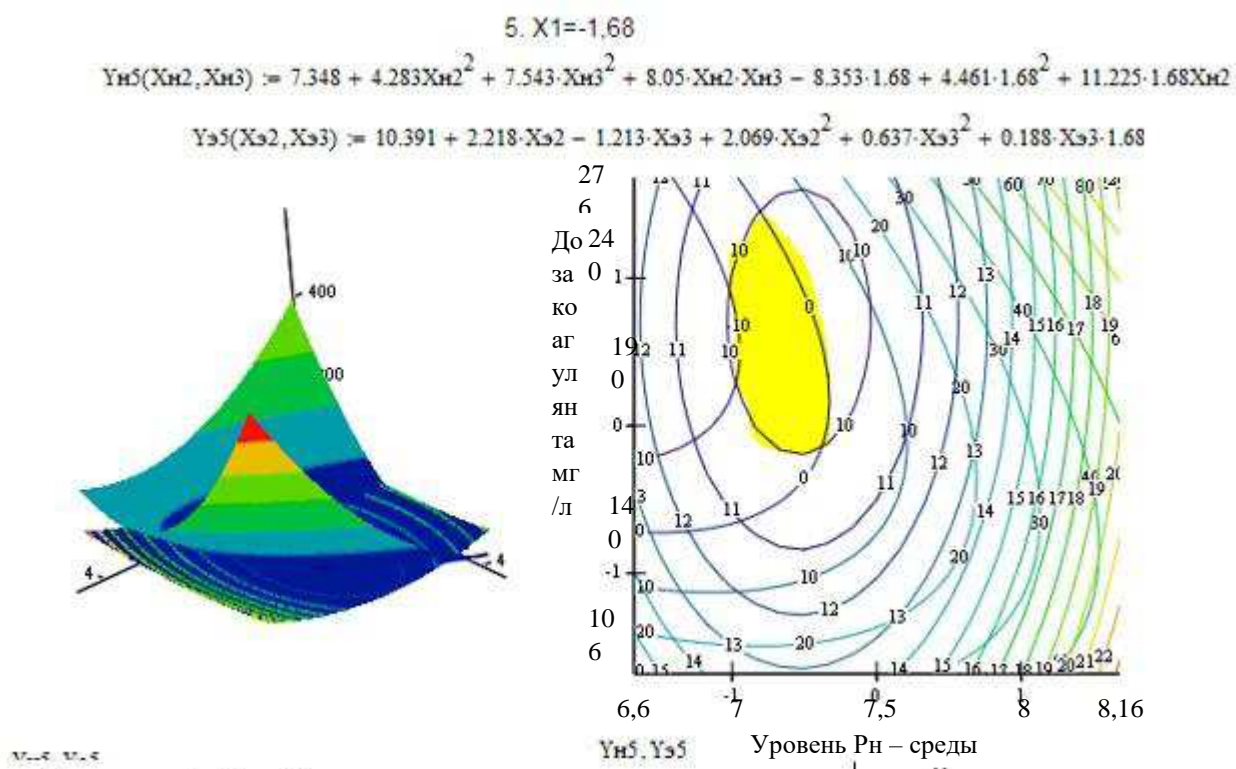


Рисунок 2.45 – Регулировочная диаграмма при исходной концентрации нефтепродуктов 196мг/дм<sup>3</sup>

Полученные уравнения были оптимизированы диссоциативно-шаговым методом. Оптимизация позволяет получить диаграммы, спомощью которых можно регулировать процесс реагентной очистки сточных вод, сучетом техникоэкономических показателей.

По полученным графикам определяем оптимальные режимы процесса обезвреживания. Оптимальные режимы определяются в местах пересечения поверхностей, с наименьшими выходными параметрами. Данные области пересечения показаны на рисунках маркёром желтого цвета.

Как видно из графиков повышение содержания концентрации нефтепродуктов в обрабатываемой воде приводит к смещению области совместной оптимальности в сторону увеличения дозы коагулянта и уменьшения уровня Рн – среды. При низкой концентрации нефтепродуктов в



воде происходит смещение области в сторону уменьшения дозы коагулянта и повышении среды  $R_n$  – среды.

Таким образом, проведенная оптимизация реагентной очистки сточных вод позволяет регулировать процесс очистки для минимизации оценочных критериев.

## **4 Усовершенствование технологической схемы очистки Нефтедержащих сточных вод**

### **4.1 Общие сведения**

В настоящее время разработаны и осуществляются программы реконструкции разных отраслей производства, что влечет за собой изменение качества и количества сточных вод.

Существуют актуальные проблемы, связанные с очисткой сточных вод образующихся на предприятии. Отметим некоторые:

1. Неспособность очистных сооружений обеспечить требуемую степень очистки. Обновление очистных сооружений осуществляется достаточно редко, поэтому физическое и технологическое устаревание сооружений не всегда позволяет рассчитывать на их удовлетворительную работу. Также из других причин это изменение свойств и количества сточных вод, в связи с постепенно модифицирующими сооружениями и технологиями производства.

2. Отсутствие эффективных экономических стимулов для рационального использования водных ресурсов. Из эффективных способов уменьшения использования воды, следовательно, и уменьшение сбрасываемых стоков, является наличие оборотного водоснабжения или повторно-последовательного водоснабжения.

3. Значительное губительное влияние на окружающую среду также оказывает отсутствие на большинстве предприятий сооружений по обработке и утилизации осадка.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности и необходимости совершенствования технологий и схем очистки сточных вод.

#### **4.2 Усовершенствованная схема очистки нефтесодержащих сточных вод**

##### **Описание схемы**

Технологическая схема очистки сточных вод, представленная на рисунке 4.2, является эффективной для очистки нефтесодержащих сточных вод, и обеспечивает более глубокую очистку от растворенных и эмульгированных нефтепродуктов. Более глубокая очистка проходит за счет процесса коагуляции и образования хлопьев осадка, сорбирующих нефтепродукты и взвешенные вещества. Современным решением является то, что в отстойники установлены

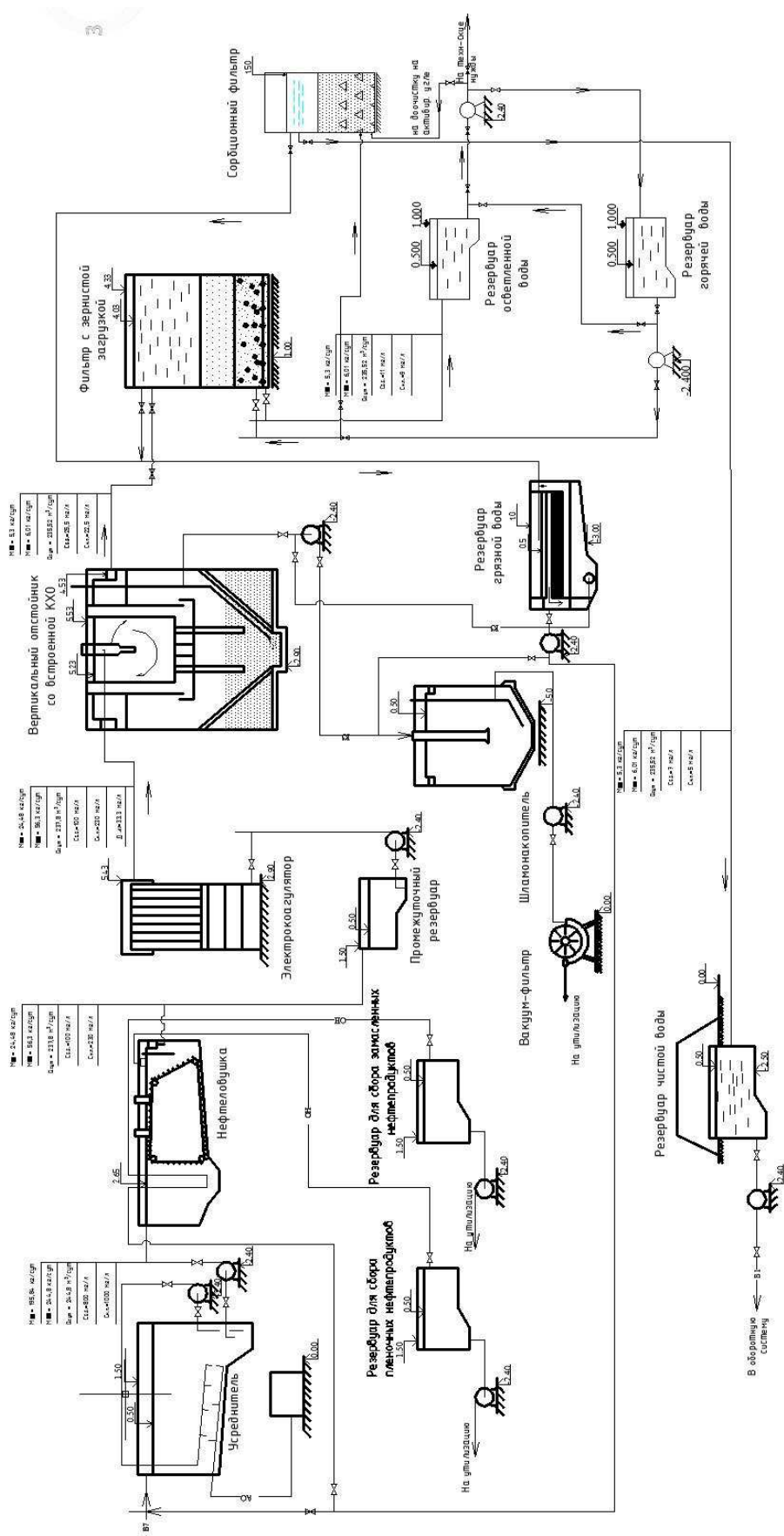
тонкослойные модули. Они ускоряют процессы седиментации осадка и сокращают время нахождения сточных вод в отстойниках.

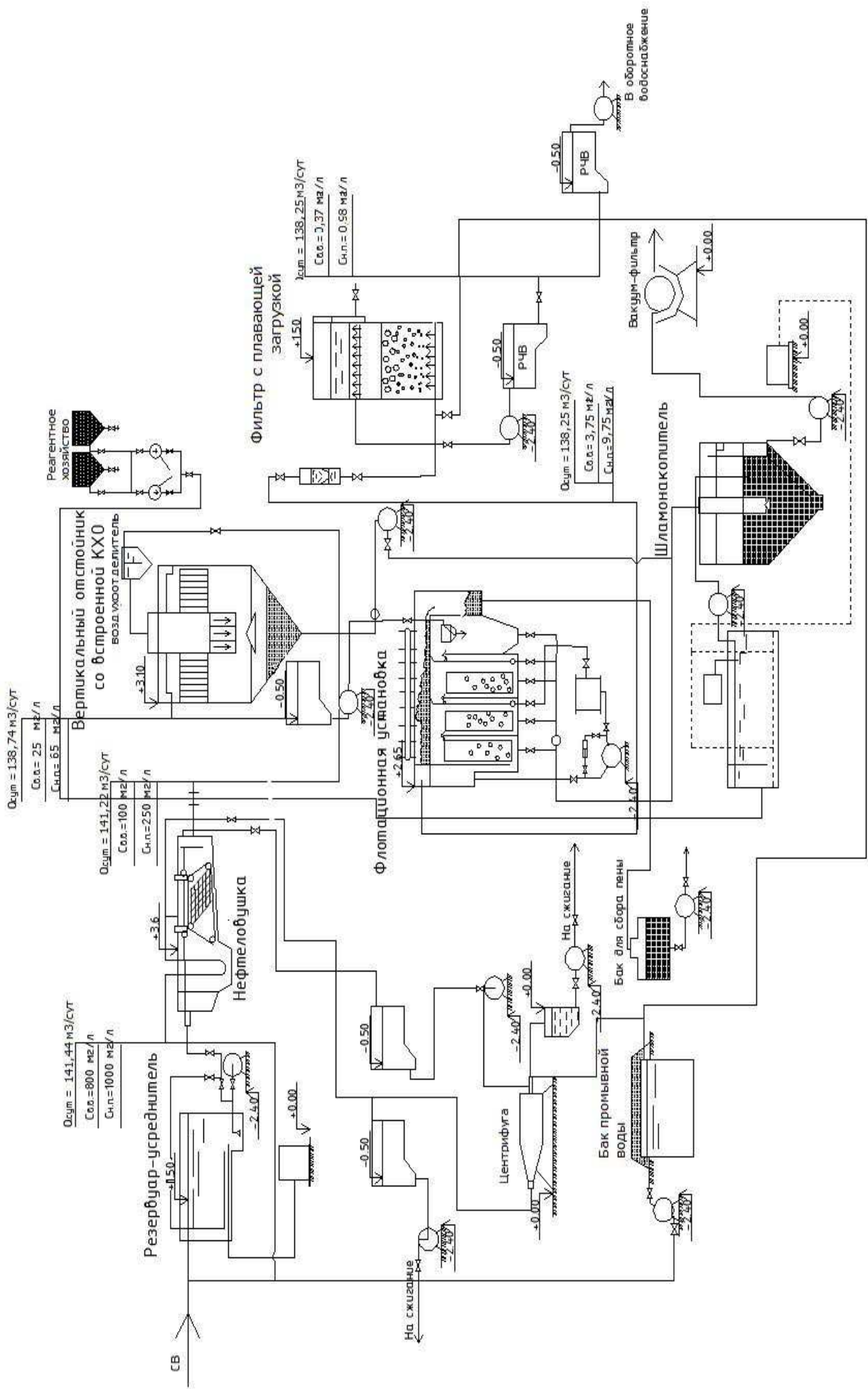
Подача коагулянтов, флокулянтов и известкового молока осуществляется с помощью струйного распределителя реагентов, монтируемых прямо в трубопровод, что позволяет ускорить и упростить процесс добавления необходимых веществ.

В технологическую схему были добавлены напорные флотаторы, для более глубокой очистки от эмульгированных нефтепродуктов.

Схема включает следующие процессы: нефтесодержащие стоки попадают в резервуар-усреднитель, где регулируется расход и состав сточной воды. Затем насосом из резервуара-усреднителя, сточная вода подается в нефтеловушку с тонкослойными модулями, позволяющие сократить время нахождения стоков в ней и повысить эффективность очистки. Далее, стоки перемешиваются с коагулянтом, с помощью распределителя реагентов, вмонтированного в трубопровод и попадают в расположенную в центральной части отстойника камеру хлопьеобразования и затем, после ее прохождения, вместе с образующимися хлопьями проходят последовательно распределительную зону и тонкослойные модули. Осадок из отстойника сбрасывается через систему удаления осадка. Осветленная вода через сборные желоба отводится из сооружения в промежуточный резервуар, откуда насосом подается в напорный бак для насыщения воздухом. Далее сточная вода поступает во флотационную камеру, в которой выделяются пузырьки воздуха. Пузырьки адсорбируют на свою поверхность гидрофобные частицы эмульгированных нефтепродуктов. Флотокомплекс пузырек-частица поднимается на поверхность установки и образует флотошлам. Флотошлам в свою очередь удаляется скребковыми механизмами. Для доочистки сточных вод предусмотрен фильтр с плавающей загрузкой из вспененного пенополистирола. Данный фильтр обеспечивает тонкую глубокую очистку от растворенных нефтепродуктов. Очищенные

сточные воды поступают в резервуар чистой воды ,откуда насосом подаются в оборотную систему завода.





сх  
ем  
а  
оч  
ис  
тк  
и  
не  
фт  
ес  
од  
ер  
жа  
щ  
их  
ст  
оч  
ны  
х  
Ус  
дв  
ер  
ш  
ен  
ст  
во  
ва  
нн  
ая  
4.2  
Ри  
су  
но  
к

Таблица 4.2 – Сравнительные данные традиционной и усовершенствованной схем очистки сточных вод

<b>Показатели после очистки</b>	<b>Ед. изм.</b>	<b>Традиционная схема</b>	<b>Усовершенствованная схема</b>
Взвешенные вещества	мг/л	5-10	1-5
Нефтепродукты	мг/л	10-15	3-10
рН	-	8-9	8-9
Щелочность	мгэкв/л	0,2-6,2	0,2-6,2
Сухой остаток	мг/л	30-200	20-150
Окисляемость	мГО/л	100	100
SO <sub>4</sub>	мг/л	200-900	150-700
Cl	мг/л	20-500	20-500

Расчет усовершенствованной технологической схемы очистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий приведен в Приложении А.

#### 4.4 Технико-экономические показатели

Выбор рационального метода обработки нефтесодержащих сточных вод осуществляется по основным параметрам инвестиционной деятельности – объем инвестиций в основной капитал, продолжительность и интенсивность их осуществления по периодам строительства проектируемого объекта. При определении капитальных вложений (единовременных затрат) на осуществление инвестиционного проекта учитываем лишь прямые затраты в виде сметной стоимости строительства системы очистки нефтесодержащих сточных вод, состоящие из затрат:

- 1) на проведение строительных работ;
- 2) на приобретение оборудования; 3) на осуществление работ по монтажу оборудования и систем.

Выбор более экономичного варианта производился на основе сравнения суммарных денежных потоков от инвестиционной и операционной деятельности нескольких вариантов.

Вариант 1 (традиционный) - технологическая схема электрокоагуляционной очистки нефтесодержащих стоков с рециркуляцией части обрабатываемых стоков.

Вариант 2 (усовершенствованный) - технологическая схема очистки нефтесодержащих сточных вод при флотационной очистке и доочистке на фильтрах с плавающей загрузкой с рециркуляцией части обрабатываемых стоков.

В таблице 4.6 приведены технико-экономические показатели сравниваемых вариантов очистки нефтесодержащих сточных вод.



Из таблицы видно, что наиболее рациональным вариантом является технологическая схема очистки нефтесодержащих сточных вод при флотационной очистке и доочистке на фильтрах с плавающей загрузкой срециркуляцией части обрабатываемых стоков.

Таблица 4.6 - Сводная таблица технико-экономических показателей сравниваемых вариантов

п/п	Наименование показателей	Ед. изм	Инвестиционные проекты	
			Вариант 1	Вариант 2
1	2	3	4	5
	Капитальные вложения	т. руб.	7615,12	6989,6
	Эксплуатационные затраты	т.руб/год	3704,098	3562,797
	Приведенные затраты	т. руб.	4922,518	4681,133
	Себестоимость очистки	руб./м <sup>3</sup>	141,0	134,0
	Модифицированные приведенные затраты	т.руб.	19077,254	17970,92

Варианты:

1 (традиционный) - технологическая схема электрокоагуляционной очистки нефтесодержащих стоков с рециркуляцией части обрабатываемых стоков;

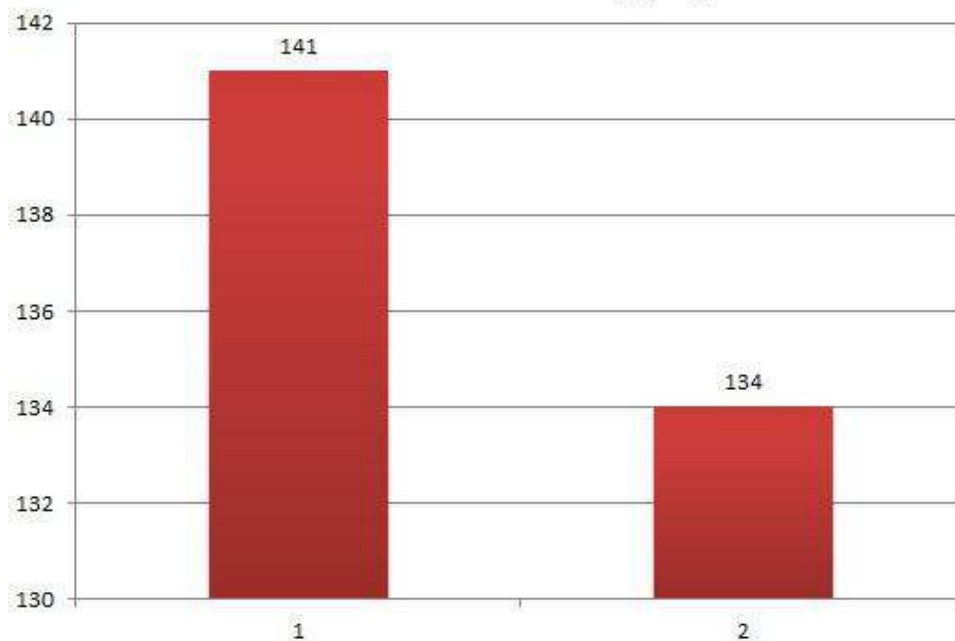
2 (усовершенствованный) - технологическая схема очистки нефтесодержащих сточных вод при флотационной очистке и доочистке на фильтрах с плавающей загрузкой срециркуляцией части обрабатываемых стоков.

На рисунках 4.3-4.5 приведены гистограммы изменения экономических показателей сравниваемых вариантов очистки нефтесодержащих сточных вод.



Рисунок 4.3– Сравнительная гистограмма эксплуатационных затрат технологических схем

### Себестомость очистки руб./м3

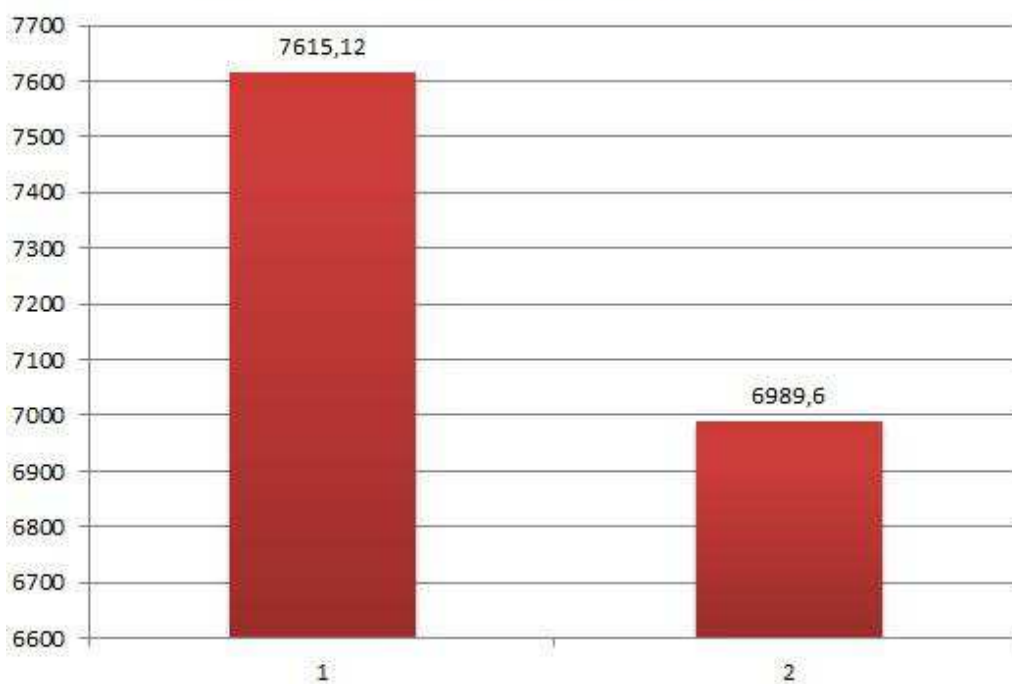


1 – традиционный вариант

2 – усовершенствованный вариант

Рисунок 4.4– Сравнительные гистограммы себестоимости очистки технологических схем

### Капитальные вложения тыс.руб.



1 – традиционный вариант

2 – усовершенствованный вариант

Рисунок 4.5– Сравнительные гистограммы капитальных вложений технологических схем

Вывод.

Произведен расчет вариантов технологических схем. Вследствие вывода о результатах расчета по технологическим параметрам и технико – экономическим параметрам, вариант предложенный усовершенствованной схемы очистки нефтесодержащих сточных вод является наиболее эффективным и рациональным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных источников позволил выявить наиболее эффективный и перспективный метод очистки нефтесодержащих сточных вод. В качестве рассматриваемого в данной работе метода очистки был принят физико – химический.

- 1) анализ литературных источников, публикаций по технологическим процессам очистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий.
- 2) предложение усовершенствованной автоматизированной системы очистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий;
- 3) моделирование рабочего процесса системы управления процессом флотации в программной среде SimInTechnic.
- 4) экспериментальные исследования реагентной очистки сточных вод, для выявления характера проведённых процессов и последующего математического моделирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. – Введ. 29.12.2011. – Москва: ОАО ФЦС, 2012. – 91 с.
- 2 СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. – Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85\*. – Введ. 29.12.2011. – Москва: ОАО ФЦС, 2012. – 65 с.
- 3 Халтурина Т.И. Современные технологии очистки производственных сточных вод, обработки и утилизации осадка [Электронный ресурс] : учебнометодический комплекс [для студентов напр. 08.04.01 «Строительство», профиля 08.04.01.00.01 «Водоотведение и очистка сточных вод»] / Сиб. федер. ун-т, Инж.-строит. ин-т
- 4 Долина, Л.Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод: Монография. – Днепропетровск: Континент, 2005. – 296 с. ISBN 966-7873-75-7/
- 5 Технологические процессы и производства / сост. Н. А. Секушин // Сыкт. лесн. ин-т. – Сыктывкар: СЛИ, 2008. – 48 с.
- 6 Баженов, В.И. Современный этап очистки сточных вод в России // Водочистка. – № 11. – 2013. – С. 49–56.
- 7 Пономарев, В.Г. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов / В.Г.Пономарев, Э.Г.Иоакимис, И.Л.Монгайт. – Москва: Химия, 1985. – 256 с.
- 8 Стахов, Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Ленинград: Недра, 1983. – 263 с.

9 Очистка сточных вод от нефтепродуктов, жиров и белков (основы технологии) /Мархасин И.Л., Измайлова В.Н., Утяшева Л.Х. и др.; Под ред. акад. И.В. Петрянова-Соколова. –Москва: ВИНТИ, 1988. – Т. 20. – 176 с.

10 Карелин Я.А., Попова И.А., Евсеева Л.А. и др. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов - М.: Стройиздат, 1982. – С. 41-43

11 Буцева, Л.И. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов катионными флокулянтами / Л.И.Буцева, Л.В.Гандурина // Физикохимические методы в технологии очистки промышленных сточных вод. – Москва, 1987. – С. 30–33.

12 Величанская, Л.А. Очистка нерегенерируемых маслоэмульсионных сточных вод машиностроительных предприятий смесями коагулянтов и флокулянтов / Л.А.Величанская, В.В.Образцов // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Коагулянты и флокулянты в очистке природных и сточных вод», Одесса, 12–14 окт., 1988 г. – Киев, 1988. – С. 16 – 17.

13 Артемова, В.А.Флотационная очистка вод с помощью коагулянтов / В.А.Артемова, Л.Г.Ширинкин, Л.Д.Скрылев // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Коагулянты и флокулянты в очистке природных и сточных вод», Одесса 12–14 окт. 1988 г. – Киев,1988. – С. 5.

14 Артемова, В.А. Физико–химические основы процесса выделения дисперсной фазы эмульсий минеральных масел с помощью коагулянтов и собирателей / В.А.Артемова, Л.Д.Скрылев // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Коагулянты и флокулянты в очистке природных и сточных вод», Одесса 12–14 окт. 1988 г. – Киев,1988. – С. 6.

15 Запольский, А.К. Механизм коагуляционной очистки воды сульфатом алюминия // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Коагулянты и флокулянты в очистке природных и сточных вод», Одесса 12–14 окт. 1988 г. – Киев,1988. – С. 33.

16 Повышение эффективности работы действующих сооружений физико-химической очистки промышленных сточных вод / И.Н.Мясников,

Ю.А.Меншутин, К.Г. Чесновицкий и др. // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Коагулянты и флокулянты в очистке природных и сточных вод», Одесса 12–14 окт. 1988 г. – Киев, 1988. – С. 142 – 143.

17 А.с. 981240 СССР, МКИ 4 С 02 F 1/46. Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов / Т.Я.Халтурина, Ф.М.Пазенко, Г.М.Зограф и др.

18 Пазенко, Т.Я. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных воде: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ленинград, 1990. – 21 с.

19 А.с. 1518308 СССР, МКИ 4 С 02 F 8 1/46. Способ очистки сточных вод / В.Д. Назаров.

20 Заявка 1–17433 Япония, МКИ 4 С 02 F 8 1/72,1/44,1/54. Способ обработки содержащих масла сточных вод.

21 Дерягин, Б.В. Микрофлотация: водоочистка, обогащение / Б.В.Дерягин, С.С.Духин, Н.П.Рулев. –Москва: Химия, 1989. – 112 с.

22 Демихова, З.Н. Интенсификация процесса удаления из сточных вод нефтепродуктов при помощи флотации: Автореф. дис.... канд. наук. – Таллинн, 1989. – 16 с.

23 Исабенов, А.П. Очистка маслосодержащих сточных вод с применением озонирования и флотации / А.П.Исабенов, Е.К.Рощин, Е.В.Евдокимова // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Коагулянты и флокулянты в очистке природных и сточных вод», Одесса, 12–14 окт. 1988 г. – Киев, 1988. – С. 80–84.

24 Балтрушис, Р.С. Реагентный состав для очистки нефте-содержащих сточных вод / Р.С.Балтрушис, Р.Н.Кублицкене, Б.Ю.Милукас // Материалы конференции «Достижения технических наук в республике и внедрение их результатов». – Вильнюс, 1989. – С. 23.

25 Алексеев А. А. Перспективы применения реагентов и фильтрующих материалов для очистки воды в США / А.А. Алексеев// Водоснабжение и санитарная техника. 1976. - № 11.-С. 33-34.



26 Патюк, Л.К. Применение поливинилового спирта в процессах удаления нефтепродуктов из водных сред / Л.К.Патюк, А.А.Панасевич, Н.А.Неминская // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Коагулянты и флокулянты в очистке природных и сточных вод», Одесса, 12–14 окт. 1988 г. – Киев, 1988. – С. 146–147.

27 Шатц, В.Д. Концентрирование микропримесей из воды и их анализ методом ВЭЖХ / В.Д.Шатц, О.В.Сахартова // Курск.– Москва, 1990. – С. 56. 28 Матов, Б.М. Электрофлотационная очистка сточных вод. – Кишинев, 1982. – 169 с.

29 Анопольский, В.Н. Интенсификация флотационной очистки нефтесодержащих вод с использованием электролизера с газовым слоем: автореф. дис.... канд. техн. наук. – Ленинград, 1983. – 24 с.

30 Электрохимическая очистка сточных вод от растворимых загрязнений / П.П.Ермаков, А.В.Бахарев, С.А.Стрига, С.А. Гончаренко // Химическая промышленность. – 1990. – № 6. – С. 19–20.

31 Захватов Г.И. Очистка воды от нефтепродуктов электроннойнейтрализацией. /Г.И. Захватов, В.Н. Никулин, В.К. Шевченко, Л.Ф.Поленов // Водоснабжение и санитарная техника.- 1985.- №2.С.-19-20.

32 А.с. 1560481 СССР, МКИ 5 С 02 F 8 1/46. Электролизер для очистки нефтесодержащих вод / С.А.Сандаков, А.А.Бурба, В.О.Рязанов, Р.П. Васильев.

33 А.с. 1451099 СССР, МКИ С 02 F 8 1/28. Способ очистки вод от нефтепродуктов и масел / В.М.Мочаров, П.В.Савицкая, О.А.Егорова и др.

34 А.с. 1444307 СССР, МКИ 4 С 02 F 8 1/28, О 01 N 30/08. Способ концентрирования нефтепродуктов из водных сред / А.Н.Сенин, В.Д.Горчаков, М.В.Денисова и др.

35 А.с. 1452550 СССР, МКИ 4 В 01 Д 35/06, В 03 С 1/100. Способ очистки сточных вод / Ю.П.Беличенко, А.П.Береза, Т.Р. Рудин и др.

- 36 Гладких Ю.Ф. Флотационная очистка промышленных сточных вод с применением гидрофобных адсорбентов/ Ю.Ф.Гладких, Б.Г.Содномов / Водоснабжение и санитарная техника.- 1984.- № 2.- С- 24-25.
- 37 Павлик, П.Е. Сорбент для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды / П.Е.Павлик, А.Д.Бочманов // Москва, 1989. – С. 444.
- 38 Яковлев, В.С. Хранение нефтепродуктов. Проблемы защиты окружающей среды. –Москва: Химия, 1987. – 152 с.
- 39 Байкова, С.А. Глубокая очистка малоконцентрированных по нефтепродуктам сточных вод фильтрованием: автореф. дис.... канд. техн. наук. – Москва, 1988. – 23 с.
- 40 Тимошенко, М.Н. Применение активных углей в технологии очистки воды и сточных вод / М.Н.Тимошенко, Н.А.Клеменко // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12, N 8. – С. 727–738.
- 41 Минкова, В. Очистка сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, при помощи адсорбента из углей / В.Минкова, Л.Люцканов, Г.Анилова// С. 766–774.
- 42 Чистова Л.Р., Рогач Л.М., Пехтерева В.С. и др. Удаление нефтепродуктов из сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 1988. – N 8. – С. 22–23.
- 43 Гусар Ф.Г. О совершенствовании схемы очистки сточных вод от нефтепродуктов // Электр. станции. – 1988. – N 8. – С. 45–48.
- 44 Грицев Н.Д. Доочистка сточных вод от нефти фильтрацией через древесную стружку/ Н.Д. Грицев, В.Г. Сынкова// Водоснабжение и санитарная техника.-1958.-№11.-С. 31-32.
- 45 А.с. 1458321 СССР, МКИ 4 С 02 8 1/28. Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов / Черкашин В.Н., Кошутин В.П., Воробьева Л.И. и др.
- 46 Казначеева З.В. Очистка сточных вод сорбентом, полученным из отходов нефтяного кокса: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – М., 1986. – 19 с.

- 47 Хохлова А.Д., Немцев В.А., Тарнопольская М.Г. Выбор минеральных и углеродных сорбентов для извлечения нефтепродуктов из сточных вод на намывных фильтрах // Физикохимическая очистка и методы анализа промышленных сточных вод. – М., 1988. – С. 5–7.
- 48 Ахмедова П.Р., Переяслова Г.А. Очистка сточных вод от нефтепродуктов // Цв. металлургия. – 1988. – N 12. – С. 59–61.
- 49 Удаление нефтепродуктов из сточных вод / Л.Р.Чистова, Л.М.Рогач, В.С. Пехтерева и др. // Водоснабжение и сан. техника. – 1988. – N 8. – С. 22–23.
- 50 Родзиллер И.Д. Доочистка сточных вод предприятий нефтехимической промышленности в биологических прудах/И.Д. Родзиллер И.Д., Зотов В.М.// Водоснабжение и санитарная техника.- 1972.- №7.
- 51 Родин В.Н. Биологическая очистка сточных вод в аэротенках с прикрепленной микрофлорой/В.Н.Родин, А.Ф.Афанасьева, А.Е. Ловцов//Водоснабжение и санитарная техника 1990.- № 5.- С.23.
- 52 Сажин, Б.С. Экологическая безопасность технологических процессов/ Б.С. Сажин, О С. Кочетов, Л.И. Гудим, Л.М. Кочетов. – М. – 2007. – 391 с.
- 53 Очистка производственных сточных вод / С.В. Яковлев и [др.] – М. : Стройиздат, 1985. – 333 с.
- 54 Ксенофонтов, Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы / Б.С. Ксенофонтов. – М.: Новые технологии, 2010. – 272 с.
- 55 Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: Информационный сборник / В.В. Абрамов и др.; под общей ред. В.Я. Путилова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 388 с.
- 56 Иоакимис Э.Г. Флотационная очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов/ Э.Г. Иоакимис, Р.В. Калнина, Б.А.

Миткалев// Нефтепереработка: Новости нефтяной техники.- 1958. -№ 10.- С. 13-18.

57 Ветошкин А.Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы): Учебное пособие. / А.Г. Ветошкин, К.Р. Таранцева. – Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. – С.167–168.

58 Основы методики расчета флотационных установок с пневмогидравлической системой аэрации / Б.С. Ксенофонтов, Д.В. Сазонов // Сантехника. – 2015. – Т. 6. – № 6. – С. 26–29.

59 Ксенофонтов Б.С. Флотационная очистка сточных вод от эмульгированных загрязнений [Электронный ресурс] / Б.С. Ксенофонтов, А.С. Козодаев, С.Н. Капитонова, М.В. Иванов, С.Д. Морозов, Р.А. Таранов, А.А. Балина. Режим доступа: [voda-proekt.narod.ru>statiyi/Floto\\_NP\\_ned\\_gor.doc](http://voda-proekt.narod.ru/statiyi/Floto_NP_ned_gor.doc).

60 Ксенофонтов, Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы / Б.С. Ксенофонтов. – М.: Новые технологии, 2010. – 272 с.

61 Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: Информационный сборник / В.В. Абрамов и др.; под общей ред. В.Я. Путилова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 388 с.

62 Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения / А.А. Рульников, К.Ю. Евстафьев. – Москва: Инфра-М, 2010. – 208 с.

63 Дядик В.Ф. Теория автоматического управления: учебное пособие [Электронный ресурс] / В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Криницын; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.


## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**ВСТАВИТЬ СТАТЬЮ**

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-строительный институт  
Кафедра Строительных материалов и технологий строительства

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой

 И.Г. Енджиевская





« 25 » 06 2021 г.

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема: Автоматизация процесса очистки загрязнений воды промышленных  
предприятий

08.04.01 Строительство

08.04.01.00.07 Комплексная механизация и автоматизация строительства

Научный руководитель		проф., д-р. техн. наук	<u>Р.Т. Емельянов</u>
Выпускник			<u>Е.А. Воробьева</u>
Рецензент		проф., д-р техн. наук	<u>В. И. Иванчура</u>
Нормоконтролер		доц., канд. техн. наук	<u>Е.С. Турышева</u>

Красноярск 2021