

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

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Т.А Кулагина  
подпись            инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»

Разработка технологии обработки осадков замасленных сточных вод  
теплоэнергетической промышленности

Руководитель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

к.т.н., доцент  
должность, учёная степень

О.В. Чурбакова  
инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

М.О. Владыковская  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Е.Н. Зайцева  
инициалы, фамилия

Красноярск 2019

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

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Т.А Кулагина  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме бакалаврской работы**

Студенту Владыковской Марии Олеговне  
Группа ФЭ15-10Б Направление (специальность) 20.03.01  
«Техносферная безопасность»

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка технологии обработки осадков замасленных сточных вод теплоэнергетической промышленности»

Утверждена приказом по университету №18983/с от 17.12.2018 г.

Руководитель ВКР: Чурбакова О.В. к.т.н., доцент СФУ ПИ кафедра ИЭиБЖД.

Исходные данные для ВКР: научно-исследовательские статьи, патенты, справочная литература и технологические инструкции.

Перечень разделов ВКР: обзор литературных источников по методам обработки и утилизации; существующие положения по очистке замасленных сточных вод на предприятии в теплоэнергетической промышленности; технологический расчет схемы обработки осадка известковым молоком  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; технологический расчет схемы кондиционирования замасленного осадка при электрокоагуляционной обработке; технико-экономическое обоснование выбора рациональной технологической схемы кондиционирования маслосодержащего осадка

Перечень графического и иллюстрационного материала с указанием основных чертежей, плакатов:

Лист 1: Основные методы обезвоживания и утилизации осадков промышленных сточных вод.

Лист 2: Технологическая схема очистки замасленных сточных вод ТЭЦ.

Лист 3: Схема установки для электрообработки осадка

Лист 4: Свойства осадка при обработке постоянным и асимметричным током.

Лист 5: Техничко-экономическое обоснование выбора рациональной технологической схемы кондиционирования маслосодержащего осадка.

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись

О.В. Чурбакова

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

М.О. Владыковская

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК  
выполнения ВКР**

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения
Сбор и анализ исходной литературы и документации	11.05.2019 – 19.05.2019
Постановка основной задачи, освоение расчетных методик	20.05.2019 – 02.06.2019
Выполнение расчетов, оформление результатов, составление выводов	03.06.2019 – 16.06.2019
Оформление расчетно-пояснительной записки	17.06.2019 – 01.07.2019
Графическое оформление чертежей	02.07.2019 – 09.07.2019
Оформление прочей документации	10.07.2019 – 14.07.2019

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель

\_\_\_\_\_  
подпись

О.В. Чурбакова

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
подпись

М.О. Владыковская

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка технологии обработки осадков замасленных сточных вод теплоэнергетической промышленности» содержит 62 страницы текстового документа, 24 использованных литературных источников, 5 листов графического материала.

**ЗАМАСЛЕННЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА, ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЯ, ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД, ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКОВ.**

Объектом исследования является изучение процессов обработки осадков замасленных сточных вод.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки современной технологии обработки замасленных осадков сточных вод предприятий теплоэнергетической отрасли для снижения техногенного воздействия на окружающую среду.

Целью работы является совершенствование технологии обработки осадков сточных вод в теплоэнергетической отрасли, обеспечивающей улучшение водоотдающих свойств для последующей утилизации.

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи: изучение литературных источников по методам обработки и утилизации; рассмотрение существующих положений по очистке замасленных сточных вод на предприятии в теплоэнергетической промышленности; выполнение технологического расчета схемы обработки осадка известковым молоком  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и электрокоагуляцией; приведение технико-экономического обоснования выбора рациональной технологической схемы кондиционирования маслосодержащего осадка.

В ходе данной работы был изучен теоретический материал, касающийся технологий по очистке и обработке осадков замасленных сточных вод. Выполнены расчеты по технологической схеме с учетом  $Q = 96 \text{ м}^3/\text{сут}$ , рассчитана технологическая схема при реагентной и электрокоагуляционной обработке маслосодержащего осадка, как показывает анализ литературных источников она отличается простотой устройств, ограниченным расходом реагентов, автоматическим управлением процессами. Техничко-экономическое сравнение вариантов технических решений позволило сделать вывод о том, что технологическая схема осадка при электрокоагуляционной обработке является экономически выгодной.

**АННОТАЦИЯ**  
**к выпускной квалификационной работе**  
**на тему: «Разработка технологии обработки осадков замасленных**  
**сточных вод теплоэнергетической промышленности»**

Бакалаврская работа выполнена на 62 страницах, включает 8 таблиц, 12 рисунков, 24 литературных источников и 5 листов графического материала.

Объектом исследования является нефтеперерабатывающий завод.

Целью исследования является совершенствование технологии обработки осадков сточных вод в теплоэнергетической отрасли, обеспечивающей улучшение водоотдающих свойств для последующей утилизации

В бакалаврскую работу входит задание, реферат, аннотация, введение, три главы, итоговое заключение по работе.

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

В первой главе приведен обзор литературных источников по методам обработки и утилизации.

Во второй главе рассмотрено описание технологического процесса очистки замасленных сточных вод и произведены расчеты предполагаемого оборудования обработки осадка.

В третьей главе представлено технико-экономическое обоснование выбора рациональной технологической схемы кондиционирования маслосодержащего осадка.

В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 Анализ литературных источников и патентной документации по методам обработки осадков промышленных сточных вод.....	11
2 Технологическая схема очистки замасленных сточных вод.....	18
2.1 Существующие положения по очистке маслосодержащих сточных вод на предприятии теплоэнергетической промышленности.....	20
2.1.1 Исследование процесса кондиционирования осадка.....	22
2.1.2 Методика определения свойств осадка.....	22
2.2 Технологический расчет схемы обработки осадка известковым молоком.....	25
2.2.1 Расчет шламоуплотнителя.....	26
2.2.2 Расчет резервуара - усреднителя.....	27
2.2.3 Расчет механического смесителя пропеллерного типа.....	28
2.2.4 Расчет контактной камеры.....	29
2.2.5 Расчет вертикального отстойника.....	30
2.2.6 Расчёт вакуум-фильтра.....	31
2.2.7 Расчет резервуара для сбора обезвоженного осадка.....	32
2.2.8 Расчет резервуара для сбора надильной воды.....	33
2.2.9 Аварийные иловые площадки.....	33
2.2.10 Расчет реагентного хозяйства.....	33
2.2.10.1 Приготовление известкового молока.....	33
2.2.10.2 Склады реагентов.....	34
2.2.10.3 Дозирование растворов реагентов.....	35
2.3 Технологическая схема кондиционирования осадка при электрокоагуляционной обработке.....	36
2.3.1 Расчет электролизера с алюминиевыми электродами.....	37
2.3.2 Результаты электрообработки осадка.....	39
3 Технико-экономическое обоснование выбора рациональной технологической схемы кондиционирования маслосодержащего осадка.....	43
3.1 Эксплуатационные годовые затраты.....	44

3.1.1 Амортизационные отчисления .....	44
3.1.2 Затраты на капитальный ремонт .....	48
3.1.3 Расчет затрат на электроэнергию .....	48
3.1.4 Стоимость реагентов и других основных материалов.....	51
3.1.5 Затраты на оплату труда.....	52
3.1.6 Прочие расходы .....	52
3.2 Приведенные затраты .....	55
3.3 Себестоимость обработки1 м <sup>3</sup> осадка.....	55
3.4 Модифицированные приведенные затраты .....	56
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>59</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>60</b>



## ВВЕДЕНИЕ

В теплоэнергетической промышленности сточной водой является любой поток воды, выводимый из технологического цикла. Большая часть воды, участвующей в технологическом цикле теплоэнергетической промышленности, расходуется в системах охлаждения установок, аппаратов, а также отдельных механизмов. Такими аппаратами, установками и механизмами могут являться: конденсаторы турбин, воздухоохладители, движущиеся механизмы и др. Относительно всего остального расхода, расход воды на систему охлаждения составляет 90% и более.

Сточные воды любой теплоэнергетической промышленности негативно влияют на санитарный режим водоемов и должны подвергаться предварительной очистке на очистных сооружениях предприятия. В свою очередь очистные сооружения сточных воды должны обеспечивать необходимую очистку, не позволяя допустить нарушений установленных требований к составу и свойствам воды водоемов. В частности, нормируются следующие параметры: содержание взвешенных веществ, окраска, запахи и привкусы, величина рН, полная биохимическая потребность в кислороде, токсичность.

Обработка осадков является одной из наиболее важных задач, возникающих при решении вопроса очистки сточных вод, сбрасываемых промышленными предприятиями. Выделенные в процессе очистки сточных вод осадки относятся к труднофильтруемым суспензиям коллоидного типа. Большие объемы, наличие органических веществ, способность быстро загнивать с выделением неприятных запахов, а также неоднородность состава и свойств осадков усложняют их обработку.

Целью работы является совершенствование технологии обработки осадков сточных вод в теплоэнергетической отрасли, обеспечивающей улучшение водоотдающих свойств для последующей утилизации.

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

- а) изучение литературных источников по методам обработки и утилизации;
- б) рассмотрение существующего положения по очистке замасленных сточных вод на предприятии в теплоэнергетической промышленности;
- в) выполнение технологических расчетов схем обработки осадка известковым молоком  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и электрокоагуляцией;
- г) приведение технико-экономического обоснования выбора рациональной технологической схемы кондиционирования маслосодержащего осадка.

Актуальность работы:

Необходимость разработки современной технологии обработки замасленных осадков сточных вод предприятий теплоэнергетической отрасли для снижения техногенного воздействия на окружающую среду.

Практическая значимость работы:

Результаты исследований могут быть использованы при реконструкции очистных сооружений.

## **1 Анализ литературных источников и патентной документации по методам обработки осадков промышленных сточных вод**

В процессе очистки сточных вод предприятий теплоэнергетической отрасли, основным и наиболее сложным моментом является обработка осадков (рис.1).

Осадок от сточных вод, образующийся на очистных сооружениях, имеет весьма разнообразный количественный и качественный состав.

Причиной этому является неоднозначный состав загрязнений в сточной воде теплоэнергетических предприятий [1].

Суспензии – это осадки, которые образуются в процессе очистки сточных вод таких, как механическая, биологическая и физико-химическая [2].

Существуют следующие основные группы сточных вод, образующихся на этапе производства:

- а) осадки минерального состава;
- б) осадки органического состава;
- в) смешанные осадки.

Если при обработке осадков первой группы не возникает весомых проблем, то с двумя последующими дела обстоят сложнее [3].

Сама же обработка осадков сточных вод делится на нижеперечисленные этапы [3,4]:

- а) уплотнение (сгущение);
- б) стабилизация;
- в) кондиционирование;
- г) обезвоживание;
- д) утилизация;
- е) ликвидация.

Большое внимание необходимо уделить уплотнению (сгущению) осадков. Необходимо снизить итоговую влажность не менее чем до 40 процентов, тем самым ощутимо повышая плотность сухого осадка и уменьшая в два или более раза его объем. На данном этапе применяется такое оборудование как вакуум-фильтры, центрифуги, фильтр-прессы [5].

Известны такие способы уплотнения осадков, как

- а) гравитационное уплотнение [5,4];
- б) флотационное;
- в) центробежное;
- г) вибрационное.

Наиболее широкое применение нашел такой способ как гравитационное уплотнение.

Однако, он не столь эффективен, как флотационное, так как флотационное уплотнение имеет меньшую продолжительность процесса, но более ощутимый результат [6]. Достаточно редко находит свое применение центробежное уплотнение из-за внушительных габаритов оборудования и дороговизны обслуживания и содержания.

## ОБРАБОТКА ОСАДКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД



Рисунок 1- Методы и процессы, применяемые при обработке, утилизации и ликвидации осадков сточных вод

Самым эффективным методом уплотнения является вибрационное уплотнение из-за высокой скорости протекания процесса [7].

В случае продолжительного хранения на открытом воздухе осадков сточных вод, используется стабилизация. Например, анаэробное сбраживание в метантенках – данный метод считается самым распространенным среди прочих методов стабилизации осадков.

Так же широко используется метод аэробной стабилизации, когда осадок в течении длительного времени подвергается аэрированию в аэротенках-стабилизаторах [8]. В таких сооружениях бактерии используют свой собственный клеточный материал как источник питания.

Для улучшения водоотведения осадков сточных вод применяют кондиционирование. Кондиционирование осадков проводят для разрушения коллоидной структуры осадка органического происхождения и увеличения их водоотдачи при обезвоживании [9]. Плохая водоотдача осадков затрудняет последующую обработку и утилизацию [2].

Наиболее известные методы кондиционирования [3].

- а) реагентная обработка;
- б) тепловая обработка;
- в) жидкофазное окисление;
- г) криогенез (замораживание и оттаивание).

Самым распространенным из вышеперечисленных методов является реагентная обработка.

Реагентная обработка заключается в объединении укрупненного осадка в хлопья тонкодисперсных и коллоидных частиц при добавлении в осадок коагулянтов. Данный способ является основным приемом подготовки осадков к механическому обезвоживанию на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах. При этом большое значение имеют правильное определение дозы химических реагентов, способы их приготовления, введения в осадок и смешивания с ним.

При подготовке к обезвоживанию на вакуум-фильтрах или фильтр-прессах в качестве химических реагентов для коагуляции применяют хлорное железо, сернокислое окисное железо, хлорированный железный купорос, хлоридрат алюминия и другие реагенты. В зависимости от свойств осадков и типа реагентов доза последних составляет 0,5-20% массы сухого вещества осадка. Наиболее эффективным из применяемых реагентов является хлорное железо, которое по сравнению с другими реагентами быстрее разрушает соединения. При этом рН осадка уменьшается до 4-5, т.е. до значения, соответствующего изоэлектрической точке белковых веществ.

Эффективность коагулянтов определяется величиной заряда частиц осадка, концентрацией реагента, химическими реакциями, происходящими при введении реагентов в осадок, значением рН среды, степенью перемешивания и временем контакта с осадком, агрегативной устойчивостью образующихся хлопьев, степенью их сжимаемости и другими факторами [10].

Кроме коагулянтов в данном процессе применяются и флокулянты. Коагулянты и флокулянты могут быть как органического, так и неорганического происхождения. Так же применяются высокомолекулярные флокулянты [3,11].

Неорганические коагулянты – самый распространенный вид реагента в данном процессе. В качестве неорганических коагулянтов применяют соли железа, алюминия и известь, которые вводят в обрабатываемый осадок в виде 10%-ных растворов [10].

Однако, у этого метода есть и недостатки: большой массовый расход, высокая коррозионная активность, затруднения при транспортировании и хранении, внесение большого количества (40%) балластных веществ, что значительно увеличивает стоимость вывозки осадка, а также сокращает полезный объем полигона для их захоронения [12].

При использовании органических коагулянтов можно выделить следующее преимущество: образуется меньшее количество осадка, который получается при коагуляции, так как в соединениях отсутствуют гидроксиды. В качестве коагулянтов на производстве можно использовать отходы, используя их как вторсырье: железный купорос, отходы, содержащие хлористый алюминий, алюмосодержащие отходы, карбидный шлам, кислые железосодержащие сточные воды травления черных металлов [13].

Различают катионные, анионные и неионогенные флокулянты [14]. Обычно они используются как добавка к неорганическим коагулянтам для более интенсивного образования хлопьев.

Для обработки осадков, содержащих большое количество органических веществ (зольность 25-50%), применяют катионные флокулянты. При более высокой зольности – смесь катионных и анионных флокулянтов [2,3].

Для осадков промышленных сточных вод теплоэнергетических и прочих подобных предприятий с зольностью около 30% применяется тепловая обработка.

В процессе тепловой обработки происходит распад органических веществ, их растворение и переход осадков из твердой фазы в жидкую. При этом изменяется структура осадков, их зольность и частично химический состав, достигается улучшение водоотдачи и обезвреживание осадков. Тепловой обработке могут подвергаться как сырье, так и сброженные осадки. За рубежом тепловую обработку часто применяют в сочетании со сбраживанием осадков в мезофильных условиях. При этом во многих случаях ведется сбраживание осадков в двухступенчатых метантенках. Сбраживание способствует процессу тепловой обработки и позволяет разлагать органические, главным образом, жировые, вещества осадков и сокращать энергетические затраты путем использования на нагревание избыточной теплоты, получаемой от сжигания газов брожения [10].

В процессе тепловой обработки удельное сопротивление осадков снижается до значений, позволяющих обезвреживать осадки на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах без обработки химическими реагентами. При

уплотнении осадков, подвергнутых тепловой обработке, объем их сокращается в 2-4 раза. В зависимости от свойств осадков, режима их обработки и применяемых аппаратов влажность обезвоженных осадков колеблется от 40 до 75%. Стерильность и низкая влажность – важнейшие достоинства данного метода, из-за которых он применяется во всех развитых странах как основной.

Из недостатков можно выделить большие затраты электроэнергии и высокое содержание органических компонентов в фильтрате, которые необходимо направлять на биологическую очистку.

Существует так же метод жидкофазного окисления [15], известен так же как метод мокрого сжигания. Сущность метода заключается в окислении органической части осадка кислородом воздуха при высокой температуре и высоком давлении. Целью метода является снижение химического потребления кислорода [6].

С применением гомогенных или гетерогенных катализаторов значительно сокращается время окисления. В качестве катализаторов применяются оксиды или гидроксиды металлов переменной валентности, активированный уголь, полифталоцианин кобальта [16]. Метод является перспективным, но требует более глубокого изучения и новых инженерно-конструкторских решений [17].

Одним из самых экономически выгодных методов обработки для регионов Сибири является криогенная обработка, так как замораживание происходит в естественных условиях. А при оттаивании образуется меньший объем осадков, что свидетельствует о достигнутых целях при минимальных затратах.

Суть метода в том, что при замораживании часть связанной влаги переходит в свободную, происходит коагуляция твердых частиц осадка и снижается удельное сопротивление осадка. При оттаивании увеличивается влагоотдача осадков [15]. Замораживание происходит при температуре от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  в течении 50-120 минут [8].

Известно, что данный метод ведет к изменению структуры осадка, а водоотдающие свойства осадка улучшаются. При криогенной обработке важно своевременно регулировать весь процесс для интенсификации обезвоживания [18].

В результате уходящая вода не будет иметь каких-либо иных дополнительных загрязнений, как это может происходить при применении иных методов обработки.

Для получения наименьших итоговых объемов осадка при низких концентрациях масел выгодно применять электрохимическую коагуляцию. В данное время получил распространение метод электрокоагуляционной обработки осадков [8,15]. Простота устройств, ограниченный расход реагентов, автоматическое управление процессами делают электрообработку перспективным методом [17]. Если бы не затраты на электроэнергию и

металл, как недостаток данного метода, электрокоагуляция могла бы найти куда более широкое применение.

Привлекательный своими низкими капитальными затратами, относительной простотой эксплуатации оборудования и простотой в компоновке и монтаже очистных и вспомогательных сооружений, метод ультразвуковой обработки стал широко использоваться в таких странах, как Швеция, Германия, и Испания. Кроме того, известно, что данный способ активно используют в таких странах, как Новая Зеландия, Венгрия, Австралия и Сингапур. Заключается он в воздействии на осадок ультразвуком, вследствие чего из осадка высвобождается часть влаги при разрушении стенок клетки. Для достижения более весомого эффекта, на практике применяется в сочетании с другими методами [1].

Процесс обезвоживания осадка заключается в отделении твердых веществ от жидкости путем фильтрования. В данной ступени обработки осадка происходит отделения твердых веществ от жидкости в процессе фильтрования, происходящего при разности давлений над фильтрующей средой и под ней [19].

Для механического обезвоживания осадков производственных сточных вод применяют вакуум-фильтр, фильтр-прессы и центрифуги, однако данное оборудование имеет недостаток в высокой стоимости как установки, так и эксплуатации. Для удешевления процесса обработки осадков применяются вибрационные фильтры, которые имеют высокую производительность и не очень высокую стоимость [16].

Для рационального процесса обезвоживания, при подборе соответствующего оборудования необходимо учитывать следующие параметры: производительность; влажность осадков, подаваемых на обезвоживание; влажность обезвоженных осадков (кека); эффективность задержания сухого вещества; концентрацию взвешенных веществ в фильтрате [17].

Изучению процесса обезвоживания осадков на фильтр-прессах в последние годы уделяется значительное внимание в отечественных и зарубежных исследованиях. В настоящее время созданы новые конструкции фильтр-прессов, позволяющие автоматизировать технологический процесс, регенерировать фильтрованную ткань, осуществлять процесс в непрерывном режиме и увеличить производительность фильтров. При обезвоживании осадков сточных вод на вакуум-фильтрах влажность кекка составляет в среднем 70-80%.

Центрифугирование имеет те же преимущества, что и вакуум-фильтрация, т.е. позволяет автоматизировать процесс обезвоживания осадков, не зависит от климатических условий, способствует сокращению занимаемых площадей и продолжительности обезвоживания осадков. Вместе с тем осадки на центрифугах можно обезвоживать без предварительной обработки химическими реагентами, что для станций аэрации пропускной способностью до 70-100 тыс. м<sup>3</sup>/сут, также при обезвоживании осадков ряда



производственных сточных вод существенно упрощает эксплуатацию установок по обработке осадков и повышает экономические показатели. Центрифугирование без применения коагуляции осадков химическими реагентами позволяет получать кек влажностью 50-80% [10].

Среди прочих методов обработки осадков сточных вод, термическая сушка получила широкое распространение. Суть этого метода заключается в обеззараживании и уменьшении влажности осадка с 83-86% до 10-20% [16]. При термической сушке используют доступное тепло для испарения имеющейся влаги в осадке. Метод используют как этап подготовки для сжигания (утилизации) осадков.

В свою очередь, сжигание — это процесс утилизации осадков, который заключается в окисления органической части осадков при повышенной температуре до нетоксичных газов и выделения минеральной части в виде расплава или сухого порошка (золы). Экономически целесообразно сжигать также шламы производственных сточных вод некоторых предприятий химической, нефтеперерабатывающей, угольной и других отраслей.

С технологической точки зрения сжигание представляет собой метод обезвреживания осадков с одновременным использованием последних в качестве топлива и утилизацией выделившейся теплоты, а в ряде случаев и образовавшейся золы в технологической схеме обработки осадков [10].

Теплота используется для подогрева воздуха, который необходим для сжигания, а зола применяется как присадочный материал для интенсификации процесса обезвоживания осадков на вакуум-фильтрах или фильтр-прессах [19]. Не стоит забывать, что при сжигании осадков образуются токсичные пылегазовые выбросы содержащие оксиды серы (IV и VI), хлора и хлорсодержащих соединений, диоксинов, что влечет за собой негативные последствия для окружающей среды и здоровья людей. Для устранения этих последствий необходимо будет создать новый комплекс системы очистки газов, где будет происходить очистка от пыли и возможных газообразных примесей.

Сжигание стало популярно в связи с тем, что с 2005 года в Германии стало запрещено хранение отходов на полигонах [20]. В России этот метод не набрал столь бурной популярности, однако на очистных сооружениях в городе Санкт-Петербург довольно широко стал распространён. Так же возможно применение метода сжигания осадка вместе с другими твердыми производственными или бытовыми отходами.

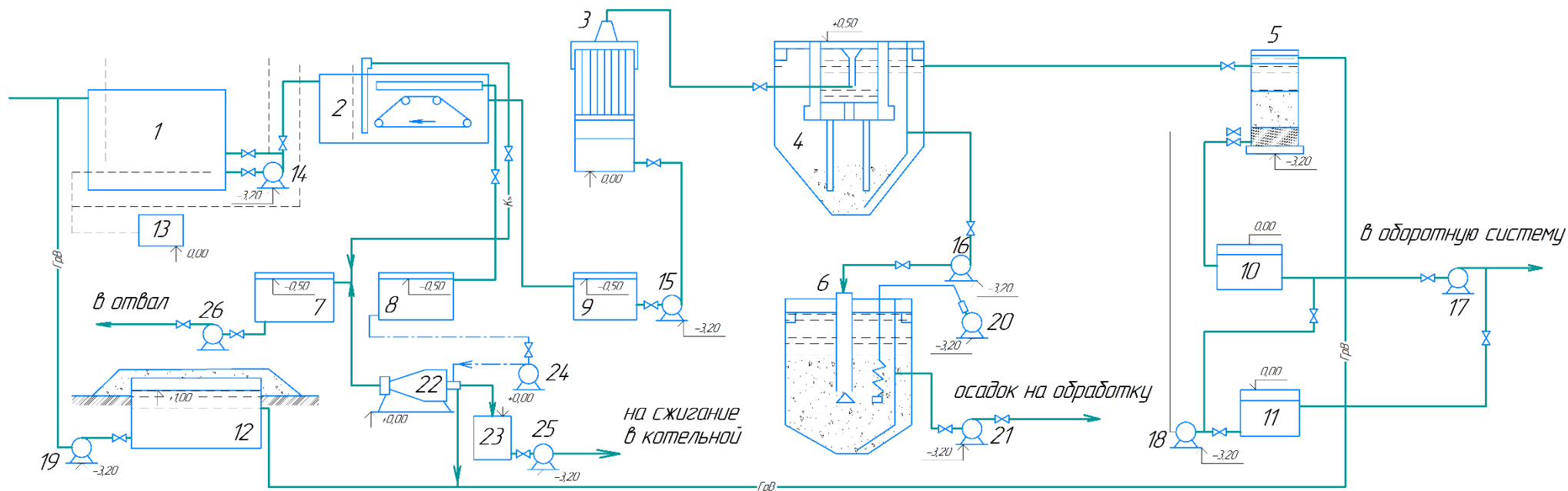
Результатом обработки осадка должен стать осадок или продукт обработки осадка, который бы наносил минимальный ущерб экосистеме и был экономически выгоден предприятию.

Очевидно, что решение проблемы сокращения бытовых и производственных отходов предприятия является наиболее актуальным в настоящее время, т.к. не существует готового комплексного метода по обезвоживанию осадков и его утилизации.

## 2 Технологическая схема очистки замасленных сточных вод

Замасленные сточные воды с общей концентрацией нефтепродуктов  $20 \cdot 10^3 - 50 \cdot 10^3$  поступают в усреднитель 1, где происходит усреднение стоков как по расходу, так и по концентрации, затем с помощью насосов 14 подаются в нефтеловушку 2. Пленочные нефтепродукты собираются поворотной щелевой трубой и по трубопроводу отводятся в бак 7. Замасленные отходы из приемка нефтеловушки с помощью гидроэлеватора также отводятся в бак, откуда откачиваются песковым насосом 26 и потом вывозятся в отвал. Количество замасленных отходов составляет 2-4 м<sup>3</sup>/сут. Затем сточные воды, после нефтеловушки, содержащие эмульгированные и растворенные нефтепродукты, с концентрацией 200-1200 мг/л, поступают в промежуточный резервуар 9, откуда насосом 15 подаются в напорный электролизер 3 с растворимыми анодами, где происходит насыщение сточной жидкости коагулирующими ионами алюминия за счет анодного растворения, при этом на катоде начинает выделяться водород с одновременным подщелачиванием сточной воды. Для агломерации хлопьев предусмотрена водоворотная камера хлопьеобразования, встроенная в вертикальный отстойник 4, где происходит процесс отделения осадка. Осадок, с расходом  $Q=9,6$  м<sup>3</sup>/сут, с сорбированными нефтепродуктами с помощью насоса 16 поступает в шламонакопитель 6, откуда насосом 21 подачи осадка на обработку на вакуум-фильтры, после чего направляется на предназначенные для шлама шламовые площадки завода. Сточная жидкость после отстойника 4, с концентрацией нефтепродуктов 2-10 мг/л, для процесса доочистки поступает на фильтры 5. Очищенные стоки собираются в ров 10, откуда насосом 17 направляются в оборотную систему. Остаточная концентрация нефтепродуктов в воде, прошедшей фильтрацию составляет 1-5 мг/л. Промывка фильтрующей загрузки осуществляется предназначенной для этого горячей водой из резервуара 11 с помощью насоса 18. Загрязненная промывная вода направляется в резервуар 12, откуда насосом перекачки 19 подается в основание сооружений [21]. Электрокоагуляционная технология очистки замасленных сточных вод представлена на рисунке 2.

Для решения проблемы сокращения замасленных отходов и разработки технологии их утилизации были проведены исследования по определению свойств маслосодержащего осадка.



1 - резервуар-усреднитель; 2 - нефтеловушка; 3 - напорные электролизеры; 4 - вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования; 5 - скорые фильтры с зернистой загрузкой; 6 - шламонакопитель; 7 - бак замасленных отходов удаляемых из прямка нефтеловушки; 8 - бак для сбора из нефтеловушки пленочных нефтепродуктов; 9 - промежуточный резервуар; 10 - резервуар чистой воды (РЧВ); 11 - резервуар горячей воды; 12 - резервуар загрязненной воды после промывки фильтров; 13 - воздуходувки; 14 - насосная станция I подъема; 15 - насосная станция II подъема; 16 - насос перекачки осадка; 17 - насосы технической воды; 18 - насосы промывной воды; 19 - насос перекачки промывной воды; 20 - насос рециркуляции осадка; 21 - насос подачи осадка на обработку; 22 - центрифуга; 23 - емкость для сбора масла; 24 - насос подачи пленочных отходов на центрифугу; 25 - насос подачи масла на сжигание; 26 - песковой насос.

Рисунок 2 - Электрокоагуляционная технология очистки замасленных сточных вод ТЭЦ

## 2.1 Существующие положения по очистке маслосодержащих сточных вод на предприятии теплоэнергетической промышленности

В нефтеловушку для выделения пленочных нефтепродуктов подаются сточные воды в количестве 96 м<sup>3</sup>/сут. Выделившиеся нефтепродукты поступают в передвижной резервуар для сбора пленочных нефтепродуктов и последующей утилизации, а сточные воды после отстаивания направляются в смеситель, где происходит добавление извести, за счет чего происходит насыщение жидкости коагулянтами.

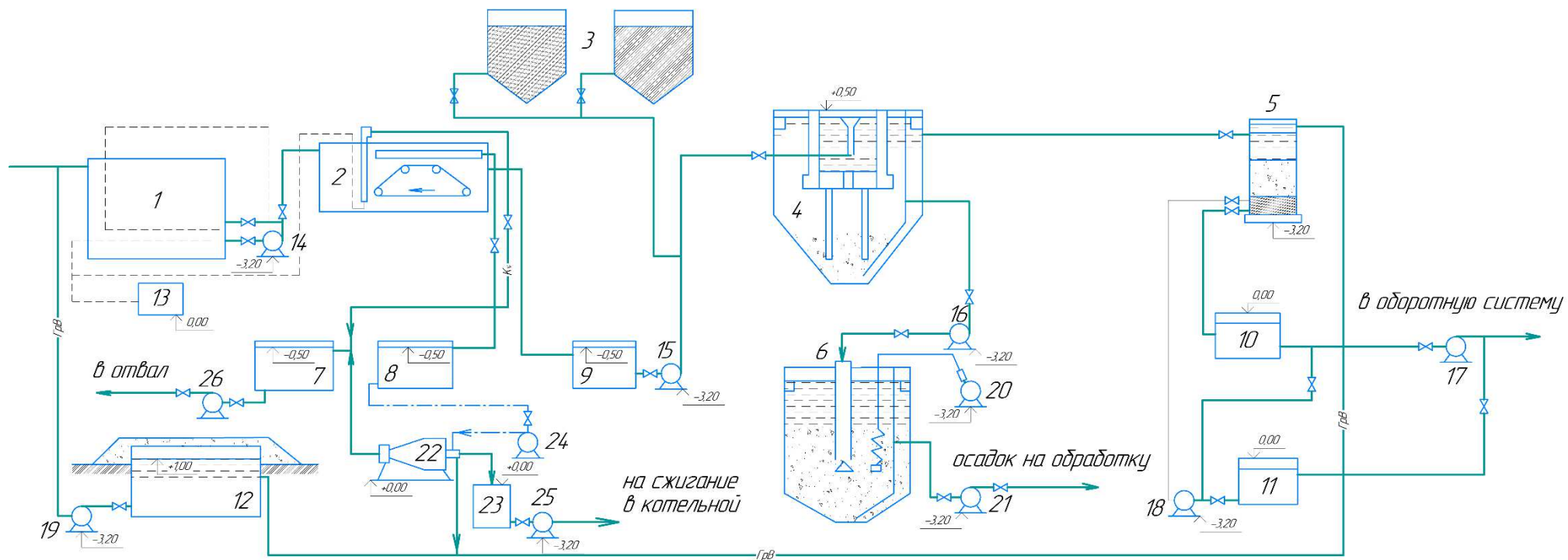
Стоки из смесителя поступают в отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования для отделения осадка, который в основном состоит из частиц гидроксида алюминия с адсорбированными частицами масел и взвешенных веществ.

Осадок из отстойника в количестве 9,6 м<sup>3</sup>/сут перекачивается в шламоуплотнитель, где находится до 15 суток, а затем подается насосами на механическое обезвоживание на вакуум-фильтр. Осветленные стоки насосами подаются для доочистки на фильтры. Очищенная вода поступает в резервуар чистой воды, откуда насосами подается на пополнение системы оборотного водоснабжения [21]. Реагентная технология очистки замасленных сточных вод представлена на рисунке 3.

В зависимости от концентрации нефтепродуктов, поступающих на очистку, свойства осадка различные и приведены в таблице 1.

Таблица 1- Свойства осадка

Параметры		Значения
Исходная $C_{н.пр}$ , мг/ дм <sup>3</sup>		1000
Влажность, %		95
Плотность, г/см <sup>3</sup>		0,997
Сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>		49,85
Прокаленный остаток, г/ дм <sup>3</sup>	450°С	16,38
	800°С	15,27
Зольность, %	450°С	32,86
	800°С	30,64
Потери при прокаливании, %	450°С	33,46
	800°С	34,57
Замасленность,	г/ дм <sup>3</sup>	2,5
	%	67,12
Удельное сопротивление фильтрации, см/г		$155,7 \cdot 10^{10}$



1- резервуар-усреднитель; 2 - нефтеловушка; 3 – реагентное хозяйство; 4 - вертикальный отстойник с камерой хлопьеобразования; 5 - скорые фильтры с зернистой загрузкой; 6 - шламонакопитель; 7 - бак замасленных отходов из нефтеловушки; 8 - бак для сбора из нефтеловушки пленочных нефтепродуктов; 9 - промежуточный резервуар; 10 - резервуар чистой воды; 11 - резервуар горячей воды; 12 - резервуар загрязненной воды после промывки фильтров; 13 - воздуходувки; 14 - насосная станция I подъема; 15 - насосная станция II подъема; 16 - насос перекачки осадка; 17 - насосы технической воды; 18 - насосы промывной воды; 19 - насос перекачки промывной воды; 20 - насос рециркуляции осадка; 21 - насос подачи осадка на обработку; 22 - центрифуга; 23 - емкость для сбора масла; 24 - насос подачи пленочных отходов на центрифугу; 25 - насос подачи масла на сжигание; 26 - песковой насос.

Рисунок 3 - Реагентная технология очистки замасленных сточных вод ТЭЦ

### **2.1.1 Исследование процесса кондиционирования осадка**

Процесс кондиционирования осадков состоит в изменении структуры и формы связи воды, в связи с чем осадок лучше обезвоживается, т.е. это процесс подготовки осадков к механическому обезвоживанию. Влажность обезвоженных осадков, производительность обезвоживающих аппаратов и чистота отделяемой воды зависят от условий кондиционирования.

Кондиционирование проводят двумя методами: реагентным и безреагентным. При обработке осадков реагентным методом происходит коагуляция – процесс агрегации тонкодисперсных и коллоидных частиц. При этом образуются крупные хлопья, изменяется форма связи влаги с осадком, и улучшаются его водоотдающие свойства. В качестве коагулянтов используют соли железа и алюминия, известь, а кроме того сочетание хлорного железа, сернокислого окисного железа, хлорированного железного купороса с известью. Вместе с коагулянтами применяют также флокулянты. К безреагентным относятся: тепловая обработка, замораживание с последующим оттаиванием, электрокоагуляция и радиационное облучение.

### **2.1.2 Методика определения свойств осадка**

Параметры, определяемые методикой:

- а) влажность осадка;
- б) плотность;
- в) сухой остаток;
- г) сухой остаток после прокаливания;
- д) зольность;
- е) потери при прокаливании;
- ж) замасленность;
- з) удельное сопротивление.

#### **2.1.2.1 Влажность осадка**

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

Ход определения.

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

Влажность осадка вычисляют по формуле:

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

где  $m_1$  – масса тигля с осадком;  
 $m_2$  – масса тигля с осадком после просушивания ( $t = 105^\circ\text{C}$ );  
 $m_3$  – масса исходного осадка.

### 2.1.2.2 Плотность осадка

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

Плотность вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г / см}^3 \quad (2)$$

где  $m$  – масса осадка, г;  
 $V$  – объем осадка,  $\text{см}^3$ .

### 2.1.2.3 Сухой остаток

Сухой остаток это – высушенный при  $105^\circ\text{C}$  остаток, который получается при выпаривании досуха профильтрованной исследуемой воды. Он характеризует содержание органических и минеральных примесей, а именно тех, температура кипения которых заметно превышает  $105^\circ\text{C}$ , нелетучих с водяным паром и не разлагающихся при данной температуре.

Сухой остаток вычисляют по следующей формуле

$$X = \frac{m_3 - m}{V_{oc}} \cdot 1000, \text{ г/дм}^3, \quad (3)$$

где  $m$  – масса пустого тигля, г;  
 $m_3$  – масс тигля с осадком после просушивания ( $t = 105^\circ\text{C}$ ), г;  
 $V_{oc}$  – объем осадка,  $\text{см}^3$ .

### 2.1.2.4 Сухой остаток после прокаливания

Сухой остаток после прокаливания вычисляют по формуле

$$Y = \frac{m_4 - m}{V_{oc}} \cdot 1000, \text{ г/дм}^3, \quad (4)$$

где  $m$  – масса пустого тигля, г;  
 $m_4$  – масс тигля с осадком после прокаливания ( $t = 450^\circ\text{C}, 800^\circ\text{C}$ ), г;

$V_{oc}$  – объем осадка, см<sup>3</sup>.

### 2.1.2.5 Зольность

Зольность выражают в % по отношению к абсолютному сухому веществу.

Ход определения.

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

Зольность вычисляют по следующей формуле

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

где  $m$  – масса пустого тигля, г;

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

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

### 2.1.2.6 Потери при прокаливании

Потери при прокаливании вычисляют по формуле

$$Z = \frac{m_3 - m_4}{V_{oc}} \cdot 1000, \text{ г/дм}^3, \quad (6)$$

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

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

$V_{oc}$  – объем осадка, см<sup>3</sup>.

### 2.1.2.7 Замасленность

Замасленность вычисляют по формуле

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

### 2.1.2.8 Удельное сопротивление

Удельное сопротивление вычисляют по формуле

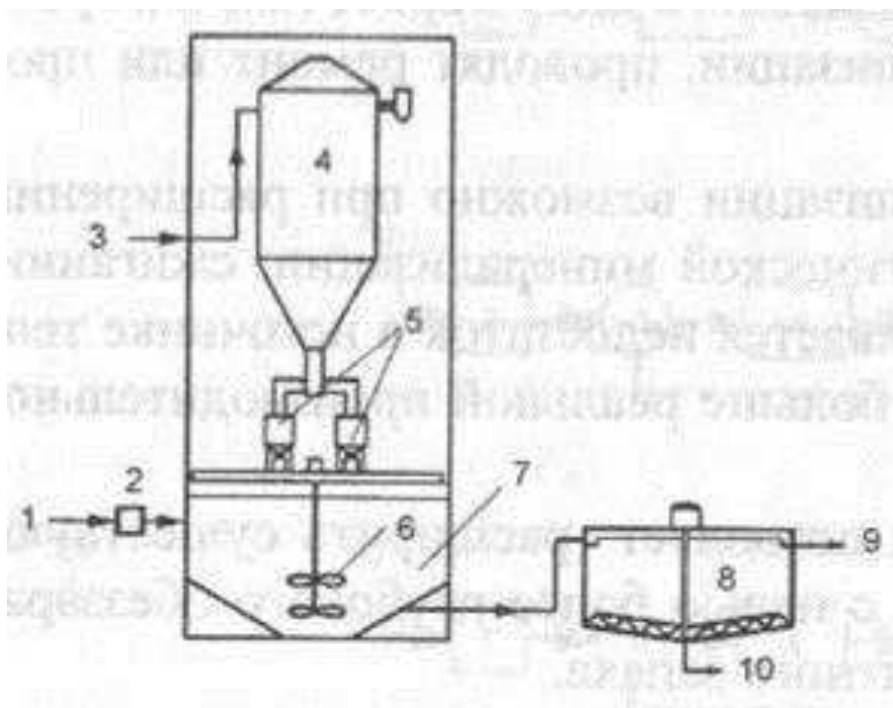
$$\gamma = \frac{2 \cdot P_{cp} \cdot F^2 \cdot \alpha}{\eta \cdot c}, \text{ г/дм}^3, \quad (8)$$



где  $P_{cp}$  – давление, при котором происходит фильтрация;  
 $F^2$  – площадь фильтра,  $F^2 = 1747 \text{ см}^2$ ;  
 $\eta$  – вязкость осадка,  $\eta = 0,01 \text{ г}/(\text{см} \cdot \text{с})$ ;  
 $c$  – концентрация осадка,  $c = 0,012 \text{ г}/\text{см}^3$ ;  
 $\alpha$  – тангенс угла наклона прямой, построенный в координатах  $t/V$  и  $V$ .

## 2.2 Технологический расчет схемы обработки осадка известковым молоком

Технологическая схема включает следующие сооружения – шламонакопитель, резервуар-усреднитель, механический смеситель, контактный резервуар, вакуум-фильтр, резервуар для сбора осадка, резервуар для сбора надильной воды. На рисунке 4 показана схема установки для стабилизации осадка раствором извести. Обрабатываемый осадок подается в смесительный резервуар. Продолжительность пребывания осадка в этом резервуаре обычно составляет 2 ч. После этого осадок подвергается сгущению в гравитационном уплотнителе. Отделенную иловую воду подают перед первичными отстойниками.



1 – подача осадка; 2 – дробилка; 3 – подача известкового раствора; 4 – резервуар известкового молока; 5 – расходные баки известкового тор молока;  
 б – механическая турбинная мешалка; 7 – смеситель; 7 -8 – осадкоуплотнитель; 9 – отвод; 8-иловой воды;  
 10 – выпуск осадка.

Рисунок 4 - Стабилизация осадка раствором извести

### 2.2.1 Расчет шламоуплотнителя

Осадок из отстойника подаётся в шламоуплотнитель, где он может находиться до 5 суток. Отношение диаметра шламоуплотнителя к высоте конической части принимаем 1,5.

Площадь поперечного сечения:

$$F = \frac{\beta \cdot W_{\text{упл}} \cdot n}{3,6 \cdot V_p \cdot N}, \text{ м}^2 \quad (9)$$

где  $n$  – расчетное количество суток;  
 $\beta$  – коэффициент для учета объемного использования отстойника;  
 $N$  – количество шламоуплотнителей;  
 $V_p$  – расчетная скорость движения осадка, мм/с.

$$F = \frac{1,5 \cdot 0,92 \cdot 5}{3,6 \cdot 0,6 \cdot 1} = 3,19 \text{ м}^2. \quad (10)$$

Объем поступающего осадка за сутки:

$$W = Q_{oc} \cdot t, \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (11)$$

$$Q_{oc} = 10\% \cdot Q_{\text{ч}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (12)$$

$$Q_{oc} = 0,1 \cdot 1,2 = 0,12 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13)$$

$$W = 0,12 \cdot 8 = 0,96 \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (14)$$

Объем уплотненного осадка:

$$W_{\text{упл}} = \frac{W \cdot 94}{98} = \frac{0,96 \cdot 94}{98} = 0,92 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (15)$$

где 94 – влажность уплотненного осадка, %;  
98 – влажность осадка, поступающего в шламоуплотнитель, %.

Диаметр шламоуплотнителя:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \text{ м}. \quad (16)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,19}{3,14}} = 2,0 \text{ м}. \quad (17)$$

Принимаем диаметр шламоуплотнителя 2, 0 м, трубопровод для отвода осадка диаметром 100 мм.

При угле наклона стен к горизонтали  $50^\circ$  высота конической части шламоуплотнителя:

$$h_k = \frac{D}{2 \cdot \operatorname{tg} \cdot (90 - 50)} = \frac{2}{2 \cdot 0,84} = 1,2, \text{ м.} \quad (18)$$

### 2.2.2 Расчет резервуара - усреднителя

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

При расчете усреднителя принимаем расчетный период усреднения 8 часов. Число камер усреднителя должно быть не менее двух.

Объем резервуара - усреднителя:

$$V = \frac{Q_u \cdot T}{\tau} = 1,2 \text{ м}^3. \quad (19)$$

Принимаем две камеры усреднителя объемом  $1,0 \text{ м}^3$ , каждая с высотой усреднителя  $H = 0, 5$ .

Ширина коридора:

$$B = 2 \cdot H = 2 \cdot 0, 5 = 1 \text{ м.} \quad (20)$$

Тогда длина усреднителя:

$$L = \frac{V}{B \cdot H} = \frac{1,2}{1 \cdot 0,5} = 2,4 \text{ м.} \quad (21)$$

Перемешивание осадка производится подачей сжатого воздуха.

Расход воздуха на барботирование:

$$Q_{\text{возд}} = l_b \cdot n \cdot q_{y\partial}, \text{ м}^3/\text{мин} \quad (22)$$

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

$l_b$  – длина барботера,  $l_b = 2,4$  м;

$q_{y\partial}$  – удельный расход воздуха,  $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$ .

$$Q_{\text{возд}} = 2,4 \cdot 1 \cdot 5 = 12,0 \text{ м}^3 / \text{ч} = 0,2 \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (23)$$

Для двух камер усреднителя расход воздуха составит  $24 \text{ м}^3/\text{час}$ .

### 2.2.3 Расчет механического смесителя пропеллерного типа

Объем резервуара смесителя принимаем равным одноминутному расчетному расходу осадка:

$$W = \frac{Q}{60} = \frac{1,2}{60} = 0,02 \text{ м}^3. \quad (24)$$

При числе оборотов воды в смесителе  $z=5$  количество воды, просасываемой пропеллером за 1 с:

$$Q = \frac{W \cdot z}{60} = \frac{0,02 \cdot 5}{60} = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (25)$$

Принимаем скорость просасывания воды через пропеллер  $v_o=2 \text{ м/с}$ , при этом площадь, отмечаемая пропеллером, будет равна:

$$F = \frac{Q_n}{v_o} = \frac{0,002}{2} = 0,001 \text{ м}^2. \quad (26)$$

По этому значению находим диаметр пропеллера:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{0,94 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001}{0,94 \cdot 3,14}} = 0,04 \text{ м}. \quad (27)$$

Напор, развиваемый пропеллером:

$$H = \frac{1}{\eta_2} \cdot \left( h + \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) = \frac{1}{0,8} \cdot \left( 0,2 + \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,5 \text{ м}. \quad (28)$$

Мощность оси пропеллера:

$$N_o = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_o} = \frac{9,81 \cdot 0,002 \cdot 0,5}{0,75} = 0,01 \text{ кВт}. \quad (29)$$

При червячной передаче мощность электромотора будет равна:

$$N_m = \frac{N_o}{\eta_n} = \frac{0,01}{0,6} = 0,02 \text{ кВт}. \quad (30)$$

Число оборотов пропеллера определяется:

$$n = \frac{27,2 \cdot v_o}{D \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos^2 \varphi} = \frac{27,2 \cdot 2}{0,04 \cdot 0,4 \cdot 0,93^2} = 3931 \text{ об/мин.} \quad (31)$$

#### 2.2.4 Расчет контактной камеры

Контактная камера служит для улучшения процесса хлопьеобразования и рассчитывается на время пребывания в ней осадка 10 минут.

Объем камеры в соответствии со временем контакта:

$$V = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot T}{\tau} = \frac{9,6 \cdot 1}{8} = 1,2 \text{ м}^3, \quad (32)$$

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

$T$  – период контакта,  $T = 1$  час.

Принимаем 1 контактную камеру с размерами в плане 1,0 x 1,0 x 1,0 м.

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

Необходимое количество воздуха, подаваемого в контактную камеру:

$$Q_{\text{возд}} = L \cdot n \cdot q_{\text{уд}} = 1 \cdot 1 \cdot 3 = 3 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (33)$$

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

$L$  – длина барботера,  $L = 1$  м;

$q_{\text{уд}}$  – удельная интенсивность аэрации,  $q_{\text{уд}} = 3 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$ .

Необходимое количество воздуха для подачи в резервуар - усреднитель и контактную камеру:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{уср.}} + Q_{\text{кам}} = 24 + 3 = 27 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (34)$$

где  $Q_{\text{уср.}}$  – количество воздуха, подаваемое в усреднитель,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_{\text{кам}}$  – количество воздуха, подаваемое в контактную камеру,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Принимаем воздуходувку марки ВК-1,5:

объем засасываемого воздуха –  $90 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

частота вращения –  $1500 \text{ об/мин}$ ;

мощность электродвигателя –  $5,5 \text{ кВт}$ ;

размеры –  $1250 \times 1320 \times 1020 \text{ мм}$ .

### 2.2.5 Расчет вертикального отстойника

В технологической схеме предусматривается вертикальный отстойник, т.к. установка имеет производительность 9,6 м<sup>3</sup>/сут и работа сооружений не круглосуточна.

Диаметр отстойника:

$$D = \sqrt{\frac{F \cdot 4}{\pi}}, \text{ м} \quad (35)$$

где  $F$  – площадь зоны отстаивания.

$$F = \beta \cdot \frac{Q_u}{3,6 \cdot V_p \cdot N} = 1,5 \cdot \frac{1,2}{3,6 \cdot 0,6 \cdot 1} = 0,83 \text{ м}^2. \quad (36)$$

где  $V_p$  – расчетная скорость восходящего потока воды,  $V_p = 0,6$ ;  $\beta$  – коэффициент объемного использования,  $\beta = 1,5$ .

$$D = \sqrt{\frac{0,83 \cdot 4}{3,14}} = 1,03 \text{ м}. \quad (37)$$

Принимаем отстойник диаметром 1,1 м.

Период работы между сбросами осадка:

$$T = \frac{W_{oc} \cdot N \cdot \delta}{Q \cdot (C - m)}, \text{ ч} \quad (38)$$

где  $\delta$  – концентрация уплотненного осадка,  $\delta = 20000$ ;  
 $m$  – допустимая концентрация взвешенных веществ,  $m = 8 - 12$  мг/дм<sup>3</sup>;  
 $C$  – максимальная концентрация взвешенных веществ.  
Объем конической части:

$$W_{oc} = \frac{\pi}{3 \cdot h_k \cdot \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{d}{2} \right)^2 + \frac{D}{2} \cdot \frac{d}{2} \right]}, \text{ м}^3 \quad (39)$$

где  $d$  – диаметр трубопровода для сбора осадка,  $d = 200$  мм;  
 $h_k$  – высота конической части отстойника;  
 $\alpha$  – угол конусности,  $\alpha = 50 - 55$ .

$$h_k = \frac{(D - d)}{2 \cdot \text{tg} \cdot (90 - \alpha)} = \frac{(1,1 - 0,1)}{2 \cdot 0,84} = 0,6 \text{ м}. \quad (40)$$

$$W_{oc} = \frac{3,14}{3 \cdot 0,6 \cdot \left[ \left( \frac{1,1}{2} \right)^2 + \left( \frac{0,1}{2} \right)^2 + \frac{1,1}{2} \cdot \frac{0,1}{2} \right]} = 0,57 \text{ м}^3. \quad (41)$$

$$T = \frac{0,57 \cdot 1 \cdot 20000}{1,2 \cdot (800 - 12)} = 12 \text{ ч.} \quad (42)$$

Площадь кольцевого желоба для сбора осветленной воды:

$$f_{к.ж.} = \frac{q_c}{2 \cdot V} = \frac{0,0003}{2 \cdot 0,6} = 0,0003 \text{ м}^2. \quad (43)$$

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

Площадь радиального желоба:

$$f_{р.ж.} = \frac{q_c}{4 \cdot V} = \frac{0,0003}{4 \cdot 0,6} = 0,0001 \text{ м}^2. \quad (44)$$

## 2.2.6 Расчёт вакуум-фильтра

Расчёт вакуум-фильтра производится по сухому веществу

$$M_{сух} = \frac{W_{упл} \cdot (100 - B_l) \cdot \gamma_{ос}}{100} = \frac{3,84 \cdot (100 - 94) \cdot 1,1}{100} \approx 0,25 \text{ т/сут.} \quad (45)$$

где  $B_l$  – влажность уплотненного осадка, 94%;

$\gamma_{ос}$  – объёмный вес осадка, 1,1 т/м<sup>3</sup>;

$W_{упл} = 40\%$  от общего осадка (3,84 м<sup>3</sup>/сут).

Требуемая площадь вакуум-фильтра рассчитана по формуле

$$F = \frac{M_{сух} \cdot 1000}{T \cdot K} = \frac{0,25 \cdot 1000}{8 \cdot 20} = 1,56 \text{ м}^2. \quad (46)$$

где  $T$  – число часов работы в сутки;

$K$  – нагрузка на 1 м<sup>2</sup> поверхности вакуум-фильтра, 20 кг/м<sup>2</sup>·ч.

Принимаем 1 вакуум-фильтр марки БОН-2-1,0-1К. Его технические характеристики:

площадь поверхности фильтрования, м <sup>2</sup>	2,0
диаметр барабана, мм	1000
длина барабана, мм	740
мощность электродвигателя привода барабана, кВт	1,3
масса, кг	1045

Производительность вакуум-насоса равна

$$W_{B.H} = N \cdot n \cdot 0,5, \quad \text{м}^3/\text{мин.} \quad (47)$$

$$W_{B.H} = 1,3 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0,65 \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (48)$$

Расход сжатого воздуха рассчитан по формуле

$$W_{CЖ.B} = N \cdot n \cdot 0,1, \quad \text{м}^3/\text{мин} \quad (49)$$

$$W_{CЖ.B} = 1,3 \cdot 1 \cdot 0,1 = 0,13 \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (50)$$

Количество осадка (кека) после вакуум-фильтрации равно

$$W_{кека} = W_{упл} \cdot \frac{(100 - W_{уп})}{(100 - W_{кека})}, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (51)$$

$$W_{кека} = 9,6 \cdot \frac{(100 - 94)}{(100 - 78)} \approx 2,62 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (52)$$

### 2.2.7 Расчет резервуара для сбора обезвоженного осадка

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

$$Q_{об.ос} = 0,454 \cdot Q_{ос} = 0,454 \cdot 9,6 = 4,4 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (53)$$

$$V_{кека} = 4,4 \cdot \frac{(100 - 94)}{(100 - 43)} = 1 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (54)$$

Объем резервуара определяется исходя из времени хранения осадка и его расхода:

$$W = \frac{q_v \cdot T}{8} = \frac{1,2 \cdot 8}{8} = 1,2 \text{ м}^3. \quad (55)$$

где  $T$  – время хранения осадка в резервуаре,  $T = 8$  ч.

Принимаем высоту резервуара 1,0 м, размеры в плане 1х1 м.

Обезвоженный осадок также можно направить на сжигание в котельную, так как осадок содержащий уголь обладает повышенной теплотворной способностью. Полученную теплоту направляем на



собственные нужды предприятия, а золу, полученную от сжигания также можно использовать в качестве присадочного материала.

### 2.2.8 Расчет резервуара для сбора надильной воды

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

$$Q = 0,546 \cdot Q_{oc} = 0,546 \cdot 9,6 = 5 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (56)$$

$$W = \frac{q_u \cdot T}{8} = \frac{1,2 \cdot 8}{8} = 1,2 \text{ м}^3. \quad (57)$$

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

### 2.2.9 Аварийные иловые площадки

Требуемая площадь:

$$F_{ил.пл.} = \frac{V_{кека} \cdot 365}{q_{уд} \cdot K_1} \cdot 0,2, \text{ га} \quad (58)$$

где  $q_{уд}$  – удельная нагрузка,  $q_{уд} = 1,2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ;  
 $K_1$  – климатический коэффициент,  $K_1 = 0,9$ .

$$F_{ил.пл.} = \frac{1,0 \cdot 365}{1,2 \cdot 0,9} \cdot 0,2 = 68,0 \text{ м}^2 = 0,0068 \text{ га.} \quad (59)$$

### 2.2.10 Расчет реагентного хозяйства

#### 2.2.10.1 Приготовление известкового молока

Емкость бака для приготовления известкового молока:

$$W_u = \frac{q \cdot n \cdot D_u}{10000 \cdot b_u \cdot \gamma_u}, \text{ м}^3 \quad (60)$$

где  $n$  – время, на которое готовится известковое молоко, ч;  
 $D_u$  – доза извести, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $b_u$  – концентрация известкового молока, %;  
 $\gamma$  – объемный вес известкового молока, т/м<sup>3</sup>.

$$W_u = \frac{1,2 \cdot 30 \cdot 50}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 0,04 \text{ м}^3. \quad (61)$$

Диаметр бака:

$$D = \sqrt[3]{\frac{W_u \cdot 4}{\pi}}, \text{ м} \quad (62)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{0,04 \cdot 4}{3,14}} = 0,4 \text{ м}. \quad (63)$$

Мощность двигателя мешалки с горизонтальными лопастями:

$$N = 0,004 \cdot \rho \cdot h_n \cdot n^3 \cdot d_0^4 \cdot z \cdot \eta \cdot \psi, \text{ кВт} \quad (64)$$

где  $\rho$  – удельный вес известкового молока, кг/м<sup>3</sup>;  
 $h_n$  – высота лопасти, м;  
 $n$  – скорость вращения мешалки, об/с;  
 $d_0$  – диаметр окружности, описываемой концом лопасти, м;  
 $z$  – количество парных лопастей на валу;  
 $\eta$  – КПД передаточного механизма и редуктора;  
 $\psi$  – коэффициент сопротивления для учета увеличения сечения струй жидкости, перемещаемой лопастью по сравнению с высотой мешалки.

$$N = 0,004 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,67^3 \cdot 0,3^4 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,158 = 0,004 \text{ кВт}. \quad (65)$$

### 2.2.10.2 Склады реагентов

Хранение извести на очистных сооружениях рекомендуется осуществлять в насыпных накопителях. Расположение ёмкости-накопителя должно обеспечивать удобство подачи извести к месту использования, смешения или гашения. Для транспортирования гидратированной или дробленой извести лучше всего применять шнековые питатели. Устройства подачи, сухие питатели, а также емкости для гашеной извести и известкового молока должны быть расположены в непосредственной близости от резервуара для смешения и стабилизации осадка. Известковое молоко может подаваться к месту смешения самотеком по открытым лоткам. Перекачивания известкового молока следует избегать.

Площадь склада извести:

$$F_{скл}^u = \frac{Q \cdot D_k \cdot T \cdot \alpha}{P_c^k \cdot 10000 \cdot h_r \cdot G_0^k}, \text{ м}^2 \quad (66)$$

$$F_{скл}^u = \frac{9,6 \cdot 50 \cdot 30 \cdot 1,15}{50 \cdot 10000 \cdot 0,5 \cdot 1} = 0,1 \text{ м}^2. \quad (67)$$

где  $T$  – продолжительность хранения, сут;  
 $\alpha$  – коэффициент учета дополнительной площади проходов;  
 $P_c^k$  – содержание безводного продукта в коагулянте, %;  
 $h_r$  – высота слоя коагулянта, м;  
 $G_0^k$  – объемный вес реагента-восстановителя, т/м<sup>3</sup>.

### 2.2.10.3 Дозирование растворов реагентов

Устройство для дозирования реагентов делятся на два типа:

1) Дозаторы постоянной дозы, они устанавливаются на очистных сооружениях с постоянным расходом воды.

2) Дозаторы пропорциональной дозы реагента, при изменении расхода обрабатываемой воды.

Оба типа дозатора в зависимости от их конструктивного устройства могут быть напорными и безнапорными.

Сухое дозирование вермикулита.

Пульпу концентрацией 5 - 10%, применяемую для дезодорации воды, готовят замачиванием порошкообразного вермикулита в течение 1 ч в баках с механическим или гидравлическим перемешиванием.

Дозирование осуществляют с помощью дозаторов для сухих материалов, их вводят в специальный смеситель. Дозаторы могут быть шнековые, ленточные, тарельчатые, объемные, массовые и вибрационные.

Объемные дозаторы подают определенный объем вещества за расчетный промежуток времени, массовые – массовое количество вещества. Основное отличие их состоит в следующем: объемные дозаторы, которые конструктивно проще и: дешевле, имеют точность дозирования 3,5%, массовые – 1%; массовые дозаторы легче оборудовать записывающим устройством для регистрации дозируемого реагента и устройством для автоматической подачи реагента в воду.

Важной и неотъемлемой частью сухих дозаторов является растворная камера. При непосредственном вводе сухих реагентов в воду они падают на дно нерастворенными. Максимальную концентрацию реагента в растворной камере принимают равной 1/4 концентрации насыщенного раствора при обычной температуре воды. Вместимость растворных камер принимают не менее 20 л. Для более полного смешения реагента с водой и его лучшего растворения предусматривают электрические мешалки или форсунки. Для точного регулирования количества воды, поступающей в растворную камеру,

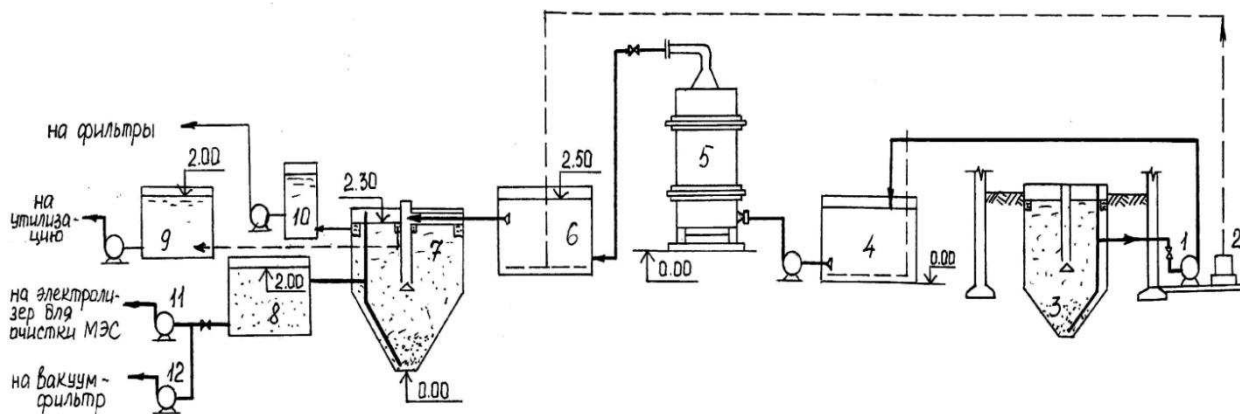
применяют различные водомеры. Из камеры раствор вводят в обрабатываемую воду. Используют дозаторы типа ДВ с массовым контролем производительностью 8-40, 40-120, 120-400, 400-1000, 1000-2000, 2000-4000 кг/ч; питатели-дозаторы с массовым контролем типа ПНВ такой же производительностью, что и дозаторы типа ДВ; дозаторы автоматические, непрерывного действия сыпучих материалов типа ДН-2-IV производительностью од-160; 0,1-320; 0,1-630; 0,1-1000; 0,1-1600 кг/ч. От дозированной дозаторами реагент направляется в смывное устройство (слекер), из которого забирается эжектором и транспортируется водой к смесителю. Существенными преимуществами сухого дозирования являются компактность установки, предотвращение коррозии оборудования, простая схема автоматизации процесса и значительное снижение капитальных затрат.

$$W = 0,1 \frac{q_u \cdot D_u}{b \cdot \gamma}, \text{ л/ч} \quad (68)$$

где  $b$  – концентрация раствора реагента, %.

$$W = 0,1 \cdot \frac{1,2 \cdot 50,0}{5 \cdot 1,05} = 1,14 \text{ л/ч.} \quad (69)$$

### 2.3 Технологическая схема кондиционирования осадка при электрокоагуляционной обработке



1–насос подачи осадка; 2–воздуходувка; 3–шламонакопитель; 4–усреднитель; 5– электрокоагулятор; 6–контактный резервуар; 7–отстойник; 8–емкость для сбора осадка; 9–емкость для сбора масла; 10–емкость для сбора иловой воды; 11–насос рециркуляции осадка; 12–насос для подачи осадка на обезвоживание.

Рисунок 5 - Схема установки для электрообработки осадка

### 2.3.1 Расчет электролизера с алюминиевыми электродами

При электрообработке в резервуаре через систему плоских стальных электродов, установленных на расстоянии 10 мм друг от друга, пропускают постоянный ток плотностью  $80 \text{ А/дм}^2$  под напряжением  $U = 12 \text{ В}$ . Продолжительность обработки 180 с, пропускная способность  $1,5 - 3,0 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади поверхности электродов одного полюса. Эффект очистки 90%.  $D_{all} = 40 \text{ мг/л}$ .

Часовой расход алюминия, который необходимо ввести в обрабатываемую воду  $Q_{час} = 1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$Q_{all} = 40 \cdot 1,2 = 48 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (70)$$

Сила тока, обеспечивающая растворение алюминия:

$$I = Q_{all} \cdot \frac{100}{K \cdot \eta}, \text{ А} \quad (71)$$

где  $K$  – электрохимический эквивалент алюминия,  $K = 0,335 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$ ;  
 $\eta$  – выход металла по току,  $\eta = 90$ .

$$I = 48 \cdot \frac{100}{0,335 \cdot 90} = 159,2 \text{ А}. \quad (72)$$

Рабочая поверхность анодов определяются из условия оптимальной плотности тока.

Плотность тока:

$$F_a = \frac{I}{i \cdot 100} = \frac{159,2}{0,8 \cdot 100} = 2 \text{ А/кв.ед.} \quad (73)$$

Необходимая толщина анодов с учетом их износа:

$$\delta = Q_{сум} \cdot D_{all} \cdot \frac{n_{сум}}{0,4 \cdot \gamma \cdot F_a \cdot 10^6}, \text{ мм} \quad (74)$$

где  $n_{сум}$  – расчетная продолжительность работы,  $n_{сум} = 12 \text{ сут}$ ;  
 $\gamma$  – удельный вес анодного материала для алюминия,  $\gamma = 2,69 \text{ т/м}^3$ .

$$\delta = 9,6 \cdot 40 \cdot \frac{12}{0,4 \cdot 2,69 \cdot 2,0 \cdot 10^6} = 0,002 \text{ м} \approx 2 \text{ мм}. \quad (75)$$

Толщину катода принимаем также 2 мм.

Размеры пластин в соответствии с конструкцией электролизера:

$$F_{эл} = 0,42 \cdot 1,85 = 0,78 \text{ м}^2. \quad (76)$$

Общее количество анодов:

$$n_a = \frac{F_a}{F_{эл}} = \frac{2,0}{0,78} = 3 \text{ шт.} \quad (77)$$

Общее количество электродов:

$$n = 2 \cdot n_a + 1 = 2 \cdot 3 + 1 = 7 \text{ шт.} \quad (78)$$

В электролизере 3 анода и 4 катода.

Количество аппаратов  $N = 2$ .

Ширина электролизера:

$$B = b + 2 \cdot a = 0,42 + 2 \cdot 0,01 = 0,44 \text{ м.} \quad (79)$$

где  $b$  – ширина электрода,  $b = 0,42$  м;

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

Длина электролизера:

$$L = n \cdot \delta + (n-1) \cdot l + 2 \cdot a = 7 \cdot 0,002 + (7-1) \cdot 0,015 + 2 \cdot 0,01 = 0,124 \text{ м.} \quad (80)$$

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

Высота электролизера:

$$H = h_{эл} + a_1 + a_2 = 1,85 + 0,15 + 0,25 = 2,25 \text{ м.} \quad (81)$$

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

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

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

Строительная высота:

$$H_{стр} = H + 0,175 = 2,25 + 0,175 = 2,425 \text{ м.} \quad (82)$$

Объем осадка в электролизере:

$$W_{ос} = W_{вн} - W_{эл}, \text{ м}^3 \quad (83)$$

$$W_{вн} = H \cdot L \cdot B = 2,425 \cdot 0,3 \cdot 0,44 = 0,32 \text{ м}^3. \quad (84)$$

$$W_{эл} = 7 \cdot 1,85 \cdot 0,42 \cdot 0,02 = 0,1 \text{ м}^3. \quad (85)$$

$$W_{ос} = 0,32 - 0,1 = 0,22 \text{ м}^3. \quad (86)$$

Время пребывания осадка в аппарате:

$$\tau = \frac{W_{ос}}{Q_v} = \frac{0,22}{1,2} = 0,18 \text{ ч}. \quad (87)$$

Скорость потока воды в электролизере:

$$V = \frac{H}{t} = \frac{2,25}{0,18} = 12,5 \text{ м/ч}. \quad (88)$$

Требуемая мощность:

$$E = I \cdot U = 159,2 \cdot 12 = 1910,4 = 1,91 \cdot 10^3 \text{ кВт}. \quad (89)$$

Удельный расход электроэнергии:

$$W = \frac{E}{Q_v} = \frac{3,7}{1,2} = 3,08 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3. \quad (90)$$

Расчет производительности вытяжной вентиляционной системы производится из количества выделяемого водорода:

$$W = \frac{\gamma \cdot c \cdot I \cdot (273 + T)}{273} = \frac{0,9 \cdot 0,00042 \cdot 159,2 \cdot (273 + 14)}{273} = 0,1 \text{ м}^3. \quad (91)$$

### 2.3.2 Результаты электрообработки осадка

На рисунке 6 представлен осадок, который длительное время не уплотнялся и осадок после электрообработки. Эксперимент проводили на электролизере после чего проводили его отстаивание.

Исследования процесса электрообработки были проведены в динамических условиях на электрокоагуляторе, объем которого 250 дм<sup>3</sup>. Осадки как модельных, так и реальных МЭС теплоэнергетического комплекса служили предметом исследований. Для этого метода использовали электроды из алюминия, рабочая поверхность которых составляла 1,79 дм<sup>2</sup>, а расстояние между пластинами – 10 мм.

В таблице 2 представлены результаты эксперимента по обработке осадка постоянным и асимметричным током.

Таблица 2 – Свойства осадка при обработке постоянным и асимметричным ТОКОМ

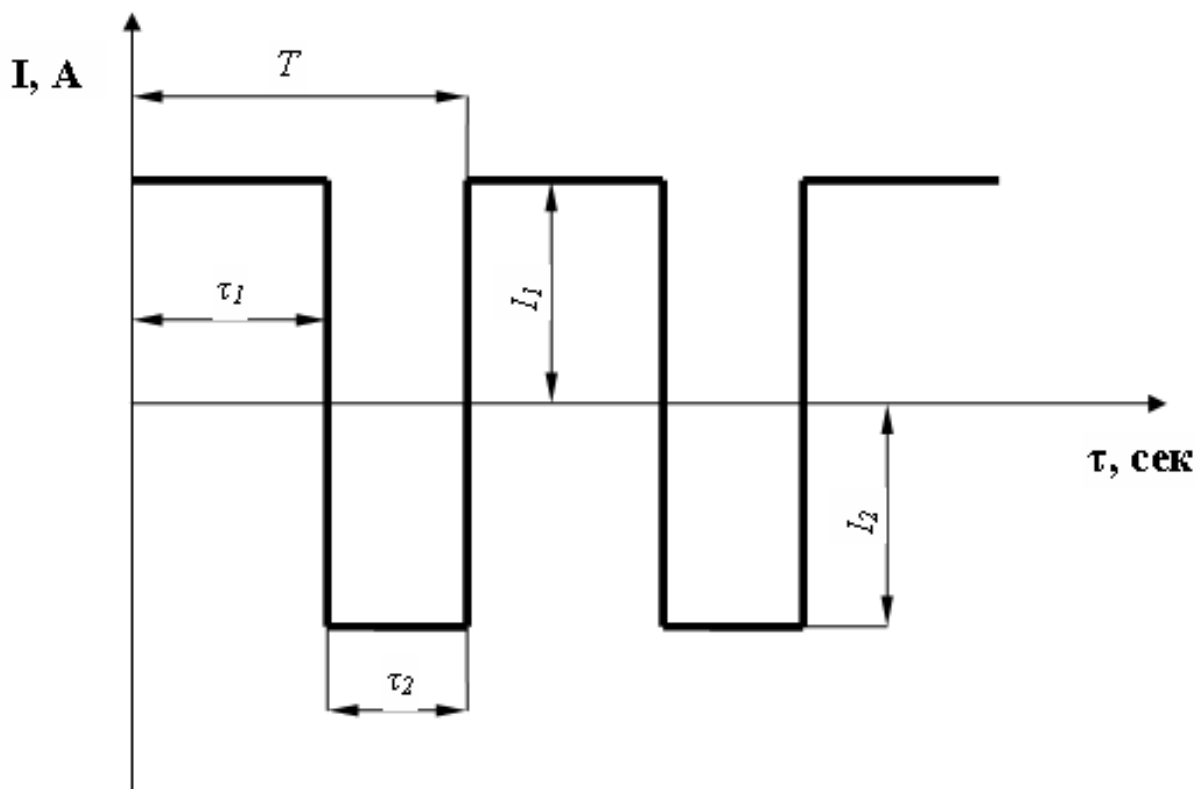
Свойства	До обработки	После обработки током	
		Постоянным	Асимметричным
Замасленность осадка, %	67,12	62,3	56
Влажность осадка, %	95	94	93,4
Объем осадка, %	100	58	30
Удельное сопротивление фильтрации, $г \cdot 10^{10}$ , см/г	155	110	50,4



Рисунок 6 – Результат эксперимента по электрообработке осадка



Асимметричный переменный ток – это импульсный ток специальной формы с различными величинами амплитуд и длительности положительных и отрицательных полярностей. При электрообработке маслоэмульсионных стоков с разной концентрацией загрязнений можно выбрать оптимальную форму тока изменяя период  $T$ , длительность обратного тока, амплитуду импульсов. Энергия обратного тока (отрицательного импульса), используемая для разрушения масляной пленки, может быть выбрана минимальной. В этом случае будут минимальными энергозатраты при высоком эффекте очистки.

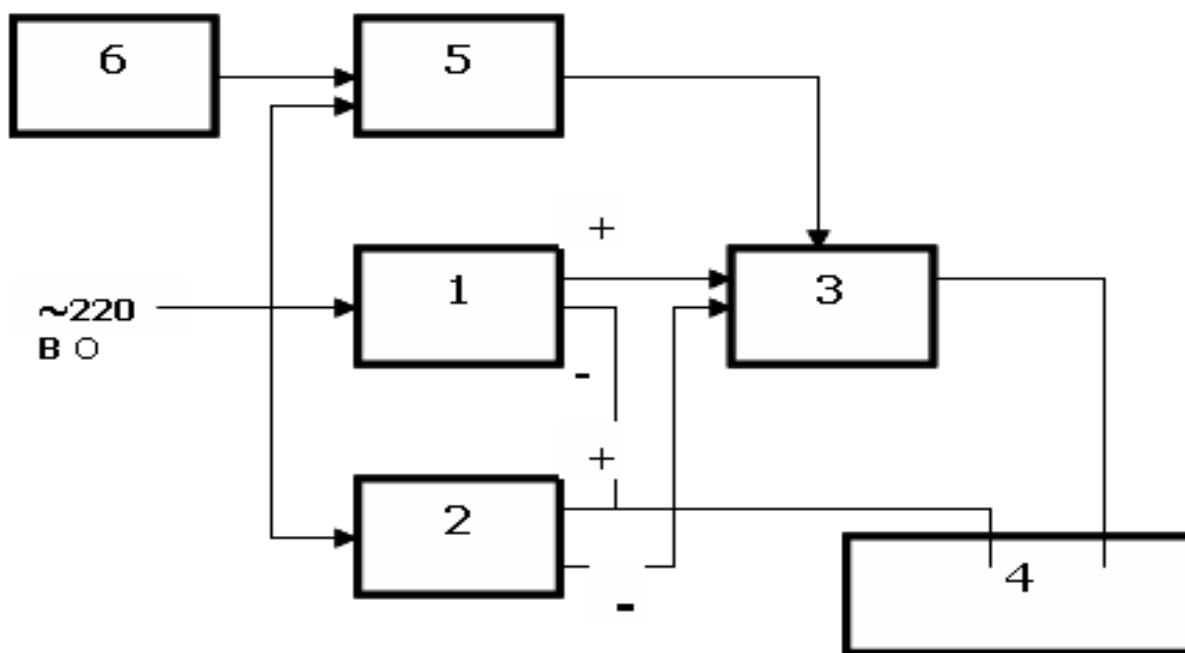


$I_1$  – амплитуда прямого тока;  $I_2$  – амплитуда обратного тока;  $\tau_1$  – длительность прямого тока;  $\tau_2$  – длительность обратного тока;  $T$  – период;  $t$  – время контакта.

Рисунок 7 - Форма тока

На кафедре “Инженерных систем зданий и сооружений” Инженерно-строительного института СФУ было разработано устройство для получения асимметричного тока, содержащее управляемое источниками питания прямого и обратного тока электролизера, соединенные с коммутатором тока, блок управления коммутатором тока, соединенный с электродами электролизера, электролизер для очистки сточных вод и блок датчиков контролируемых параметров очистки сточных вод. Согласно изобретению в устройстве управляемые источники питания прямого и обратного тока

электролизера, выполненные в виде импульсных преобразователей тока, а коммутатор тока выполнен в виде ключевого инвертора тока на полупроводниковых приборах. Кроме того, предлагаемое устройство снабжено компьютером, соединенным с блоком датчиков контролируемых параметров очистки сточных вод и блоком управления коммутатором тока электролизера.



1 – регулируемый импульсный источник питания (прямой ток); 2 – регулируемый импульсный источник питания (обратный ток); 3 – коммутатор; 4 – гальванокоагулятор; 5 – блок управления (задающий генератор); 6 – компьютер.

Рисунок 8 - Структурная схема устройства для получения асимметричного тока

Если сравнивать свойства осадка при обработке постоянным и асимметричным током, то использование асимметричного тока для обезвоживания позволяет уменьшить объем осадка практически в три раза, удельное сопротивление осадка фильтрации примерно в 2,5 раза.

### **3 Технико-экономическое обоснование выбора рациональной технологической схемы кондиционирования маслосодержащего осадка**

В процессе проектирования и строительства инженерно-технические, организационно-технологические или хозяйственные решения принимаются в условиях многовариантности. Например, одна и та же система обработки осадка может иметь различные конструктивно-компоновочные или объемно-планировочные решения, может быть выполнено с использованием разных материалов, разных методов производства работ с применением различных средств механизации. В связи с этим возникает задача: из множества вариантов выбрать наиболее рациональный.

Рациональный вариант обычно выбирается путем сравнения технико-экономических показателей рассматриваемых вариантов. Принимается то решение, которое при условии одинаковой надежности и безопасности для своего осуществления требует меньших затрат. При сравнении вариантов различных решений в качестве критерия экономической эффективности используют систему показателей, которые подразделяются, с одной стороны, на эксплуатационные и строительные, а с другой (как те, так и другие) — на основные и дополнительные.

В числе основных показателей рассматриваются объемы капитальных вложений (или удельные капитальные вложения), себестоимость выпуска продукции предприятия, себестоимость строительно-монтажных работ (или затраты на единицу продукции).

К дополнительным, или частным, показателям причисляются: удельная трудоемкость, удельный вес строительно-монтажных работ в общем объеме капитальных вложений, сметной стоимости работ по установке сооружений; степень полезного использования объема и площади зданий, транспортные расходы, расходы по эксплуатации системы обработки, удельные затраты сырья, топлива и энергии, срок службы возводимых систем кондиционирования и ряд других строительных и эксплуатационных показателей.

Для выбора вариантов инвестиций используются показатели сравнительной экономической эффективности, которые учитывают изменяющиеся по сравниваемым вариантам стоимостные части. В качестве таких показателей выступают: капитальные вложение, эксплуатационные затраты, приведённые затраты, себестоимость обработки, модифицированные приведенные затраты.

Анализ экономической эффективности происходит посредством сравнения технологических процессов, в основе которых лежит метод реагентной обработки и метод электрокоагуляции.

### 3.1 Эксплуатационные годовые затраты

Годовые эксплуатационные расходы по системам водоснабжения и водоотведения ( $C$ ) в рублях в год слагаются из отдельных элементов годовых затрат и определяются по формуле [22]:

$$C = C_{ам} + C_{к.р} + C_{т.р} + C_{эл} + C_{реаг} + C_{фзн} + C_{св} + C_{в} + C_{т} + C_{н.в} + C_{пр}, \quad (92)$$

где  $C_{ам}$  – амортизационные отчисления, р./год;

$C_{к.р}$  – затраты на капитальный ремонт, р./год;

$C_{т.р}$  – затраты на текущий ремонт, р./год;

$C_{эл}$  – стоимость электроэнергии, р./год;

$C_{реаг}$  – стоимость реагентов и других основных материалов, р./год;

$C_{фзн}$  – фонд заработной платы обслуживающего персонала, р./год;

$C_{св}$  – страховые взносы в пенсионный фонд, фонд социального страхования, фонд медицинского страхования;

$C_{в}$  – стоимость воды, используемые на собственные нужды, р./год;

$C_{т}$  – стоимость тепловой энергии на отопление, вентиляцию, технологические нужды и горячее водоснабжение зданий, или затраты на топливо, при условии выработки тепла собственной котельной, р./год;

$C_{н.в}$  – налог на воду, р./год;

$C_{пр}$  – прочие расходы, р./год.

При расчёте отдельных составляющих эксплуатационных расходов, используются данные, полученные от заказчика: стоимость единицы потребляемых реагентов, материалов, тепловой и электрической энергии; топлива и воды; средняя годовая заработная плата по отдельным категориям работников; районный коэффициент на заработную плату; месторасположение поставщиков реагентов и топлива; виды транспорта и расстояние перевозки каждым видом транспорта от поставщика до объекта.

Экономический анализ эксплуатационных затрат исследуемых методов обработки осадков замасленных сточных вод приведен в таблице 7.

#### 3.1.1 Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления на полное восстановление основных фондов систем водоснабжения и водоотведения  $C_{ам}$ , в рублях, определяется по формуле

$$C_{ам} = \sum_{i=1}^m \left( K_i \cdot \frac{H_i}{100} \right), \quad (93)$$

где  $K_i$  – стоимость основных фондов  $i$  – ого сооружения, оборудования, трубопровода и пр., руб.;

$H_i$  – норма амортизационных отчислений по  $i$  – му сооружению, оборудованию, трубопроводу и пр.;

$m$  – количество основных фондов (сооружений, оборудования, трубопроводов и прочих).

Результаты расчета затрат на амортизацию и капитальные вложения сведены в таблице 3.

Сравнительная гистограмма капитальных вложений для реагентного метода и электрокоагуляции обработки осадков представлена на рисунке 9.

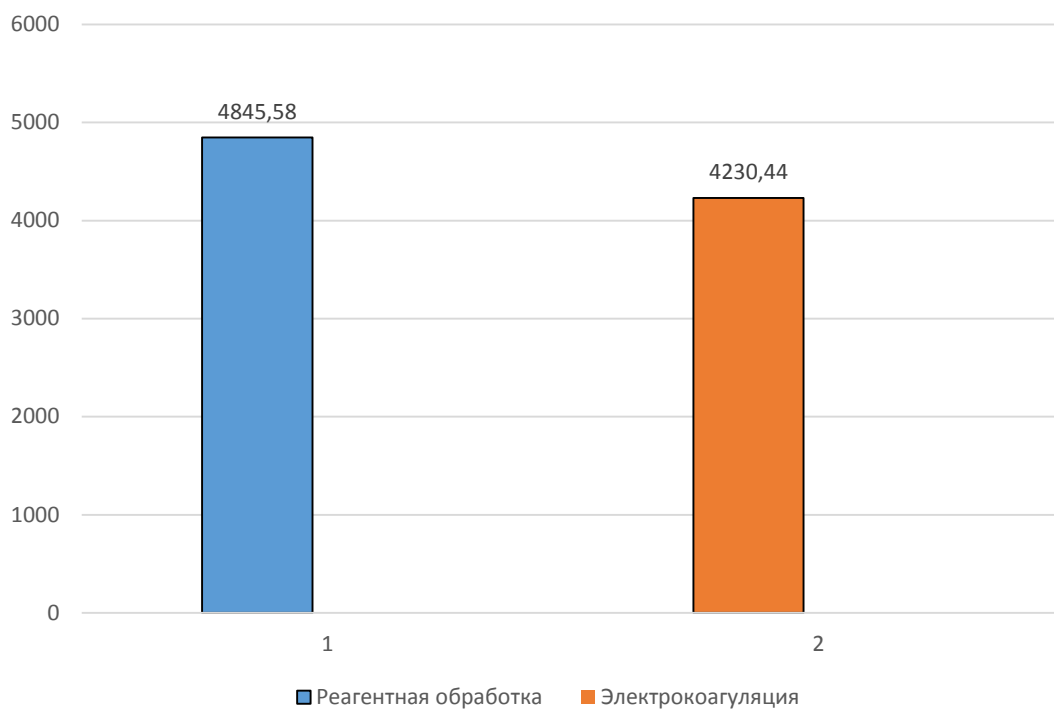


Рисунок 9 – Сравнительная гистограмма капитальных вложений

Таблица 3- Расчет капитальных вложений и амортизационных отчислений

№	Оборудование	Кол-во, м	Стоимость за единицу, тыс.руб	Капитальные вложения, К <sub>i</sub> , тыс.руб.		Норма амортизац. отчисления, Н <sub>i</sub>	Сумма амортизационных отчислений, С <sub>ам</sub> , руб.	
				Реагентная обработка	Электрокоагуляция		Реагентная обработка	Электрокоагуляция
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Резервуар-усреднитель	1	1005	1005	1005	2	20100	20100
2	Нефтеловушка	1	764,4	764,4	764,4	6,7	51214,8	51214,8
3	Напорный электролизер	2	41	-	82	9,1	-	7462
4	Вертикальный отстойник с камерой хлопьеобразования	1	645	645	645	2	12900	12900
5	Скорый фильтр с зернистой загрузкой	2	188	376	376	2	7520	7520
6	Шламонакопитель	1	230	230	230	3	6900	6900
7	Бак замасленных отходов	1	31,41	31,41	31,41	3,6	1130,76	1130,76
8	Бак для сбора пленочных нефтепродуктов	1	19,2	19,2	19,2	3,6	691,2	691,2
9	Промежуточный резервуар	1	31,41	-	31,41	2	-	628,2
10	Резервуар чистой воды (РЧВ)	1	218,3	218,3	218,3	2,5	5457,5	5457,5
11	Резервуар горячей воды	1	19,2	19,2	19,2	2	384	384
12	Резервуар загрязненной воды после промывки фильтров	1	31,41	31,41	31,41	2	628,2	628,2
13	Воздуходувка	2	97,5	195	195	17	33150	33150
14	Насосная станция I подъема	1	33	33	33	2	660	660
15	Насосная станция II подъема	1	33	33	33	2	660	660
16	Насос перекачки осадка	1	33	33	33	12,5	4125	4125
17	Насос технической воды	2	33	66	66	12,5	8250	8250
18	Насос промывной воды	2	33	66	66	12,5	8250	8250
19	Насос перекачки промывной воды	1	33	33	33	12,5	4125	4125
20	Насос рециркуляции осадка	1	33	33	33	20	6600	6600
21	Насос подачи осадка на обработку	1	33	33	33	12,5	4125	4125
22	Центрифуга	1	18	18	18	12,3	2214	2214
23	Емкость для сбора масла	1	31,41	31,41	31,41	5	1570,5	1570,5
24	Насос подачи масла на сжигание	1	33	33	33	12,5	4125	4125

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	Насос подачи пленочных отходов на центрифугу	1	32,7	32,7	32,7	12,5	4087,5	4087,5
26	Песковой насос	1	27	27	27	33,3	8991	8991
27	Смеситель	1	55	55	-	2	1100	-
28	Механизированный емкость для извести	1	27	27	-	25	6750	-
29	Шламоуплотнитель	1	229,4	229,4	-	10	22940	-
30	Контактная камера	1	38,95	38,95	-	2	779	-
31	Вакуум-фильтр	2	55	110	110	10	11000	11000
32	Резервуар для обезвоженного осадка	1	82,6	82,6	-	2	1652	-
33	Резервуар для сбора надиловой воды	1	45,6	45,6	-	2	912	-
34	Аварийные иловые площадки	1	235	235	-	2,5	5750	-
35	Склад реагентного хозяйства	1	15	15	-	1,5	225	-
	Общая сумма			4845,58	4230,44		248967,46	216949,76

### 3.1.2 Затраты на капитальный ремонт

Размер отчислений на капитальный и текущий ремонты основных производственных фондов принимаются в процентах от сметной стоимости сетей и сооружений.

Расчёт затрат на капитальный ремонт выполняется по формуле

$$C_{кр} = \sum_{i=1}^m (K_i \cdot H_{i.кр}), \quad (94)$$

где  $K_i$  – стоимость основных фондов  $i$  – ого сооружения, млн.р;

$H_{i.кр}$  – норма затрат на капитальный ремонт по  $i$  – му сооружению, %;

$m$  – количество основных фондов (сооружений, оборудования, трубопроводов).

Нормативы затрат на капитальный и текущий ремонты устанавливаются предприятиями самостоятельно.

Общая сумма годовых затрат на капитальный ремонт при реagentном методе:

$$C_{кр} = 4845580 \text{ руб.} \cdot 2\% = 96911,6, \text{ рублей} \quad (95)$$

Общие годовые затраты на капитальный ремонт при электрокоагуляции:

$$C_{кр} = 4230440 \text{ руб.} \cdot 2\% = 84608,8, \text{ рублей} \quad (96)$$

### 3.1.3 Расчет затрат на электроэнергию

Расчет стоимости электроэнергии по проектируемым системам водоснабжения и водоотведения производится на основе действующих тарифов на электрическую энергию и расчетных данных.

В настоящее время, когда цены на энергоносители отпущены и не контролируются государством, тарифы различны по регионам, республикам.

Для определения затрат на электроэнергию принимаются тарифы по группе «Промышленные и приравненные к ним потребители». К этой группе относятся сооружения коммунального хозяйства – насосные станции, водопроводы, канализационные коллекторы и устройства, станции перекачки, районные и квартальные котельные и т.п.

Годовой расход электроэнергии ( $A$ ), кВт·ч определяется по формуле

$$A = P_H \cdot T, \quad (97)$$

где  $P_H$  – потребленная электроэнергия, кВт ч;

$T$  – продолжительность работы оборудования в течении года, ч.

Потребленная электроэнергия определяется по формуле



$$P_n = P_y \cdot K_c, \quad (98)$$

где  $P_y$  – установленная мощность оборудования, кВт;  
 $K_c$  – коэффициент мощности оборудования, в среднем принимается 0,85.

Затраты на электроэнергию определяются, как произведение тарифа, за 1 кВт·ч отпущенной электроэнергии на годовой расход электроэнергии.

Расчеты годовых расходов электроэнергии для 2х методов приведены в таблицах 4,5.

Годовая стоимость затрат на электроэнергию для реагентного метода, равна:

$$C_{эл} = 2,37 \text{ руб} \cdot 74673,16 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год} = 176975,4, \text{ рублей} \quad (99)$$

Годовые затраты на электроэнергию при электрокоагуляции, равна:

$$C_{эл} = 2,37 \text{ руб} \cdot 86959,06 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год} = 206093, \text{ рублей} \quad (100)$$

Таблица 4- Годовой расход электроэнергии для реагентного метода

№	Оборудования, потребители электроэнергии	Кол-во	Установленная мощность оборудования $P_{у}$ , кВт	Потребленная мощность $P_{п}$ , кВт	Продолжительность работы, часов в сутки	Продолжительность работы, часов в год	Годовой расход электроэнергии $A$ , кВт·ч/год
1	Воздуходувка	1	5,5	4,675	8	2920	13651
2	Центрифуга	1	6,7	5,695	12	4380	24944,1
3	Смеситель	1	1,5	1,275	12	4380	5584,5
4	Насос воды	5	0,37	1,573	12	4380	6889,74
5	Насос отходов	2	0,37	0,629	12	4380	2755,02
6	Насос дозатор	6	0,5	2,55	12	4380	11169
7	Вакуум-фильтр	2	1,3	2,21	8	2920	9679,8
	Итого:						74673,16

Таблица 5- Годовой расход электроэнергии при электрокоагуляции

№	Оборудования, потребители электроэнергии	Кол-во	Установленная мощность оборудования $P_{у}$ , кВт	Потребленная мощность $P_{п}$ , кВт	Продолжительность работы, часов в сутки	Продолжительность работы, часов в год	Годовой расход электроэнергии $A$ , кВт·ч/год
1	Электролизер	2	1,5	2,55	12	4380	11169
2	Воздуходувка	2	5,5	9,35	8	2920	27302
3	Центрифуга	1	6,7	5,695	12	4380	24944,1
4	Насос воды	5	0,37	1,573	12	4380	6889,74
5	Насос отходов	2	0,37	0,629	12	4380	2755,02
6	Насос дозатор	4	0,5	1,7	12	4380	7446
7	Вакуум-фильтр	2	1,3	2,21	8	2920	6453,2
	Итого:						86959,06

### 3.1.4 Стоимость реагентов и других основных материалов

По этой шкале учитываются затраты на основные материалы, используемые при эксплуатации очистных сооружений. К основным материалам относятся: химические реагенты, растворители, загрузки различного типа фильтров, катоды и аноды и некоторые другие материалы, потребляемые в процессе очистки стоков. Расчет годовой потребности в материалах, в том числе в реагентах, определяется в основной части ВКР.

Определение годовых расходов и затрат на материалы осуществляется для каждого вида материала.

Годовые затраты на реагенты ( $C_{реаг}$ ), в тысячах рублей, определяется по формуле:

$$C_{реаг} = \sum_{i=1}^m C_i \cdot V_i, \quad (101)$$

где  $C_i$  - стоимость 1 т.  $i$ -го товарного продукта (реагента), тыс. р.;  
 $V_i$  - годовой расход  $i$ -го вида материала, т;  
 $m$  - количество видов реагентов.

Годовой расход в реагентах определяется по формуле:

$$V = \frac{Q \cdot D_p \cdot T}{10^6}, \quad (102)$$

где  $D_p$  - расчетная доза реагента, г/м<sup>3</sup>;  
 $Q_{час}$  - часовой расход, м<sup>3</sup>/ч;  
 $T$  - время работы очистных сооружений с использованием реагента (материала),  $T = 6240$  ч.

Годовой расход извести равен:

$$V_{Ca(OH)_2} = \frac{9,6 \cdot 50 \cdot 6240}{10^6} = 2,99, \text{ тонн в год} \quad (103)$$

Годовой расход металла алюминия равен:

$$V_{Al} = \frac{1,2 \cdot 30 \cdot 6240}{10^6} = 0,224, \text{ тонн в год} \quad (104)$$

Результаты расчета приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расход реагентов и материалов

Наименование реагента (материала)	Расчетная доза реагента (материала), г/м <sup>3</sup>	Стоимость 1 т реагента (материала), руб.	Годовой расход реагента (материала), т	Годовая стоимость затрат на реагенты (материалы) $C_{\text{реаг}}$ , руб.
Для реагентного метода:				
известь Ca(OH) <sub>2</sub>	50	10000	2,99	29900
Для элетрокоагуляции:				
Al (металл)	30	50000	0,224	11232

### 3.1.5 Затраты на оплату труда

Заработная плата обслуживающего персонала зависит от штата, работающего на данном предприятии – 2 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 1.01.2019 г составляет 11280 руб.

Расчет заработной платы работников ( $C_{\text{фзн}}$ ):

$$C_{\text{фзн}} = 12 \cdot Z_{\text{ср}} \cdot K_c \cdot K_p \cdot n \quad (105)$$

где  $Z_{\text{ср}}$  – среднегодовая зарплата на одного работника, руб;  
 $K_c$  – коэффициент равный налоговых отчислений,  $K_c = 1,13$ ;  
 $K_p$  – коэффициент учета региональных особенностей,  $K_p = 1,6$ ;  
 $n$  – количество работающих.

$$C_{\text{фзн}} = 12 \cdot 11280 \cdot 1,13 \cdot 1,6 \cdot 2 = 489461,76, \text{ рублей} \quad (106)$$

### 3.1.6 Прочие расходы

По статье «Прочие расходы» учитываются следующие виды затрат:

- а) износ и ремонт малоценных и быстроизнашивающихся инструментов, приспособлений, хозяйственного инвентаря;
- б) расходы на спецобувь, спецодежду, спецпитание и др.;
- в) расходы на техническое усовершенствование; расходы на командировки;
- г) услуги сторонних организаций и цехов предприятий (выполнение отдельных работ по благоустройству поддержанию санитарного состояния территории, транспортные и другие услуги производственного назначения, в

том числе вывоз отходов производства, мусора, аренда технических средств, механизмов и пр.);

д) другие неучтенные расходы.

Прочие расходы ( $C_{пр}$ ) принимаются в размере 20 % от суммы амортизационных отчислений ( $C_{ам}$ ) и затрат на заработную плату обслуживающего персонала ( $C_{фзн}$ ).

Прочие расходы определяются по формуле:

$$C_{пр} = 0,2 \cdot (C_{ам} + C_{фзн}), \quad (107)$$

Годовые затраты на прочие расходы для реагентного метода равны:

$$C_{пр} = 0,2 \cdot (248967,46 + 489461,76) = 147685,844, \text{ рублей} \quad (108)$$

Годовые затраты на прочие расходы при электрокоагуляции равны:

$$C_{пр} = 0,2 \cdot (216949,76 + 489461,76) = 141282,304, \text{ рублей} \quad (109)$$

Таблица 7 - Смета годовых эксплуатационных затрат

Показатели	Единица измерения	Метод обработки	
		Реагентная обработка	Электрокоагуляция
Амортизационные отчисления, $C_{ам}$	руб.	248967,46	216949,76
Капитальный ремонт, $C_{кр}$	руб.	96911,6	84608,8
Затраты на электроэнергию, $C_{эл}$	руб.	176975,4	206093
Затраты на материалы и реагенты, $C_{реаг}$	руб.	29900	11232
Затраты на оплату труда, $C_{фзн}$	руб.	489461,76	489461,76
Прочие расходы, $C_{пр}$	руб.	147685,844	141282,304
Итого эксплуатационные расходы	руб.	1189902,064	1149627,624

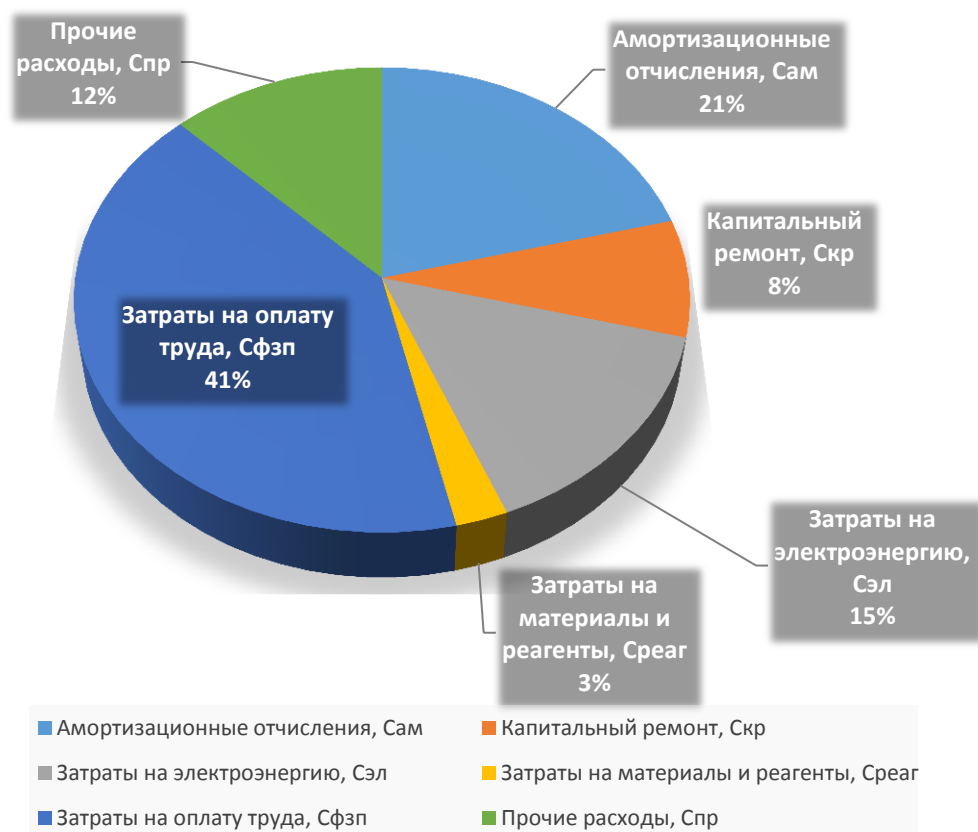


Рисунок 10-Годовые эксплуатационные затраты при реагентной обработке осадка

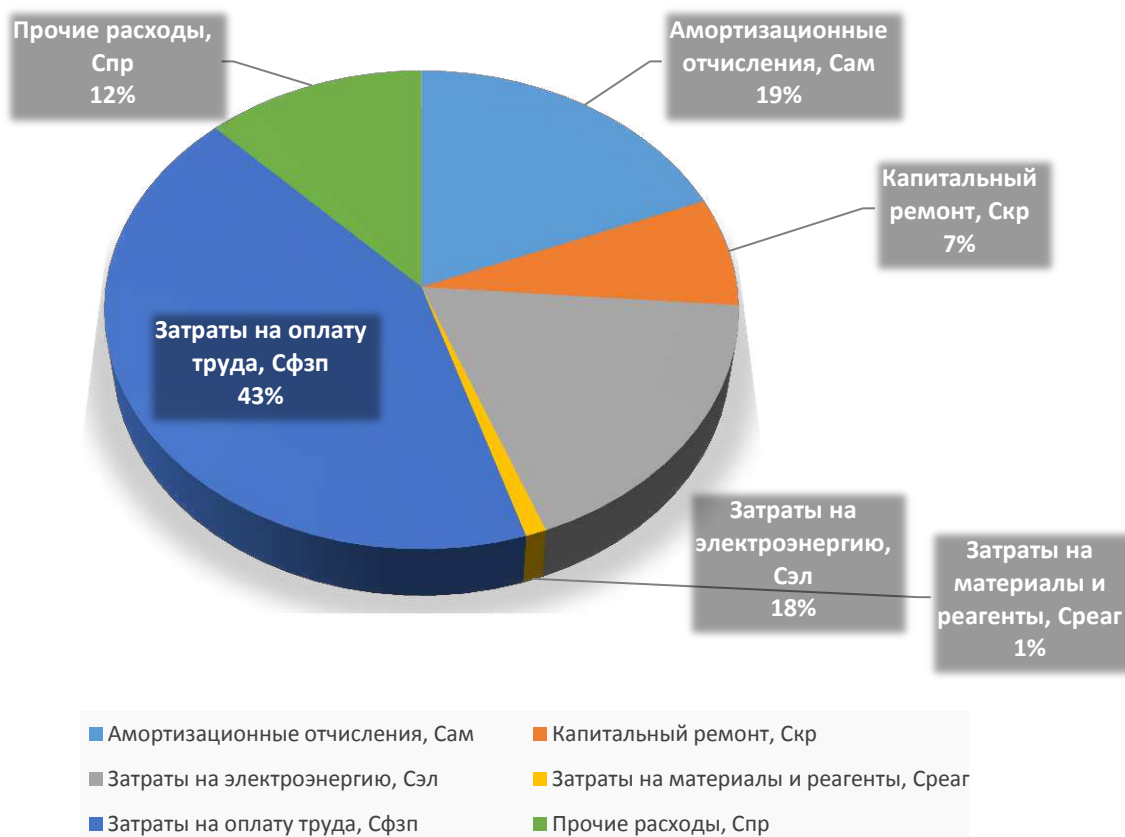


Рисунок 11 - Годовые эксплуатационные затраты при электрокоагуляции осадка

### 3.2 Приведенные затраты

При оценке сравнительной экономической эффективности сравниваются несколько вариантов строительства, реконструкции, внедрения организационно-технических мероприятий, и выбирается наиболее эффективный вариант капитальных вложений.

При проектировании капитальных вложений возникает необходимость выбрать из нескольких возможных вариантов наиболее экономичный.

Критерием эффективности является величина приведенных затрат по каждому варианту капитальных вложений.

Приведенные затраты ( $Пzi$ ) по каждому варианту рассчитываются по формуле

$$Пzi = Zi + E_n \cdot Ki, \quad (110)$$

где  $Zi$  – затраты на производство по рассматриваемому варианту, руб.;

$E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности,  $E_n = 0,15$ ;

$Ki$  – капитальные вложения по рассматриваемому варианту, руб.

Вариант, по которому величина приведенных затрат минимальна, является наиболее выгодным с экономической точки зрения.

Приведенные затраты для реагентного метода равны:

$$Пzi = 1189902,064 + 0,15 \cdot 4845580 = 1916739,064, \text{ рублей} \quad (111)$$

Приведенные затраты при электрокоагуляции равны:

$$Пzi = 1149627,624 + 0,15 \cdot 4230440 = 1784193,624, \text{ рублей} \quad (112)$$

### 3.3 Себестоимость обработки $1 \text{ м}^3$ осадка

Расчетная проектная себестоимость ( $S$ ), рублей за  $\text{м}^3$  определяется по формуле:

$$S = C / Q, \quad (113)$$

где  $C$  – суммарные годовые эксплуатационные расходы, р./год;

$Q$  – годовой объем обработки замасленных осадков сточных вод,  $\text{м}^3$ /год.

Себестоимость обработки  $1 \text{ м}^3$  осадка реагентным методом равна:

$$S = 1189902,064 / 3504 = 339,58, \text{ руб/м}^3 \quad (114)$$

Себестоимость обработки 1 м<sup>3</sup> осадка при электрокоагуляции равна:

$$S = 1149627,624 / 3504 = 328,09, \text{ руб/м}^3 \quad (115)$$

### 3.4 Модифицированные приведенные затраты

Если сравниваемые варианты отличаются друг от друга только размерами потребных капитальных вложений и эксплуатационными расходами (текущими затратами), то наиболее эффективное решение будет отвечать минимуму модифицированной суммы приведенных строительно-эксплуатационных затрат. Модифицированные приведенные затраты являются частным случаем интегрального эффекта капитальных вложений.

Модифицированные приведенные затраты ( $Пз'$ ) определяются по формуле:

$$Пз' = \sum_{t=0}^T \frac{K_t + 3z_t}{(1+E)^t}, \quad (116)$$

где  $K_t$  – капитальные вложение, руб;

$3z_t$  – годовые эксплуатационные затраты, руб;

$E$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений

$E = 0.16$ ;

$T$  – период расчета,  $T = 3$  года.

Модифицированные приведенные затраты для реагентного метода равны:

$$\begin{aligned} Пз' = &= \frac{\frac{4845580}{3} + 0,16 \cdot 4845580}{(1+0,16)^1} + \frac{\frac{4845580}{3} + 0,16 \cdot (4845580 - \frac{4845580}{3})}{(1+0,16)^2} + \\ &+ \frac{\frac{4845580}{3} + 0,16 \cdot (4845580 - 2 \cdot \frac{4845580}{3})}{(1+0,16)^3} = 4845579,986, \text{ рублей} \end{aligned} \quad (117)$$

Модифицированные приведенные затраты при электрокоагуляции равны:

$$\begin{aligned} Пз' = &= \frac{\frac{4230440}{3} + 0,16 \cdot 4230440}{(1+0,16)^1} + \frac{\frac{4230440}{3} + 0,16 \cdot (4230440 - \frac{4230440}{3})}{(1+0,16)^2} + \\ &+ \frac{\frac{4230440}{3} + 0,16 \cdot (4230440 - 2 \cdot \frac{4230440}{3})}{(1+0,16)^3} = 4230439,985, \text{ рублей} \end{aligned} \quad (118)$$



Таблица 8 - Техничко-экономические показатели сравниваемых методов обработки

№	Наименование показателя	Единица измерения	Метод обработки	
			Реагентная обработка	Электрокоагуляция
1	Капитальные вложения	руб.	4845580	4230440
2	Эксплуатационные затраты:		1189902,064	1149627,624
	амортизационные отчисления		248967,46	216949,76
	капитальный ремонт		96911,6	84608,8
	затраты на электроэнергию		176975,4	206093
	затраты на материалы и реагенты		29900	11232
	затраты на оплату труда		489461,76	489461,76
	прочие расходы		147685,844	141282,307
3	Приведенные затраты		1916739,064	1784193,624
4	Себестоимость обработки 1 м <sup>3</sup> осадка		339,58	328,09
5	Модифицированные приведенные затраты	4845579,986	4230439,985	

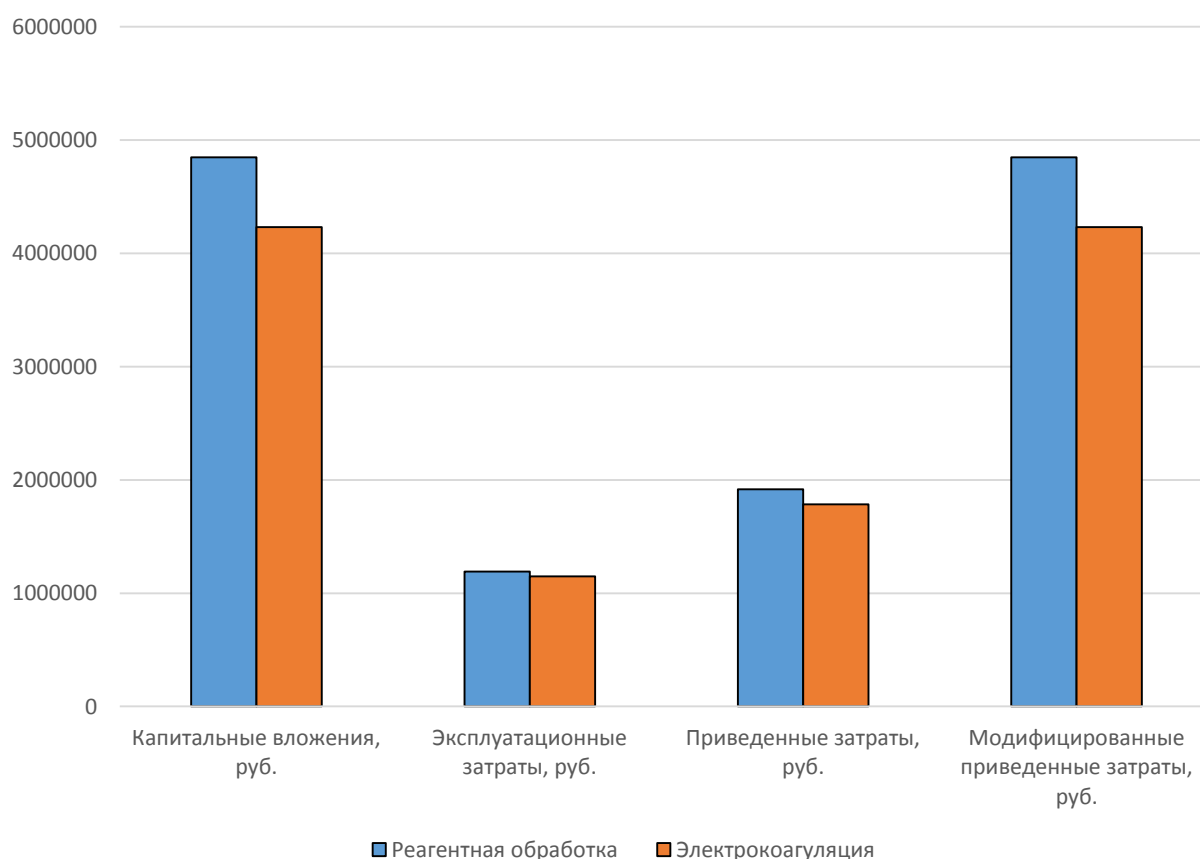


Рисунок 12 – Гистограмма технико-экономического сравнения вариантов

В таблице 8 и на рисунке 12 приведены технико-экономические показатели сравниваемых методов обработки осадков замасленных сточных

вод, из которых видно, что наиболее рациональным вариантом является технологическая схема электрокоагулятивной обработки.

Вывод: на основании приведенного экономического расчета технологических схем реагентной обработки и электрокоагуляции осадков замасленных сточных вод, производится сравнительный анализ, в ходе которого видно, что наиболее рационален метод электрокоагуляции осадков.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Российской Федерации при работе очистных сооружений в целом образуется ежегодно более 2 млн. тонн осадков в пересчете на сухое вещество [23]. В настоящее время можно утверждать, что проблема обработки и утилизации сточных вод составляют основную технологическую и экономическую сложность в процессах очистки сточных вод.

Поэтому актуальной проблемой для страны является необходимость разработки современной технологии обработки осадков сточных вод промышленных предприятий для снижения техногенного воздействия на окружающую среду.

Важное значение при переработке осадков сточных вод до их утилизации имеют процессы обезвоживания и обеззараживания. Большие объемы образующихся и накапливающихся осадков создают достаточно серьезную проблему для их утилизации [24]. Острота экологической ситуации определяется условиями складирования и хранения накопленных осадков (как правило, в больших объемах) на территории очистных сооружений, приводящих к постоянному загрязнению подземных и поверхностных вод, а также почв прилегающих территорий. Кроме того, такая ситуация создает полную неопределенность и непредсказуемость развития событий, способных перерасти в экологическую катастрофу вследствие различных природных (климатических и др.) и антропогенных воздействий.

В выпускной квалификационной работе исследования обработки осадков показали достижение водоотдачи, при которой объемы осадков уменьшаются в 3 раза, что позволяет снизить энергетические затраты и увеличить производительность сооружений, соответственно, уменьшение объемов осадка приводит к снижению техногенного воздействия на окружающую среду.

На основе технико-экономического расчета технологических схем обработки осадков замасленных сточных вод, производится сравнительный анализ, в ходе которого видно, что наиболее рационален метод электрокоагуляции осадков

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дьяков, М. С. Технологии переработки и обезвоживания осадков сточных вод: ретроспектива и перспективные направления развития / М. С. Дьяков, А. В. Цыбина, У. В. Груздева // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – Пермь, 2014. – № 3.
2. Пат. 2450981 Россия, МПК С02F11/00. Способ кондиционирования осадков сточных вод/ С. М. Сидоров; заявитель и патентообладатель ООО «ГИДРОМАШ ЭКОЛОГИЯ». – № 2010125766/05; заявл. 23.06.2010; опубл. 20.05.2012.
3. Халтурина Т. И. Современные технологии очистки производственных сточных вод, обработки и утилизации осадка: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] / Т. И. Халтурина. – Красноярск: СФУ, 2013. – 95 с.
4. Благоразумова А. М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод: учебное пособие часть 1 / А. М. Благоразумова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – 139 с.
5. Федяева О. А. Промышленная экология: конспект лекций [Электронный ресурс] / О. А. Федяева. – Омск: ОмГТУ, 2007. – 145с.
6. Ветошкин А. Г. Защита литосферы от отходов: учебное пособие/ А. Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та., 2005. – 189 с.
7. Денисов, С. Е. Перспективы использования вибрационных эффектов для интенсификации процесса обезвоживания осадка сточных вод/ С. Е. Денисов, Е. Н. Гордеев // Производственно-технический и научнопрактический журнал / Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. – Москва, 2015. – № 86. – С. 40–43.
8. Халтурина Т. И. Очистка сточных вод промышленных предприятий: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] / Т. И. Халтурина. – Красноярск: СФУ, 2014. – 164 с.
9. Соколов Э. М. Утилизация отходов производства и потребления: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс]/ Э. М. Соколов, Ю.А. Москвичев, Е.А. Фролова, Н.С. Яманина, О.П. Филиппова, Н.И. Володин, В.М. Макаров./ – Ярославль: Изд-во ЯрГТУ, 2006.– 388 с.
10. Туровский И. С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание / И. С Туровский. – Москва: ДеЛи принт, 2008. – 375 с.
11. Пат. 2449955 Россия, МПК С02F11/14. Способ и установка для кондиционирования осадков перед сушкой/ Марсель Лезуалль, Андрэ Обри, Клод Прево; заявитель и патентообладатель «ДЕГРЕМОН». – № 2009108265/05; заявл. 6.08.2007; опубл. 10.05.2012.
12. Настенко, А. О. Современные коагулянты и флокулянты в очистке природных и сточных вод / А. О. Настенко, О. И. Зосуль // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3. – С 531-537.
13. Халтурина, Т. И. Интенсификация обезвоживания осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий / Т. И. Халтурина, А. Н. Уарова,

О. В. Чурбакова // Журнал «Вестник Иркутского государственного технического университета». – Иркутск, 2014. – № 8 (91). – С 109-115.

14. Карманов, А. П. Технология очистки сточных вод: учебное пособие [Электронный ресурс] / А. П. Карманов, И. Н. Полина. – Сыктывкар: СЛИ, 2015. – 207 с.

15. Халтурина, Т. И. Обработка и утилизация осадка кислотнo-щелочных сточных вод металлообрабатывающих предприятий / Т. И. Халтурина, О. В. Чурбакова, Т. А. Курилина // Изв. Вузов «Строительство» – 2010. – № 8. – С 7277.

16. Современные методы обработки осадка [Электронный ресурс]: Бионик. – Режим доступа: <http://www.biostock.ru/sovremennye-metody-obrabotkiosadka-obrazuyuschegosya-v-stochnyh-vodah.html>.

17. Пат. 2486140 Россия, МПК C02F11/12. Способ обработки осадков сточных вод/ Т. И. Халтурина, Ю. В. Гаврилова, О. В. Чурбакова, Т.А. Курилина; патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский Федеральный Университет». – № 2012121370/05; заявл. 23.05.2012; опубл. 27.06.2013.

18. Воронов Ю.И. Водоотведение и очистка сточных вод: учебное пособие / Ю. И. Воронов, С. В. Яковлев. – Москва: АСВ, 2006. – 704 с.

19. Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 октября 2014 г.: в 17 частях. Часть 5. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2014. – 164 с.

20. Пат. 2431231 Россия, МПК Н02М 9/06. Устройство для получения асимметричного тока/ Т. И. Халтурина, Ю. В. Гаврилова, О. В. Чурбакова, Т. А. Курилина; патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский Федеральный Университет». – № 2010131777; заявл. 28.07.2010; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 28.


21. Халтурина, Т. И. Водоотводящие системы промышленных предприятий: учеб-метод. пособие [Электронный ресурс] / Т. И. Халтурина, О.В.Чурбакова. – Красноярск: СФУ, 2008. – 216 с.

22. Любанская, З. Г. Расчет эксплуатационных расходов в системах водоснабжения и водоотведения: метод. пособие [Электронный ресурс]/З. Г. Любанская – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-т, 2012. – 15с.

23. Небел И.И. Наука об окружающей среде: Как устроен мир. – М., 1978. – Т. 1. – С. 296–349.

24. Касатиков В.А., Касатикова С.М. Эффективность внесения термически высушенных осадков сточных вод под озимую пшеницу // Агрохимия. – 1980. – №6. – С. 54–58.

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

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 Т.А Кулагина  
подпись инициалы, фамилия  
«15.» 04 2019 г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»

Разработка технологии обработки осадков замасленных сточных вод  
теплоэнергетической промышленности

Руководитель

 11.07.  
подпись, дата

к.т.н., доцент  
должность, учёная степень


О.В. Чурбакова  
инициалы, фамилия

Выпускник

 11.07.2019г.  
подпись, дата

М.О. Владыковская  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 15.07.19  
подпись, дата

Е.Н. Зайцева  
инициалы, фамилия

Красноярск 2019