

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»
(наименование)

18.03.02 Энерго– и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии
и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Совершенствование технологии утилизации осадков сточных вод биологических
очистных сооружений ОАО «Метафракс»

Обучающийся

Колпакова Д.А.

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Доцент кафедры «ХТиР» Чариков Ю.В.

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалификационная работа на тему: «Совершенствование технологии утилизации осадков сточных вод биологических очистных сооружений ОАО «Метафракс» содержит 63 страниц, 2 рисунка, 6 таблиц, 32 источника литературы.

Ключевые слов: сточные воды, очистка сточных вод, осадки сточных вод, пиролиз.

Целью выпускной квалификационной работы является интенсификация технологии переработки осадков сточных вод.

В работе рассмотрен процесс биологической очистки промышленно-сточных вод, поступающих на существующие очистные сооружения. Проведен анализ на основании литературного обзора технологий утилизации осадков сточных вод. Предложен способ переработки осадков сточных вод цеха водоснабжения и водоотведения организации ОАО «МЕТАФРАКС» за внедрения высокотемпературного деструктивного метода. Рассчитано и подобрано технологическое оборудование для реализации процесса

Содержание

Введение.....	4
1.1 Классификация сточных вод.....	5
1.2 Принципы очистки сточных вод при помощи микроорганизмов.....	7
1.3 Образование осадков сточных вод.....	10
1.4 Применяемые технологии переработки осадков сточных.....	11
2 Описание объекта исследования	19
2.1 Существующее состояние технологического объекта.....	19
2.2 Описание технологического процесса.....	23
2.3 Обоснование выбора технического решения для переработки осадков сточных вод.....	33
3 Технологические расчеты основного оборудования.....	39
3.1 Расчет материального баланса процесса пиролиза	39
3.2 Расчет пиролизной печи	42
Заключение	59
Список используемых источников.....	60

Введение

В современных условиях защиты окружающей среды особое внимание уделяется вопросам очистки сточных вод и утилизации образующихся при этом осадков. Биологические очистные сооружения, широко используемые в системах водоотведения, генерируют значительные объемы осадков, которые требуют дальнейшей обработки и утилизации. Традиционный метод утилизации осадков, предусматривающий их вывоз на иловые карты и рекультивацию, сопряжен с рядом экологических и экономических проблем. Во-первых, такие методы требуют больших площадей для хранения и обработки осадков, что часто приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод. Во-вторых, высокие затраты на транспортировку и рекультивацию существенно увеличивают стоимость очистки сточных вод.

Актуальность выбранной темы заключается в том, традиционный метод утилизации осадков, предусматривающий их вывоз на иловые карты и рекультивацию, сопряжен с рядом экологических и экономических проблем. Такие методы требуют больших площадей для хранения и обработки осадков, что часто приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод. Высокие затраты на транспортировку и рекультивацию существенно увеличивают стоимость очистки сточных вод.

Целью работы является интенсификация технологии переработки осадков сточных вод.

Для реализации вышеназванной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ состояния установки очистки сточных вод ОАО "Метафракс";
- выявить технологические проблемы и предложить пути их решения;
- рассчитать основные характеристики оборудования для переработки осадка сточных вод.

1. Аналитический обзор литературы

1.1 Классификация сточных вод

«Сточные воды представляют собой жидкие отходы, образующиеся в результате бытовой, промышленной и сельскохозяйственной деятельности. Они содержат различные загрязняющие вещества, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Классификация сточных вод необходима для выбора адекватных методов их очистки и переработки» [2].

«В зависимости от источника происхождения, состава и характеристик сточные воды можно разделить на несколько основных категорий:

- производственные (использованные в технологическом процессе производства или образующиеся при добыче полезных ископаемых);
- бытовые (от санитарных узлов производственных и непромышленных корпусов и зданий, от душевых установок, имеющих на территории предприятия);
- атмосферные осадки (дождевые и талые воды).

В свою очередь, производственные сточные воды подразделяют на два основных вида: загрязненные и незагрязненные.

Загрязненные производственные сточные воды содержат как органические, так минеральные примеси. По содержанию примесей (в мг/л) производственные сточные воды подразделяют на четыре группы: 1 группа: от 1 до 500; 2 группа: 500 – 5000; 3 группа: 5000 – 30 000; 4 группа: более 30 000.

Производственные сточные воды различают по степени агрессивности сточные воды могут быть: слабоагрессивными – (слабокислые с рН 6 – 6,5 или слабощелочные с рН 8 – 9); сильноагрессивными (сильнокислые с рН < 6 или сильнощелочные с рН > 9); неагрессивными (нейтральными с рН 6,5 – 8)» [1].

«Производственные сточные воды различают по процессам их образования и подразделяется на следующие виды:

- реакционные воды. Образуются в результате протекания процессов с образованием воды. Загрязнены исходными веществами и продуктами реакции;

- влажность сырья. Содержатся в сырье и могут быть как свободными, так и связанными. Загрязнены органическими и неорганическими веществами, содержащимися в сырье и в продуктах;

- промывная вода. Вода от промывки сырья, полупродуктов и продуктов. Загрязнены как органическими веществами, неорганическими и примесями продуктов, полупродуктов и исходных веществ;

- маточные водные растворы. Эти сточные воды образуются в результате проведения химических реакций в водных средах. Такие воды загрязнены как исходными веществами, так и продуктами химических реакций;

- водные экстракты и абсорбционные жидкости. Большое количество таких сточных вод образуется при мокрой очистки отходящих газов. Содержат значительного количество загрязняющих химических веществ, органической и неорганической природы;

- другие виды сточных вод. Сточные воды образуются при конденсации паров воды, при мойке оборудования, тары, емкостей и помещений;

- промышленно-ливневые сточные воды. К этим сточным водам относят атмосферные осадки с территории, загрязненные различными химическими веществами» [1, 2].

Классификация сточных вод является важным этапом в управлении водными ресурсами и проектировании систем очистки. Понимание источников происхождения, состава и характеристик сточных вод позволяет выбирать адекватные методы их обработки, минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и обеспечивать устойчивое развитие.

Разработка и внедрение эффективных технологий очистки и утилизации сточных вод требуют глубокого анализа и учета всех факторов, связанных с их классификацией.

1.2 Принципы очистки сточных вод при помощи микроорганизмов

Микроорганизмы являются основными агентами, которые разлагают органические и неорганические загрязнители. Биологическая очистка сточных вод основана на использовании естественных биохимических процессов, в которых микроорганизмы превращают загрязняющие вещества в менее вредные соединения, такие как углекислый газ, вода, нитраты и другие неорганические вещества. «В этих процессах используется активный ил. Активный ил представляет собой массу микроорганизмов, которые используются для биологической очистки сточных вод в аэробных условиях. Этот процесс основан на способности микроорганизмов разлагать органические вещества, содержащиеся в сточных водах, преобразуя их в менее вредные соединения, такие как углекислый газ, вода и биомасса» [3].

Микроорганизмы, участвующие в этих процессах можно разделить на следующие группы:

- гетеротрофные,
- автотрофные,
- грибы и простейшие.

Гетеротрофные микроорганизмы используют органические вещества в качестве источника углерода и энергии. Они играют основную роль в разложении легкоразлагаемых органических веществ, таких как углеводы, белки и липиды. Гетеротрофные бактерии присутствуют в больших количествах в активном иле и биопленках.

Автотрофные микроорганизмы окисляют неорганические вещества (например, аммиак, нитриты) и используют углекислый газ в качестве источника углерода. К ним относятся нитрифицирующие бактерии,

участвующие в нитрификационном процессе, включающем окисление аммиака до нитрита и затем до нитрата. В этот процесс вовлечены два типа бактерий: нитрозомонады, которые окисляют аммиак до нитрит-ионов и нитробактеры окисляющие нитрит-ионы до нитрат-ионов.

Также к автотрофам относятся анаэробные бактерии. Они функционируют в бескислородных условиях, разлагая органические вещества до метана, углекислого газа и других продуктов. Анаэробные процессы важны в системах анаэробного сбраживания.

Грибы и простейшие также участвуют в разложении органических веществ, особенно в аэробных условиях. Простейшие могут потреблять бактерии и органические вещества, поддерживая баланс микробной популяции, способствуя очистке сточных вод.

Процессы биологической очистки сточных вод основываются на использовании микроорганизмов для разложения органических и неорганических загрязнителей. «Основой классификации этих процессов является наличие или отсутствие кислорода в среде, где происходит разложение» [4]. В зависимости от этого, процессы биологической очистки делятся на аэробные, анаэробные и анаэробно-аэробные.

В аэробных биологических системах, таких как активный ил и биофильтры, микроорганизмы разлагают органические загрязнители в присутствии кислорода. «Основной процесс включает в себя окисление органических веществ до углекислого газа и воды, что способствует значительному снижению биохимического потребления кислорода и химического потребления кислорода в сточных водах» [5]. Типичным аэробным процессом является разложение органических веществ, содержащихся в стоках активным илом.

В анаэробных системах, таких как анаэробные реакторы и септики, микроорганизмы разлагают органические вещества в отсутствие кислорода. Этот процесс включает гидролиз, кислотогенез, ацетогенез и метаногенез, в результате чего образуются метан и углекислый газ. Анаэробные процессы

эффективны для обработки высококонцентрированных органических сточных вод и производства биогаза. Примером таких процессов является разложение органических веществ в метантенках или биореакторах с образованием биогаза

Современные системы биологической очистки часто сочетают анаэробные и аэробные этапы для достижения более высокой степени очистки. Например, процессы нитрификации-денитрификации используются для удаления азота из сточных вод, где аэробные условия способствуют нитрификации, а анаэробные условия – денитрификации.

Микроорганизмы обеспечивают эффективное и экологически безопасное удаление загрязнителей из сточных вод, минимизируя негативное воздействие на водоемы и экосистемы. Они позволяют снизить концентрации органических веществ, азота и фосфора до уровней, безопасных для окружающей среды. Также микроорганизмы способствуют удалению патогенов, обеспечивая дополнительную санитарную защиту.

Микроорганизмы являются неотъемлемым компонентом биологических систем очистки сточных вод, обеспечивая высокую эффективность и надежность этих процессов. Их способность адаптироваться к различным условиям и эффективно разлагать широкий спектр загрязнителей делает их незаменимыми в современных технологиях очистки сточных вод.

«Процесс очистки сточных вод с использованием активного ила включает несколько этапов. Сточные воды поступают в аэротенки, где они насыщаются кислородом с помощью аэрационных устройств. Кислород необходим для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов» [6]. В аэротенках сточные воды перемешиваются с активным илом. Микроорганизмы активного ила разлагают органические вещества, превращая их в углекислый газ, воду и новую биомассу. После аэротенков сточные воды поступают в отстойники, где активный ил оседает на дно, образуя осадок. Очищенная вода отводится для дальнейшей обработки или

выпуска в водоемы. Часть осажденного активного ила возвращается в аэротенки для поддержания концентрации микроорганизмов. Избыточный активный ил удаляется из системы и подвергается дальнейшей обработке или утилизации.

Активный ил обеспечивает высокую степень удаления органических загрязнителей из сточных вод. Системы активного ила могут быть адаптированы для обработки сточных вод с различным составом и концентрацией загрязнителей. Активный ил способен удалять не только органические вещества, но и азот и фосфор, что снижает эвтрофикацию водоемов.

«Вместе с тем реализация процессов биологической очистки сточных вод сопряжена с рядом трудностей» [7]. Процесс аэрации требует значительных энергозатрат для поддержания необходимого уровня кислорода. Необходимо тщательно контролировать условия процесса, такие как концентрация кислорода, температура и время контакта, чтобы обеспечить оптимальную работу системы. Процесс образования ила требует дальнейшей обработки и утилизации осадков, что добавляет дополнительные расходы и технические сложности.

1.3 Образование осадков сточных вод

«Осадки сточных вод являются побочным продуктом процесса очистки сточных вод на биологических очистных сооружениях. Они представляют собой смесь органических и неорганических веществ, извлеченных из сточных вод в ходе механических, химических и биологических процессов» [9]. Осадки состоят из взвешенных твердых частиц, осадков, образующихся в процессе биологической очистки, а также химических осадков, образующихся при коагуляции и флокуляции. В зависимости от способа образования осадки разделяют на:

- первичные;
- вторичные;
- третичные.

Первичные осадки образуются в процессе механической очистки, когда твердые частицы осаждаются в первичных отстойниках. Они содержат в основном органические вещества, а также песок, жиры и масла.

«Вторичные осадки образуются в процессе биологической очистки и представляют собой активный ил, состоящий из микроорганизмов, которые разлагают органические загрязнители. Вторичные осадки имеют более высокую влажность и содержат значительное количество органических веществ» [10].

Третичные осадки образуются при применении дополнительных методов очистки, таких как химическая коагуляция, флокуляция и фильтрация. Они могут содержать остатки химических реагентов и другие примеси.

1.4 Применяемые технологии переработки осадков сточных

Процесс переработки осадков сточных вод включает несколько этапов, направленных на снижение объема осадков, удаление патогенов и токсичных веществ, а также получение полезных продуктов. Общие для всех технологий этапы переработки включают:

- уплотнение;
- стабилизацию;
- обезвоживание.

Далее уже идут специфичные этапы, зависящие от получаемого целевого продукта переработки.

Осадки проходят процесс уплотнения для удаления избытка воды. Это может быть достигнуто с помощью гравитационного, флотационного или центрифужного уплотнения. Далее для уменьшения объема и запаха осадки

подвергаются стабилизации, что также снижает количество патогенов. Стабилизация может быть аэробной или анаэробной.

После стабилизации осадки подвергаются обезвоживанию для дальнейшего снижения их объема. Это достигается с помощью фильтр-прессов, центрифуг или ленточных прессов.

На выбор дальнейшей технологии переработки влияют состав осадков, объем их образования, экономические факторы, экологические требования. Химический и биологический состав осадков влияет на выбор методов переработки. Например, осадки с высоким содержанием органических веществ могут быть эффективно переработаны с использованием анаэробного сбраживания.

Большие объемы осадков требуют эффективных методов уплотнения и обезвоживания для уменьшения их массы и объема перед утилизацией или дальнейшей переработкой. Стоимость оборудования, эксплуатационные расходы и доступность технологий могут быть определяющими при выборе методов переработки осадков. Экологические нормы и стандарты могут требовать применения дополнительных методов обработки для снижения содержания токсичных веществ и патогенов в осадках.

Рассмотрим основные промышленно освоенные технологии переработки.

Процесс получения удобрений из осадков сточных вод предполагает подготовку осадка и реализацию процессов аэробного или анаэробного сбраживания.

Осадки подвергаются аэробному разложению в аэротенках или биореакторах с подачей кислорода. Это приводит к разложению органических веществ и снижению запаха. В анаэробных условиях переработка осадков приводит к образованию биогаза (метана и углекислого газа) и стабилизации органического вещества.

После стабилизации осадки подвергаются обезвоживанию для дальнейшего уменьшения их объема. Это достигается с помощью фильтр-прессов, центрифуг или ленточных прессов.

Обезвоженные осадки смешиваются с другими органическими материалами (например, древесными опилками, листьями) и подвергаются аэробному компостированию. Смешивание обеспечивает необходимое соотношение углерода и азота для оптимального разложения.

Смесь подвергается аэрации, что обеспечивает доступ кислорода для аэробных микроорганизмов, которые разлагают органическое вещество.

В процессе компостирования температура может повышаться до 55-70°C, что способствует уничтожению патогенов и семян сорняков.

Компостируемый материал оставляют на определенное время для завершения разложения органического вещества и формирования стабилизированного продукта, готового к использованию в качестве удобрения.

Готовое удобрение проверяется на соответствие стандартам качества, включая содержание питательных веществ (азот, фосфор, калий), отсутствие патогенов и тяжелых металлов. После этого удобрение упаковывается и готовится к продаже или использованию.

Существуют некоторые ограничения, препятствующие повсеместному применению данного метода. Осадки сточных вод могут содержать тяжелые металлы (например, свинец, кадмий, ртуть), которые могут накапливаться в почве и растениях, что ограничивает их использование в сельском хозяйстве. Также несмотря на стабилизацию и компостирование, осадки могут содержать патогенные микроорганизмы, представляющие риск для здоровья человека и животных. Соотношение питательных веществ в осадках может не всегда соответствовать потребностям сельскохозяйственных культур, что требует дополнительных корректировок или смешивания с другими удобрениями. Процессы стабилизации и компостирования могут

сопровождаться неприятными запахами, что требует специальных мер по их контролю и устранению.

Законодательство многих стран накладывает строгие требования на использование осадков сточных вод в качестве удобрений, что может ограничивать их применение из-за необходимости соответствия этим требованиям. Обезвоженные осадки и компост требуют специальных условий для транспортировки и хранения, чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды и ухудшение качества продукта.

Несмотря на эти ограничения, переработка осадков сточных вод в удобрения является перспективным направлением, способствующим устойчивому развитию и снижению экологической нагрузки.

Помимо компостирования применяется энергетический метод переработки осадков сточных вод. Он включает процессы, при которых осадки используются для получения энергии. Это достигается посредством различных термохимических и биохимических технологий, которые позволяют конвертировать органическое вещество осадков в тепло, электричество, биогаз или другие формы энергии. Основные методы включают:

- сжигание;
- пиролиз;
- газификацию;
- анаэробное сбраживание.

Рассмотрим каждый из этих процессов подробнее.

Процесс сжигания осадков сточных вод включает их полное окисление протекает при высоких температурах (800-1000°C). В результате сжигания органическое вещество осадков преобразуется в тепло, которое может быть использовано для производства пара и электроэнергии.

Сначала происходит обезвоживание осадков до уровня влажности менее 20% для повышения эффективности сжигания.

Далее осадки сжигаются в печах или котлах. Продукты сгорания (зола, дымовые газы) собираются и обрабатываются. Полученное тепло используется для производства пара, который приводит в действие турбины для генерации электроэнергии.

К преимуществам технологии можно отнести полное уничтожение органических загрязнителей и патогенов, производство значительного количества энергии и уменьшение объема отходов.

«К недостаткам способа можно отнести высокие капитальные и эксплуатационные затраты, необходимость контроля за выбросами вредных веществ (например, диоксинов, фуранов) и образование зольных остатков, требующих дальнейшей утилизации» [16].

«Пиролиз представляет собой термическое разложение осадков в отсутствие кислорода при температурах от 300 до 700°C. В результате образуются твердый углеродистый остаток (биоуголь), жидкие продукты (пиролизное масло) и газ» [11].

Сначала происходит обезвоживание осадков до уровня влажности менее 10%. Далее осадки нагреваются в герметичной камере без доступа кислорода. Происходит собственно процесс пиролиза. Полученные газы, масла и твердые остатки разделяются и могут быть использованы в различных целях.

К преимуществам технологии можно отнести получение нескольких видов ценных продуктов (биоуголь, пиролизное масло, синтез-газ), снижение объема осадков, возможность использования биоугля в качестве почвенного улучшителя или адсорбента.

К недостаткам способа можно отнести высокие капитальные затраты на оборудование, необходимость дополнительной обработки и утилизации пиролизного масла и синтез-газа, сложность управления процессом и необходимое оборудование для разделения продуктов.

Газификация представляет собой частичное окисление осадков при высоких температурах (900-1200°C) в условиях недостатка кислорода. В

результате образуется синтез-газ, состоящий в основном из водорода, угарного газа и углеводов.

Сначала происходит обезвоживание и измельчение осадков для улучшения их горючих свойств. Далее осадки нагреваются в газификаторе в присутствии ограниченного количества кислорода или пара. Полученный синтез-газ очищается от примесей и может быть использован для производства электроэнергии или химических продуктов.

К преимуществам технологии можно отнести высокая эффективность конверсии органического вещества в энергию, получение чистого синтез-газа, пригодного для дальнейшего использования, снижение объема осадков.

К недостаткам способа можно отнести высокие капитальные и эксплуатационные затраты, сложность очистки синтез-газа от примесей, необходимость управления процессом и обеспечения безопасности.

Анаэробное сбраживание представляет собой разложение органического вещества осадков в отсутствие кислорода с образованием биогаза (метана и углекислого газа) и стабилизированного осадка.

Сначала происходит предварительная обработка и смешивание осадков для оптимального соотношения углерода и азота. Осадки подвергаются разложению в анаэробных реакторах (метантенках) при температуре 35-55°C. Полученный биогаз собирается и используется для производства электроэнергии или тепла. Стабилизированный остаток обезвоживается и может быть использован в качестве удобрения.

К преимуществам технологии можно отнести производство возобновляемого биогаза, снижение объема осадков и их стабилизация, получение дополнительного дохода от продажи электроэнергии или тепла.

К недостаткам способа можно отметить необходимость поддержания определенных условий для процесса (температура, pH), длительное время сбраживания, требования к качеству осадков (содержание токсичных веществ может затруднить процесс).

Энергетические методы переработки осадков сточных вод представляют собой эффективные способы снижения объема осадков и получения полезной энергии.

Получение адсорбентов из осадков сточных вод является перспективной технологией, которая позволяет не только утилизировать отходы, но и создать ценные продукты для различных применений, таких как очистка воды и воздуха. Основным методом преобразования осадков в адсорбенты является термохимическая обработка, включая пиролиз и активацию. Рассмотрим этот процесс подробнее.

Для повышения эффективности термохимической обработки осадки предварительно обезвоживаются до содержания влаги менее 20%. Это может быть достигнуто с помощью механических методов, таких как фильтр-прессы, центрифуги или ленточные прессы. Осадки измельчаются до мелкой фракции для улучшения теплопередачи и более равномерного пиролиза.

Измельченные осадки нагреваются в герметичном реакторе без доступа кислорода. Температура и время выдержки регулируются для получения оптимального выхода углеродистого остатка.

Полученные продукты разделяются. Жидкости и газы могут быть использованы в других процессах, а углеродистый остаток используется для дальнейшей активации.

Активация углеродистого остатка необходима для увеличения его пористости и адсорбционной способности. Активация может быть физической или химической.

Физическая активация проводится паром. Биоуголь нагревается до 800-1000°C в присутствии водяного пара или углекислого газа. Это вызывает образование микропор и улучшает адсорбционные свойства. Аналогично активации паром, но используется CO₂.

Химическая активация заключается в обработке химическими реагентами. Биоуголь обрабатывается химическими веществами, такими как хлорид цинка (ZnCl₂), фосфорная кислота (H₃PO₄) или гидроксид калия

(KOH). Затем биоуголь нагревается до 400-600°C, что приводит к образованию пор и улучшению адсорбционных характеристик.

После активации адсорбенты охлаждаются до комнатной температуры.

Если использовалась химическая активация, адсорбенты промываются водой или кислотой для удаления остаточных химических веществ. Затем они снова высушиваются. Полученный адсорбент классифицируется и упаковывается

Технология позволяет эффективно перерабатывать осадки сточных вод, уменьшая объем отходов и их воздействие на окружающую среду. Полученные адсорбенты обладают высокой пористостью и адсорбционной способностью, что делает их пригодными для очистки воды, воздуха и других применений. Продукция имеет рыночную стоимость, что может частично компенсировать затраты на переработку осадков.

В то же время состав осадков может варьироваться в зависимости от источника сточных вод, что влияет на выход и качество адсорбентов. Высокие капитальные и эксплуатационные затраты на оборудование и энергию для пиролиза и активации. Необходимость точного контроля температуры и условий активации для получения продукта с нужными характеристиками. Необходимость управления выбросами и отходами, образующимися в процессе переработки.

Вывод по разделу: Осадки сточных вод являются не отходом, а перспективным источником сырья. Технология получения адсорбентов из осадков сточных вод представляет собой инновационный и перспективный подход к утилизации отходов и производству полезных продуктов.

2 Описание объекта исследования

2.1 Существующее состояние технологического объекта

«При выполнении работы объектом исследования являются городские очистные сооружения (ГОС), которые находятся в г. Губаха Пермского края. Полное наименование: цех водоснабжения и водоотведения (ВиВ) отделение по очистке промышленно-сточных вод (ПСВ) [23].

Сооружения введены в эксплуатацию в 1984 году.

Проектная мощность производства – 31620 м³/сут.

Достигнутая мощность производства – 14400 м³/сут.

Биологические очистные сооружения состоят из одного технологического потока, предназначены для усреднения промышленного стока, механической и полной биологической очистки с доочисткой на каркасно-засыпных фильтрах смеси бытовых и промышленных сточных вод.

Генеральный проектировщик ОАО НИИК г. Дзержинск Нижегородской области. Проектировщик технологической и строительной части ГПИ «Союзводоканалпроект» г. Москва.

В таблице 1 [12] представлена характеристика производимой продукции. Техническое наименование продукции – «очищенные, обеззараженные сточные воды» [8].

Таблица 1 – Сведения о качестве очищенной сточной воды

Наименование загрязнений	Класс опасности	Допустимая концентрация утверждённого норматива допустимого сброса (НДС) веществ в составе очищенных сточных вод в реку Косьва (выпуск №1), мг/дм ³			
		2014	2015	2016	2017
1	2	3	4	5	6
ХПК	-	46,24	43,38	43,38	43,38
БПК полное	-	3,00	5,82	5,82	5,82
Взвешенные вещества	-	13,6	11,878	11,878	11,878
Сухой остаток	-	460,4	402,48	402,48	402,48
Метанол	4	0,32	0,27	0,27	0,27

Продолжение таблицы 1

Формальдегид	4	0,513	0,573	0,573	0,573
Хлорид-анион	4	22,87	20,77	20,77	20,77
Сульфат-анион	4	114,08	99,07	99,07	99,07
Фосфаты (по фосфору)	4	0,42	0,42	0,42	0,42
Нефтепродукты	3	0,05	0,041	0,041	0,041
СПАВа/а	4	0,09	0,08	0,08	0,08
Нитрит-анион		0,339	0,34	0,34	0,34
Нитрат-анион		75,20	62,73	62,73	62,73
Аммоний-ион	4	0,5	2,16	2,16	2,16
Карбамид	4	--	80,0	80,0	80,0
pH	-	-	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Растворенный кислород	-	-	6	6	6
Показатели по видам микроорганизмов			Допустимое содержание		
1			2		
Термотолерантные колиформные бактерии			100КОЕ/100 мл, не более		
Общие колиформные бактерии			500КОЕ/100 мл, не более		
Колифаги			100БОЕ/100 мл, не более		
Жизнеспособные яйца гельминтов, онкосферы тениид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших			Не должны содержаться в 25 литрах воды		
Возбудители кишечных инфекций			Отсутствие		

На основании условий Решения о предоставлении водного объекта в пользование, выданного МПР Пермского края и Разрешения на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду, выданного Федеральной службой по надзору в сфере природопользования, максимальное содержание веществ в сточных водах (нормативно-очищенных) не должно превышать нормативов допустимого сброса» [13].

«Сточные воды поступают двумя потоками, один поток - смешанный производственный, ливневый и хозяйственно-фекальный сток от предприятия и пос. Северный, пос. Углеуральский поступающий с КНС-2 и второй поток - хозяйственно-фекальный сток от города Губахи. Качество поступающих потоков представлено в таблице 2» [24].

Таблица 2 – Качество сточной воды, поступающей на очистку

Наименование показателя	Ед.изм.	Поток 1	Поток 2
ХПК (химическое потребление кислорода)	мгО ₂ /дм ³	не более 600	не более 300
БПК ₅ (биохимическое потребление кислорода)	мгО ₂ /дм ³	не более 300	не более 200
рН	Ед.рН	от 6 до 9	от 6 до 8,5
Взвешенные вещества	мг/дм ³	не более 200	не более 250
Метанол	мг/дм ³	не более 250	не более 5
Формальдегид	мг/дм ³	более 45	-
Карбамид	мг/дм ³	не более 100	-
АСПАВ	мг/дм ³	не более 3	не более 2
Нефтепродукты	мг/дм ³	не более 2	не более 25,6
Аммоний-ион	мг/дм ³	не более 20	
Нитрат-анион	мг/дм ³	не более 9	не более 8,6
Нитрит-анион	мг/дм ³	не более 3	не более 3,3
Содержание общего азота	мг/дм ³	не более 70	не более 30,7
Фосфаты (по фосфору)	мг/дм ³	не более 2	не более 2
Сульфат-анион	мг/дм ³	не более 130	не более 120
Хлорид-анион	мг/дм ³	не более 40	не более 60
Сухой остаток	мг/дм ³	не более 450	не более 450

За последние несколько лет требования к качеству поступающих сточных вод увеличились, особенно по потоку 1, что отражено в постановлениях Администрации Губахинского городского округа №1270 от 30.10.2019 и №792 от 12.08.2020. Ужесточение касается, в основном, на сброс взвешенных веществ. В связи с этим возникает проблема обеспечения очистки сточной воды от взвешенных веществ. В таблице 3 приведены сведения об загрязнителях в очищенной сточной воде» [14].

Таблица 3 - Качество сточной воды после биологической очистки

Наименование показателя	Ед.изм.	Очищенная вода	ПДК сбрасываемых вредных веществ, мг/дм ³
1	2	3	4
ХПК (химическое потребление кислорода)	мгО ₂ /дм ³	43,38	-
БПК ₅ (биохимическое потребление кислорода)	мгО ₂ /дм ³	5,82	-
рН	Ед.рН	6,5 – 8,5	-
Взвешенные вещества	мг/дм ³	11,878	5

Продолжение таблицы 3

Метанол	мг/дм ³	0,27	0,1
Формальдегид	мг/дм ³	0,573	0,1
Сухой остаток	мг/дм ³	402,48	-
Хлорид-анион	мг/дм ³	20,77	300
Сульфат-анион	мг/дм ³	99,07	100
Фосфаты (по фосфору)	мг/дм ³	0,42	-
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,041	0,05
СПАВа/а	мг/дм ³	0,08	-
Нитрит-анион	мг/дм ³	0,34	0,08
Нитрат-анион	мг/дм ³	62,73	40
Аммоний-ион	мг/дм ³	2,16	0,5
Карбамид	мг/дм ³	80,0	80,0
Растворенный кислород	мг/дм ³	6	-
Активный хлор	мг/дм ³	2,0	-

Как видим из таблицы 3, очищенная сточная вода по нескольким показателям превышает установленное ПДК для сброса в водный объект (р.Косьва). «Среди таких показателей: взвешенные вещества, метанол, формальдегид, нитрит-ион, нитрат-ион и аммоний-ион» [17].

2.2 Описание технологического процесса

Принципиальная схема материальных потоков

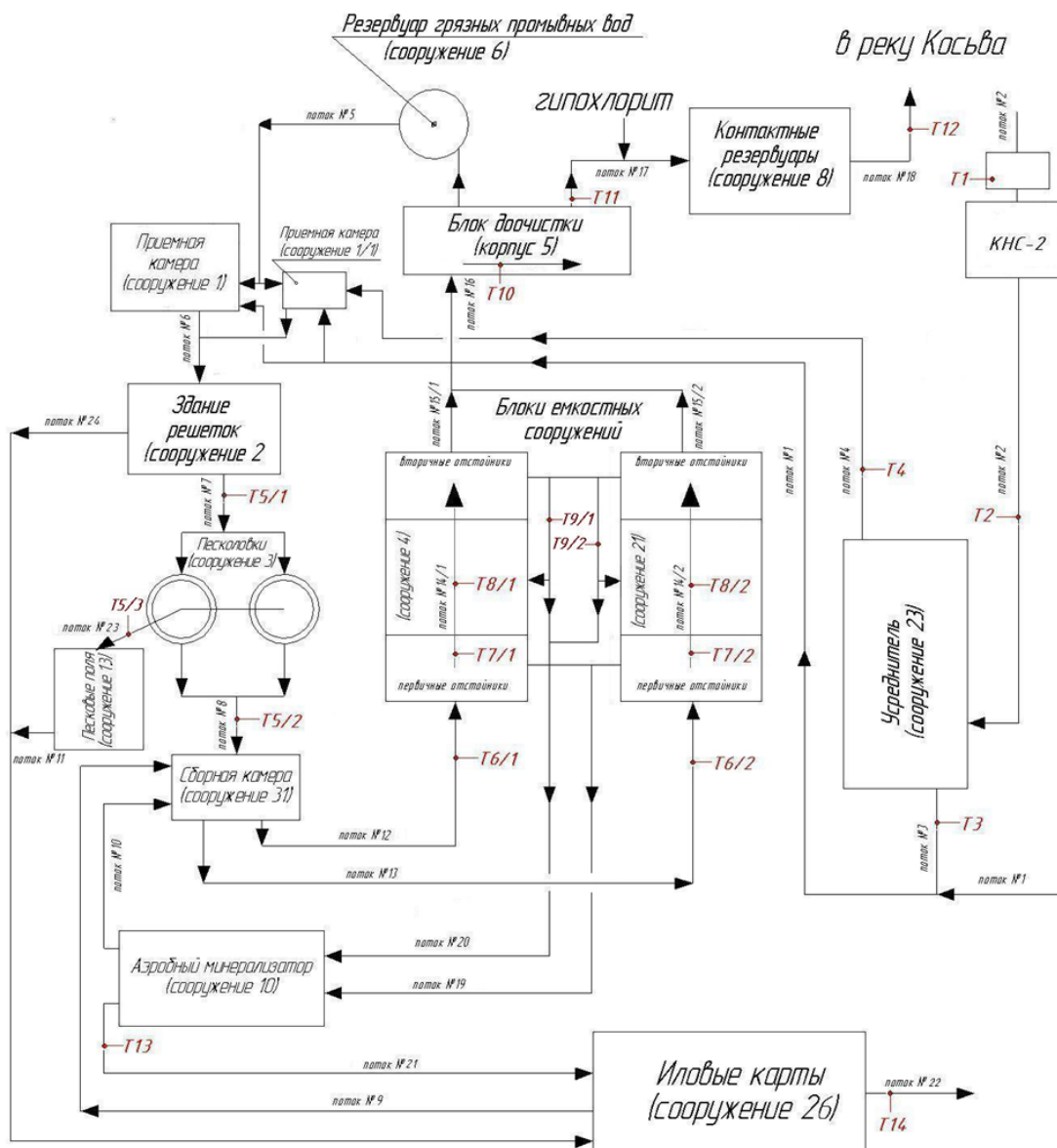


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема очистки ПСВ

«На рисунке 1 приведена принципиальная технологическая схема стадий очистки промышленно-сточных вод (ПСВ) на установке биологической очистки» [18].

2.2.1 Канализационные очистные сооружения

«Канализационные очистные сооружения в отделении по очистке промышленно-сточных вод (ПСВ) цеха ВиВ ОАО «Метафракс» проектной мощностью 31620 м³/сутки (1317,5 м³/ч) предназначены для приёма, дифференцирования, механической и полной биохимической очистки с доочисткой на каркасно-засыпных фильтрах примеси хозяйственно-бытовых, промышленных и ливневых сточных вод [26]. Сточные воды распределяются в отделение ПСВ двумя потоками.

Первый поток хозяйственно-фекального стока от города Губахи по коллектору К-13 самотеком поступает в приёмную камеру (сооружение 1, 1/1) отделения ПСВ. Часть потока по трубопроводу поступает в усреднитель промышленных стоков (сооружение 23).

Второй поток смеси хозяйственно-фекального, промышленного, ливневого стока от жилых массивов (поселок Северный, поселок Углеуральский) и от ОАО «Метафракс» самотеком по районному фекальному коллектору (РФК) поступает на канализационную насосную станцию КНС-2 (корпус 31) отделения ПСВ.

2.2.2 Канализационная насосная станция

Хозяйственно-бытовые, промышленные, ливневые сточные воды поступают на КНС-2 в количестве от 8400 до 24000 м³/сутки (от 350 до 1000 м³/ч), очищаются от крупных примесей на агрегатах очистки сточных вод поз.7, поз.8. После очистки на агрегатах очистки сточных вод непрерывного действия, сточные воды поступают в приёмный резервуар поз.11 КНС-2 [27].

Задержанные и снятые с решёток механические примеси направляются на дробилки поз.9, поз.10. Измельченные примеси поступают в общий поток сточной воды [14]. Поступление сточной воды в приёмный резервуар поз.11 регулируется двумя щитовыми затворами поз.Щ-12/1; 2 в каналах» [8].

2.2.3 Усреднитель промышленных стоков

«Промышленно-сточные воды с КНС-2 по левому коллектору подаются в усреднитель промышленных стоков (сооружение 23). Усреднитель предназначен для выравнивания пиковых расходов и концентраций загрязняющих веществ сточных вод. Равномерная гидравлическая нагрузка и постоянная нагрузка по загрязнителям на очистные сооружения (ХПК не более $600 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ и pH в пределах от 6 до 9) позволяет эффективно вести технологический режим очистки сточных вод.

Усреднитель промышленных стоков - железобетонное сооружение объёмом 8 тыс. м^3 , которое состоит из трёх секций, в каждой секции - по три коридора. Промышленные сточные воды через систему задвижек поз.23/1÷5; 12 от КНС-2 по левому коллектору подаются в первый коридор каждой секции усреднителя для перемешивания и усреднения. Количество подаваемого стока от 8400 до $24000 \text{ м}^3/\text{сутки}$ (от 350 до $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$) [28].

В третью секцию усреднителя через задвижку поз.23/6; во вторую секцию через задвижку поз.23/13 частично подаётся хозяйственно - фекальные сточные воды из коллектора г. Губахи для разбавления промышленного стока. В качестве усреднителя используется первая секция, вторая секция служит аварийным резервуаром для приёма ненормативных сточных вод, поступающих в течение более чем 2-х часов.

По мере накопления и по результатам аналитического контроля стоки из аварийной секции подаются в канал усреднителя через систему щитовых затворов поз.Щ-23/1÷3 сначала в I канал усреднителя, затем - во II канал, где дополнительно смешиваются с усредненными стоками третьей секции и далее поступают в резервуар $V=100 \text{ м}^3$ [29].

В усреднителе по дну каждого коридора проложены трубы аэрационной системы, через которые турбовоздуходувками ТВ-80-1,4 поз.3÷5 из машинного зала (корпус 19) нагнетается воздух для перемешивания, отдувки легколетучих соединений и первоначального окисления органических загрязнителей (преаэрация). Нагнетаемый воздух

распределяется по секциям усреднителя промышленных стоков задвижками поз.23/7÷9» [14].

2.2.4 Механическая очистка сточных вод

«Промышленно-сточные воды с КНС-2 по необходимости могут без усреднения поступать по правому коллектору от корпуса 31 (КНС-2) в приёмные камеры (сооружение 1; 1/1) отделения ПСВ.

В приёмные камеры (сооружения 1; 1/1) из резервуара грязных промывных вод (сооружение б) также подаются по линии напорного трубопровода К-23 насосами поз.42, поз.43 грязные промывные воды от промывки каркасно-засыпных фильтров поз.1,11 и барабанно-сетчатых фильтров поз.49,51 корпуса 5. После смешения в приёмной камере сточные воды по бетонным лоткам через систему щитовых затворов поз.Щ-1/1, поз.Щ-2/1, поз.Щ-3/1 самотеком поступают в здание решёток (корпус 2), где проходят последовательную очистку на решётках предварительной очистки поз.1.1.1-3.1.1, агрегатах очистки сточных вод поз.1.1-3.1 и решётках РМУ-2 поз.1,3. Решётки типа РМУ-2, решётки предварительной очистки и агрегаты очистки сточных вод.

Решётка непрерывного действия, движущая решётка используется для окончательной очистки решётки от задержанных отбросов. Нижняя захватывающая часть решётки опускается опорной частью на дно канала, по которому протекает сточная вода. При включении решётки в работу приходит в движение, движущая часть, состоящая из пластинчатой цепи, осей и пластмассовых ловителей, с помощью которых отбросы извлекаются из сточной воды. Очистка стержней решёток от задержанных ими взвесей производится механическими граблями» [30].

«Первичными называются отстойники, входящие в состав сооружений механической очистки, они задерживают гораздо более мелкие взвеси, чем песколовки. Первичные отстойники поз.1/1.1-2; поз.1/2.1-2 относятся к вертикальному типу. Подача сточных вод на осветление осуществляется снизу через трубы, снабжённые отражателями для успокоения и

распределения потока («грибки»). Осадок собирается в конические приямки. Для интенсификации осаждения, отстойники оснащены тонкослойными модулями из полимерного материала, установленными в верхней части отстойников на несущих конструкциях. Тонкослойные модули представляют собой пластины длиной 2 метра, соединённые между собой в ячейки. Расстояние между пластинами 100 мм. Таким образом, поток сточной воды распределяется по ячейкам, скорость движения в которых выше, а время осаждения частиц сокращается. Ячейки установлены под углом наклона 60° для обеспечения постоянного сползания сырого осадка в конические приямки» [14].

2.2.5 Биологическая очистка сточной воды

«После первичных отстойников поз. I/1.1÷2; поз. I/2.1÷2, пройдя распределительные каналы 1.2; 2.2, очищенная от механических примесей сточная вода поступает в четырёхкамерные аэротенки поз. А/1. I÷IV; поз. А/2. I÷IV, где протекают процессы биологического окисления. Сюда же по циркуляционным лоткам (1.4÷2.4) поступает активный ил от илоотделителей поз. И/1.1-2, поз. И/2.1-2 и вторичных отстойников поз. II/1.1-2; поз. II/2.1-2 [31].

Основные процессы, протекающие в сооружениях биологической очистки сточных вод, химические реакции окисления и синтеза клеточного вещества (реакции 1.1-1.21) приведены в разделе 1.

Биохимическое окисление растворенных и адсорбированных загрязнений (углеводов, органических кислот и их солей, природных органических соединений) достигает максимального значения под действием микроорганизмов активного ила. После окисления органических веществ протекает процесс нитрификации. Окисление органических веществ происходит с различной скоростью; сначала окисляются легкоокисляемые соединения, которые находятся в растворенном состоянии, адсорбированные

вещества сточных вод окисляются значительно позже, тем самым ухудшают нитрификацию и в целом глубину очистки сточных вод.

Все неблагоприятные факторы, способствующие перегрузке активного ила по органическим загрязняющим веществам и избыточному выносу ила из вторичных отстойников, приводят, прежде всего, к изменению возраста активного ила» [14].

2.2.6 Сооружение разделения активного ила и очищаемой воды

«Иловая смесь из камер аэротенков поз.А/1.І; поз.А/1.ІІІ; поз.А/2.І; поз.А/2.ІІІ перетекает в смежные камеры поз.А/1.ІІ; поз.А/1.ІV первого блока и камеры поз.А/2.ІІ; поз.А/2.ІV второго блока ёмкостных сооружений, через верхние щитовые затворы переливается в распределительные каналы 1.3; 2.3 и через 28 донных отверстий и подаётся в илоотделители (осветлители со взвешенным слоем ила) поз.И/1.1÷2; поз.И/2.1÷2, где происходит отстаивание сточных вод от активного ила.

Каждая секция илоотделителя представляет конструкцию полочных блоков в 7 рядов по 3 блока в каждом ряду. Каждый блок включает 2 ряда по 8 полок, выполненных из нержавеющей стали, которые расположены на расстоянии 350 мм друг от друга, угол наклона полок 45°. Иловая смесь поднимается в илоотделителе снизу-вверх, заходит в полочные блоки. Активный ил оседает на полках и под действием силы тяжести сползает в бункеры полочных блоков, откуда с помощью 8 эрлифтов на первом блоке ёмкостных сооружений и 14 эрлифтов на втором блоке ёмкостных сооружений по линии циркуляционного активного ила К-20/Ц подаётся в каналы циркуляции активного ила 1.4, 2.4 и далее, в камеры аэротенков - вытеснителей поз.А/1.І; поз.А/1.ІІІ; поз.А/2.І; поз.А/2.ІІІ [14]. Отделенная от основной части активного ила вода собирается в верхней части илоотделителя и через переливные гребёнки поступает в распределительные лотки, а затем подаётся в канал 1.5 первого блока ёмкостных сооружений и в канал 2.5 второго блока ёмкостных сооружений. Далее сточная вода через 16

донных отверстий, поступает во вторичные отстойники поз.П/1.1÷2, П/2.1÷2» [14].

«Вторичные отстойники установлены после илоотделителей для удаления оставшейся части активного ила из очищенных сточных вод. Вторичные отстойники - вертикальные отстойники поз.П/1.1-2, поз.П/2.1-2, конструкция которых идентична конструкции первичным отстойникам.

При прохождении сточной воды через тонкослойные ячейки на пластинах оседает активный ил, который скапливается и под действием силы тяжести сползает в приёмные конусы на днище отстойника. Осветленная вода собирается лотками и сливается в каналы 1.6, 2.6. Основная часть активного ила, отстоявшегося во вторичных отстойниках, эрлифтами перекачивается в каналы циркуляционно-активного ила 1.4, 2.4 и далее - через щитовые затворы перераспределяется по камерам аэротенков.

Осветленная вода из лотков вторичных отстойников собирается и сливается в верхние каналы 1.6, 2.6, откуда по трубопроводу направляется в блок доочистки корпуса 5.

В результате прироста ила при установившемся режиме длительной работы биологической очистки накапливается избыточный активный ил, который необходимо отделять и утилизировать, так как этот ил может быть вторичным источником загрязнения очищенных сточных вод.

Избыточный активный ил может быть направлен на утилизацию в аэробный минерализатор (сооружение 10).

Работу вторичных отстойников оценивают по выносу взвешенных веществ, концентрации возвратного ила и влажности осадка. Эффективность илоотделения и вторичного отстаивания непосредственно влияет на ход биологического окисления в аэротенках и, определяет содержание взвешенных веществ в очищенной воде» [32].

«На эффективность илоотделения и вторичного отстаивания влияют гидродинамические потоки и седиментационные свойства ила. Превышение нагрузок по объёмам иловой смеси приводит к избыточному выносу ила из

системы, поскольку ил является очень подвижным осадком. Седиментационные свойства ила зависят от характера очищаемых сточных вод, условий очистки, присутствия токсикантов.

2.2.7 Доочистка сточных вод

В блок доочистки корпуса 5 поступают сточные воды после вторичных отстойников. Стоки поступают в распределительный лоток и далее - самотеком на сетчатые барабанные фильтры поз.49; поз.50; поз.51 [14].

Сетчатые барабанные фильтры поз.49; поз.50; поз.51 предназначены для механической очистки сточных вод. Они задерживают грубодисперсные примеси, снижают содержание взвешенных веществ и применяются для задержания мелкодиспергированных частиц перед процессом более глубокой доочистки очищенной воды на каркасно-засыпных фильтрах (КЗФ) поз.1÷11.

Из камер барабанно-сетчатых фильтров вода через переливные окна сливается в приёмный резервуар, откуда подаётся для дальнейшей доочистки на каркасно-засыпные фильтры поз.1÷11.

Доочистка биологически очищенных сточных вод на фильтрах включает два процесса: механическое задержание частиц и дальнейшую деструкцию сорбированных активным илом органических веществ. Для глубокой очистки от мелкодиспергированных частиц, а также для доочистки биологически очищенных вод применяются каркасно-засыпные фильтры (КЗФ) поз.1÷11, представляющие собой разновидность многослойных фильтров с фильтрованием сверху вниз (**Ошибка! Источник ссылки не найден.2**).

При очистке сточных вод на КЗФ период работы фильтра между промывками не должен превышать 12 часов (1 смены)» [14].

«В каркасно-засыпной фильтр сточная вода поступает через задвижку поз.1 в сборный желоб и далее - в распределительные лотки. Подача сточной воды в КЗФ может осуществляться, как в ручном, так и автоматическом режиме, пульт управления выведен на главный щит корпуса 5.

При работе фильтров возникает необходимость в периодической регенерации фильтрующего слоя. Критерием выключения фильтра на регенерацию являются предельные потери напора или увеличение содержания загрязнений в профильтрованной воде. Регенерация фильтрующего слоя, производится обратным током воды повышенной интенсивности. При регенерации фильтрующего слоя закрывают задвижки поз.1, поз.2 на трубопроводах исходной сточной воды и фильтрованной воды и открывают задвижку поз.4 на трубопроводе промывной воды. Промывные воды забираются из резервуара чистых промывных вод (сооружение 7) одним из насосов поз.39, 41 и подаются в фильтр через дренажную систему» [14].

2.2.8 Обеззараживание очищенной воды

«В процессе полной биологической очистки и доочистки сточных вод количество патогенных микроорганизмов в них существенно снижается. Очищенные сточные воды все же содержат незначительное количество патогенных бактерий вирусов, поэтому они подвергаются обеззараживанию гипохлоритом натрия после КФЗ. Это обеспечивает эпидемическую безопасность при отведении их в реку Косьва. Гипохлорит натрия обладает высокой степенью обеззараживания и снижения цветности воды. Установка для дезинфекции сточных вод гипохлоритом натрия находится в хлораторном отделении и состоит из следующих элементов: насос-дозатор и ёмкость с раствором гипохлорита натрия.

Обеззараженные очищенные сточные воды по трубопроводу К-14 поступают в контактные резервуары (сооружение 8) для контакта с гипохлоритом натрия, пройдя водоизмерительный лоток «Вентури» (сооружение 18), где определяется расход сточной жидкости.

Контактные резервуары состоят из трех секций, предназначенных для обеспечения 30-ти минутного контакта очищенных сточных вод с гипохлоритом натрия.

Применение аэрации в контактных резервуарах позволяет подвергнуть дехлорированию обеззараживаемые сточные воды. В каждой из трёх секций контактного резервуара по сети разветвлённых труб производится барботаж воды воздухом, нагнетаемым турбовоздуходувками ТВ-80-1,8. Нормативное содержание остаточного активного хлора при сбросе очищенных, обеззараженных сточных вод в реку Косьва - 1,5 мг/дм³. Очищенные до нормативов и обеззараженные сточные воды с контактных резервуаров самотёком по береговому выпуску №1 поступают в реку Косьва» [14].

2.2.9 Обработка осадка

«Для минерализации и уменьшения объёма осадок из резервуара сырого осадка подаётся в теплообменник в отделение стерилизации корпуса 12.

Технология обработки осадков сточных вод предусматривает санитарное обеззараживание – «пастеризацию» сырого осадка путём его нагрева в теплообменнике поз.30 до температуры не менее 70 °С при времени теплового воздействия не менее 20 минут.

После теплообменника термически обработанный сырой осадок для дальнейшей стабилизации поступает в аэробный минерализатор (сооружение 10). Сущность аэробной стабилизации - аэробное окисление биологически доступных органических веществ, осадков и самоокисление бактериальной массы. Аэробной стабилизации подвергается не только сырой осадок, но и избыточный активный ил. Воздух в аэробный минерализатор нагнетается турбовоздуходувками и распределяется сетью перфорированных труб на дне аэробного минерализатора.

При минерализации в течение (10÷12) суток повышается водоотдающая способность осадка, а также уменьшается способность к загниванию. Для отвода осветлённой иловой воды из аэробного минерализатора в каждой секции предусмотрена отстойная зона, отделённая от зоны аэрации перегородкой. Осветленная иловая вода собирается в отстойной зоне в лоток и по трубопроводу К-5 поступает в сборную камеру

сооружения 34. Из зоны аэрации осадок через щитовые затворы поступает в осадкоуплотнитель, где осадок уплотняется и под действием силы тяжести оседает на дно, а осветлённая иловая вода отводится в линию К-5 в сборный резервуар перед первичными отстойниками» [14].

«После аэробной стабилизации осадок направляется для подсушивания на иловые карты в зимний период года 2 раза в неделю, в летний период года 3 раза в неделю» [19].

«Иловые карты – инженерные сооружения для обезвоживания, обезвреживания и обеззараживания осадка в естественных условиях. 22 иловые карты занимают площадь 5 га, их вместимость - 40,8 тыс. м³. Дно карт заасфальтировано, оборудовано трубчатым дренажем, который заполнен щебнем и гравием. Расстояние между дренажными канавами равно 4 метрам, начальная глубина канавы 1,75 м с уклоном 0,001.

Стабилизированный, минерализованный осадок влажностью 94 % распределяется по иловым картам системой разводящих труб по линии К-25 для обезвоживания и сушки. Осветлённая иловая вода отводится с карт через трубчатый дренаж и колодцы, оборудованные шандорами в линию К-5 и далее в сборную камеру сооружения 34. После выдержки на иловых картах в течении (1÷2) лет подсушенный осадок вывозится автотранспортом и используется для рекультивации породных отвалов угольных шахт» [14, 15-20].

2.3 Обоснование выбора технического решения для переработки осадков сточных вод

Выбор технологии переработки активного ила определяется двумя основными факторами. Это объемы, получаемых осадков и их состав.

Анализ активного ила рассматриваемых биологических очистных сооружений показал следующее.

Цвет активного ила темно-коричневый. Седиментация медленная равномерная. Агрегация хлопьев удовлетворительная. Надилловая жидкость мутная, запах специфический острый. Прозрачность надилловой жидкости 2,0 – 9,0 см. Активная реакция среды рН изменялась в пределах 5,7 – 7,2. Хлопки светлые, по размеру средние, по структуре рыхлые.

Анализ физиологического состояния гидробионтов.

В активном иле постоянно присутствовали:

- нитчатые бактерии;
- одиночные и колониальные жгутиковые;
- бентосные раковинные амёбы *Centropyxis s. minor*, *Centropyxis aculeata*, *Euglypha acantophora*, *Trinema enchelys*;
- брюхооресничные инфузории *Aspidisca costata*, *Aspidisca turrita*;
- свободноплавающие инфузории *Leptopharynx costatus*;
- одиночные прикрепленные инфузории *Vorticella convallaria*;
- прикрепленные колониальные инфузории *Carchesium batorligetiense*;
- сосущие инфузории *Rhabdophrya*;
- коловратки *Philodina roseola*, *Rotaria citrina*, *Ptygura*, *Colurella colurus*;
- черви *Nematoda*, *Chaetonotus*.

В активном иле периодически встречались:

- актиномицеты;
- бентосные раковинные амёбы *Arcella*, *Centropyxis plagiostoma*, *Diffugia*;
- свободноплавающие инфузории *Litonotus lamella*, *Tachysoma pellionella*, *Oxytricha fallax*, *Porodon*;
- голые амёбы;
- одиночные прикрепленные инфузории *Vorticella submicrostoma*, *Vorticella alba*, *Vorticella picta*, *Vorticella hamata*;
- прикрепленные колониальные инфузории *Epistylis bimarginata*, *Epistylis longicaudatum*;

- коловратки *Rotaria elongata*, *Lecane (Monostyla) arcuata*, *Encentrum lupus*, *Cephalodella gibba*;

- черви *Nais*.

В целом, активный ил характеризуется умеренным видовым разнообразием с неравномерным распределением организмов. Состояние ила оценивается как удовлетворительное. Максимальное значение индекса Жмур 31,19 (31 вид индикаторных организмов), минимальное – 16,52 (16 видов индикаторных организмов). Среднее значение индекса Жмур – 20,16 (20 видов индикаторных организмов). Наблюдается значительное преобладание бентосных раковинных амёб *Centropyxis aculeata* и коловраток *Colurella colurus*, что свидетельствует о созревании активного ила, высокой степени очистки.

Активный ил работает преимущественно на средних и пониженных нагрузках. Умеренными были также нагрузки по карбамиду, из 62 определений отмечено 2 нарушения. При этом, максимальная концентрация карбамида в промстоке достигала 451 мг/дм³. Высокий возраст и зрелость ила обеспечили полную нитрификацию и отсутствие превышений в очищенной воде по аммоний-иону и нитрит-иону.

Сапробность иловой смеси преимущественно β-сапробная с переходом в о-сапробную, что свидетельствует о высоком качестве очистки. Прикрепленные инфузории активны, колонии небольшие по численности, встречаются умеренно часто, степень упитанности низкая. Ресничный диск выражен хорошо. У одиночных инфузорий перистом открыт, вакуоли крупные, цитоплазма зернистая, полупрозрачная. Очистка по БПК₅ в аэротенках составила 95,5%, по формальдегиду – 91,1 %.

Данный активный ил участвует в формировании осадка сточных вод, который является отходом и подлежит дальнейшей обработке и вывозу на иловые карты

Анализ осадка сточных вод показывает пониженную зольности и преобладание органического веществ. Характеристические показатели осадка сточных вод приведены в таблице 4.

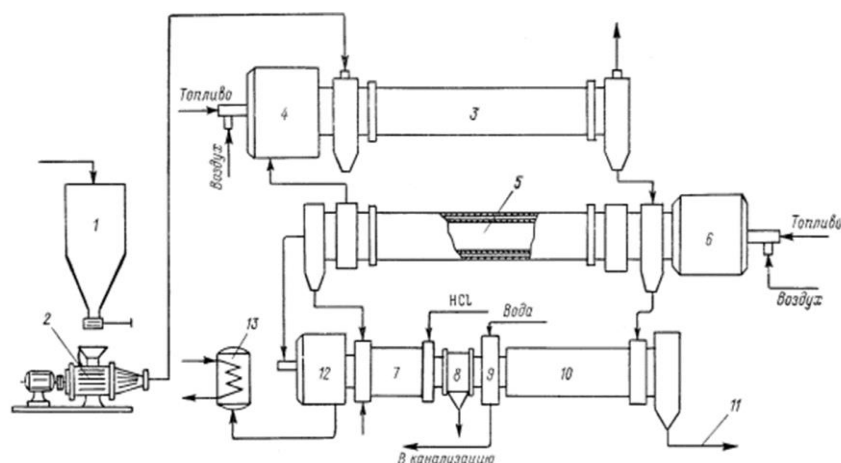
Таблица 4 – Результаты количественного химического анализа проб отходов

Показатель	Единицы измерения	Результат измерения
Влага	%	5,65
Нефтепродукты	%	0,38
Зольность	%	32,97
Кремний	мг/кг	130570
Железо	мг/кг	25290
Кальций	мг/кг	11400
Магний	мг/кг	6353
Марганец	мг/кг	1450
Цинк	мг/кг	369
Медь	мг/кг	2311
Азот аммонийный	мг/кг	201
Фосфат-ион	мг/кг	9767
Хлорид-ион	мг/кг	40
Сульфат-ион	мг/кг	20470
Карбонат-ион	мг/кг	4320
Азот нитратный	мг/кг	46
Водородный показатель	ед. рН	4,62

Можно сделать вывод что органическая составляющая осадка составляет более 50% масс, что приемлемо для применения методов пиролиза для его переработки.

«После аэробной стабилизации осадок направляется для подсушивания на иловые карты в зимний период года 2 раза в неделю, в летний период года 3 раза в неделю. 22 иловые карты занимают площадь 5 га, их вместимость - 40,8 тыс. м³. Расстояние между дренажными канавами равно 4 метрам, начальная глубина канавы 1,75 м с уклоном 0,001» [25]. Годовой объем вывезенного осадка составляет 1350м³/год.

Таким образом можно сделать вывод о том, что состав осадка позволяет его переработать в ценные продукты по средством технологии пиролиза. Но объемы его образования, относительно не велики. И ведение пиролиза в низко- и среднетемпературном диапазоне с получением товарных продуктов в газовой, жидкой и твердой формах будет нерентабельно, из-за необходимости использования достаточно сложных и энергоемких технологий очистки и разделения продуктов, для доведения их показателей требований соответствующих стандартов качества. Для освоения предлагается технология пиролиза осадков сточных вод с получением активированного угля. Принципиальная схема способа представлена на рисунке 2.



«1- сборник обезвоженного осадка, 2 – гранулятор, 3 – сушилка, 4 – сушилки, 5 – печь пиролиза, 6 – топка печи пиролиза, 7 – камера активации, 8 – камера обеззоливания, 9 – камера промывки, 10 – сушильная камера, 11 – активированный уголь, 12 – топка дожига, 13 – котел-утилизатор» [19]

Рисунок 2 – Технологическая схема получения активного ила из осадка сточных вод методом пиролиза

«Осадок сточных вод обезвоженный до влажности 50-55% из сборника поступает в гранулятор, после чего гранулы высушиваются до 10% в барабанной сушилке. Далее сухие гранулы поступают во вращающуюся печь пиролиза. Для активации гранулы обрабатываются дымовыми газами содержащими водяной пар. Далее для обеззоливания обрабатываются 10%-

ным раствором соляной кислоты» [22]. Активированный уголь отправляется в сушилку. Высушенный сорбент упаковывается.

«Наиболее целесообразная температура процесса 700 °С. Более высокая температура ведет к резкому увеличению зольности, обгару угля и падению его сорбционной способности. Оптимальная продолжительность активации составляет 4 часа» [20].

Вывод по разделу: Для исключения необходимости использования земель под иловые карты и соответственно сопряженных с этим процессом затрат предлагается использовать технологию переработки осадков сточных вод в активированный уголь. Установка для реализации процесса включает в себя пиролизную печь и вспомогательное оборудование.

3 Технологические расчеты основного оборудования

3.1 Расчет материального баланса процесса пиролиза

Произведем расчет материального баланса процесса пиролиза осадка сточных вод исходя из производительности по конечному продукту в 1267кг/ч. Что соответствует объема образования осадков 1300м³ в год. Плотность осадков сточных вод примем 1500кг/м³ [21].

Количество углерода, вступившее в реакцию активации, рассчитывается по формуле (1):

$$G_p = G_c - G_{\text{пр}}, \#(1)$$

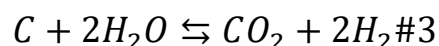
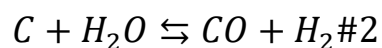
где G_c - требуемое количество сырья в кг;

$G_{\text{пр}}$ – масса адсорбента в кг.

Подставим значения в формулу (1):

$$G_p = 2534,4 - 1267,2 = 1267,2\text{кг}$$

Уравнения реакций процесса активации углерода выглядят следующим образом [23]:



Исходя из литературных данных примем вклад первой реакции равным 30%, второй – 70% от общего превращения.

$$G_{C-CO} = 1267,2 \cdot 0,3 = 380 \text{ кг}$$

Остаток равный 70% соответственно вступает в реакцию (3):

$$G_{C-CO_2} = 1267,2 \cdot 0,7 = 887 \text{ кг}$$

Исходя из стехиометрии процесса количество воды необходимое на активацию углерода для уравнения (2) будет рассчитано по формуле (4):

$$G_{H_2O-CO} = \frac{G_{C-CO} \cdot M_{H_2O}}{M_C}, \#(4)$$

где G_{C-CO} – количество углерода по первой реакции, кг;

M_{H_2O} – молярная масса воды, г/моль;

M_C - молярная масса углерода, г/моль.

Подставим значения в формулу (4):

$$G_{H_2O-CO} = \frac{380 \cdot 18}{12} = 570 \text{ кг}$$

Исходя из стехиометрии процесса количество воды необходимое на активацию углерода для уравнения (3) будет :

$$G_{H_2O-CO} = \frac{887 \cdot 36}{12} = 2661 \text{ кг}$$

Суммарное количество требуемого водяного пара будет определим по формуле (5):

$$G_{H_2O} = \sum_{i=1}^n G_{H_2O-i}, \#(5)$$

Подставим значения в формулу (5):

$$G_{H_2O} = 570 + 2661 = 3231 \text{ кг}$$

Рассчитаем состав отходящих газов процесса активации по стехиометрическому соотношению.

Массу монооксида углерода найдем по формуле (5):

$$G_{CO} = \frac{570 \cdot 28}{18} = 887 \text{ кг}$$

Массу диоксида углерода найдем по формуле (5):

$$G_{CO_2} = \frac{2661 \cdot 44}{18 \cdot 2} = 3252 \text{ кг}$$

Массу водорода по уравнению (2) найдем по формуле (5):

$$G_{H_2-CO} = \frac{570 \cdot 2}{18} = 63 \text{ кг}$$

Массу водорода по уравнению (3) найдем по формуле (5):

$$G_{H_2-CO_2} = \frac{2661 \cdot 2}{18} = 296 \text{ кг}$$

Результаты расчета материального баланса по компонентам сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Материальный баланс процесса активации

Приход			Расход		
Компонент	Расход, кг	Состав, % масс	Компонент	Расход, кг	Состав, % масс
С	2534	43,9	СО	887	15,4
H ₂ O	3231	56,1	СО ₂	3252	56,5
-	-	-	С	1267	22
-	-	-	H ₂	358	6,1
Итого	5765	-	Итого	5764	-

То есть для получения 1267 кг активированного угля из осадков сточных вод потребуется 3231 кг водяного пара

3.2 Расчет пиролизной печи

Исходя из производительности по готовому продукту $G = 1267$ кг; время пребывания материалов печи $\tau = 4$ часа, рассчитаем печь пиролиза со следующими параметрами. «Температура материала на входе в печь $t_c = 10^\circ\text{C}$, на выходе из печи $t_{\Pi} = 1000^\circ\text{C}$; температура отходящих газов равно $t_{\Gamma} = 350^\circ\text{C}$; температура топлива на входе в печь $t_{\Gamma} = 20^\circ\text{C}$, температура воздуха подаваемого на сжигание $t_{\text{в}} = 50^\circ\text{C}$; плотность материала $\rho_{\text{М}} = 2,700$ кг/м³; насыпная плотность материала $\rho_{\text{Н}} = 1900$ кг/м³; угол естественного откоса $\psi = 40^\circ$; теплоёмкость продукта $C_{\Pi} = 1250$ Дж/(кг • К); начальная влажосодержание сырья $\omega_{\Pi} = 0,3$; максимальный радиус уносимых частиц $r_{\text{ч}} = 2 \cdot 10^{-5}$ м; унос из материала готового продукта $x_{\text{ун}} = 0,2$, летучих продуктов $x_{\text{л}} = 0,15$; плотность летучих продуктов $\rho_{\text{л}} = 1,2$ кг/м³; теплоёмкость летучих $c_{\text{л}} = 1400$ Дж/(кг • К)» [15].

В таблице 6 приведен расчетный состав газа, используемого в процессе.

Таблица 6 – Состав топливного газа пиролизной печи

Компонент газа	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂	N ₂
Содержание компонента, % об.	98,7	0,35	0,12	0,06	0,1	0,67

Удельный расход воздуха, который требуется для сжигания 1 м³ газа находится по формуле (6):

$$V_B = \frac{\alpha}{y_{O_2}^B} \left[\frac{y_{H_2}}{2} + \frac{y_{CO}}{2} + y_{H_2S} + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) y_{C_m H_n} - y_{O_2} \right], \#(6)$$

Теплотворная способность топлива равно 3570 кДж/кг. Так как указанный газ не содержит в себе H₂, O₂, H₂S то в соответствии с уравнением расход воздуха на сжигание 1м³ топлива будет:

$$V_H = [1,07 / 21 (1 + 4/4) \times 98,7 + (2 + 6/4) \times 0,35 + (3 + 8/4) \times 0,12 + (4 + 10/4) \times 0,06] = 10\text{м}^3/\text{м}^3$$

Выход газов при горении топлива (м³/м³) вычисляется по следующим уравнениям (7) - (10):

$$V_{CO_2} = 0,01 \left(\sum m y_{C_m H_n} + y_{CO} + y_{CO_2} \right), \#(7)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot V_B + 0,01 \cdot y_{N_2}, \#(8)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_B, \#(9)$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(y_{H_2S} + y_{H_2} + \sum \left(\frac{n}{2} \right) y_{C_m H_n} + 0,124 \cdot x_r \right) + 0,016 \cdot V_B, \#(10)$$

Подставим значения в формулы (7) - (10):

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot [(1 \cdot 98,7 + 2 \cdot 0,35 + 3 \cdot 0,12 + 4 \cdot 0,06 + 0,1)] = 1,0;$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 10 + 0,01 \cdot 0,67 = 7,91;$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (1,07 - 1) \cdot 10 = 0,147;$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot (2 \cdot 98,7 + 3 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,12 + 5 \cdot 0,6 + 0,124 \cdot 19 + 0,016 \cdot 10) = 2,15.$$

Здесь $X_r = 19 \text{ г/м}^3$ принято соответственно начальной температуре газообразного топлива $t_r = 20^\circ \text{C}$.

Общий расход от входящих газов топлива согласно формуле, определяется по формуле (11):

$$V_{г.т.} = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{H_2O}, \#(11)$$

Подставим значения в формулу (11):

$$V_{г.т.} = 1,0 + 7,91 + 0,147 + 2,15 = 11,2$$

Производительность печи по готовому продукту равно $G = 2600/3600 = 0,72 \text{ кг/с}$, тогда расход исходного сырья согласно формуле (12):

$$G_H = \frac{G(1 + x_{yH} + x_{п})}{(1 - w_H)}, \#(12)$$

Подставим значения в формулу (12):

$$G_H = 0,72 \cdot (1 + 0,2 + 0,15) / (1 - 0,3) = 1,4 \text{ кг/с.}$$

Удельный выход влаги из сырья находится по формуле (13):

$$w_H = \frac{G_H w_H}{G}, \#(13)$$

Подставим значения в формулу (13):

$$\omega_H = 1,4 \times 0,3 / 0,72 = 0,583$$

Удельный выход газов из сырья согласно формуле (14):

$$V_{Г.м.} = \frac{w_{П.}}{\rho_{В.п.}} + \frac{x_{Л.}}{\rho_{Л.}}, \#(14)$$

Подставим значения в формулу (14):

$$V_{Г.м.} = 0,583 / 0,804 + 0,15 / 1,2 = 0,85 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Удельный расход топлива при $q_9 = 0$ согласно уравнению (15):

$$G_{Т.м.} = \frac{\omega_{П.} \cdot [r_{и} + (t_{Г} - t_{и}) \cdot C_{В.П.}] + c_{П} t_{П} + (x_{уН} c_{П} + x_{Л} c_{Л}) \cdot t_{Г}}{Q_H \cdot (1 - \eta) + c_{Т} t_{Т} + V_{В} c_{В} t_{В} - V_{Г.Т} c_{Г} t_{Г}} - \frac{G_C C_{П} + \omega_{П} c_{П}) \cdot t_C \pm g_p}{Q_H \cdot (1 - \eta) + c_{Т} t_{Т} + V_{В} c_{В} t_{В} - V_{Г.Т} c_{Г} t_{Г}}, \#(15)$$

Подставим значения в формулу (15):

$$G_{T.M} = \frac{0,583 \cdot [2,26 \cdot 10^6 + (350 - 100) \cdot 1900] + 1250 \cdot 1000}{3,57 \cdot 10^7 \cdot (1 - 0,2) + 1.550 \cdot 20 + 10 \cdot 1280 \cdot 50 - 11,2 \cdot 1425 \cdot 350} +$$

$$+ \frac{(0,2 \cdot 1250 + 0,15 \cdot 1400) \cdot 350 - (1,36 \cdot 1,250 + 0,583 \cdot 4190) \cdot 10}{3,57 \cdot 10^7 \cdot (1 - 0,2) + 1.550 \cdot 20 + 10 \cdot 1280 \cdot 50 - 11,2 \cdot 1425 \cdot 350} =$$

$$= \frac{0,125 \text{ м}^3}{\text{кг}}$$

Общий расход отходящих газов по уравнению (16):

$$V_{\Gamma} = (V_{\Gamma.T.} G_{T.M.} + V_{\Gamma.M.}) G \left(\frac{T_{\Gamma}}{273} \right), \#(16)$$

Подставим значения в формулу (16):

$$V_{\Gamma} = (11,2 \cdot 0,125 + 0,85) \cdot 0,72 \cdot (623/273) = 3,7 \text{ м}^3/\text{с}$$

Примем скорость отходящих газов в печи из условий минимального уноса твердые фазы $\omega_{\Gamma} = \frac{2\text{м}}{\text{с}}$, а коэффициент заполнения $\varphi = 0,1$. Диаметр печи пиролиза находится по формуле (17):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\Gamma}}{0,785 \cdot (1 - \varphi) \cdot \omega_{\Gamma}}}, \#(17)$$

Подставим значения в формулу (17):

$$D = \sqrt{\frac{3,7}{0,785 \cdot (1 - 0,1) \cdot 2}} = 1,618 \text{ м}$$

Принимаем $D = 1,6$ м, тогда с учетом толщины футеровки наружный диаметр печи с учетом толщины футеровки находится по формуле (18):

$$D_k = D + 2 \cdot \delta, \#(18)$$

Подставим значения в формулу

$$D = 1,6 + 2 \cdot 0,3 = 2,2 \text{ м,}$$

Длина печи согласно определяется по формуле (19):

$$L = \frac{4G\tau}{\pi D^2 \varphi \rho_H}, \#(19)$$

Подставим значения в формулу (19):

$$L = 0,72 \cdot 4 \cdot 3.600 / 0,785 \cdot 1.900 \cdot 1,6^2 \cdot 0,1 = 27,1 \text{ м.}$$

Стандартная печь с диаметром 2,2 м имеет длину наиболее близкую к расчётам 25 м

При длине печи в 25 м необходимое время пребывания материала в ней $\tau = 4$ может быть обеспечено за счет увеличения коэффициента заполнения. Его значение находится по формуле (20):

$$\varphi = (4 \cdot G_\tau) / (\pi \rho_H \cdot D^2 L), \#(20)$$

Подставим значения в формулу (20):

$$\varphi = (4 \cdot 0,72 \cdot 4 \cdot 3600) / (3,14 \cdot 1900 \cdot 1,6^2 \cdot 25) = 0,108$$

При этой величине φ , имеем следующие геометрические размеры: высота порога печи $H=0,33R=0,33 \cdot 0,8=0,264$ м; длина хорды материала $l_{x,m} = 1,47R = 1,47 \cdot 0,8 = 1,18$ м; длина дуги материала $l_{d,m} = 1,66R = 1,66 \cdot 0,8 = 1,33$ м; длина дуги открытой футеровки печи $l_{d,\phi} = \pi D - l_{d,m} = 3,14 \cdot 1,6 - 1,33 = 3,69$ м.

Интенсивность движения материала по печи определяется по формуле (21):

$$ni = 0,4 \frac{G(\psi + 24)}{\rho_H D^2 \varphi}, \#(21)$$

Подставим значения в формулу (21):

$$ni = 0,4 [0,72 (40 + 24)/(1900 \cdot 1,6^3 \cdot 0,108)] = 0,022.$$

Примем частоту вращения печи 0,68 об/м, тогда уклон печи будет 2%

Выбранную печь с параметрами $D_H = 2,2$ м; $L = 25$ м и $H = 0,264$ м следует проверить по возможности передачи материалу необходимого количества теплоты.

При проверке теплонапряженности печи температура горения газа определяется методом подбора. Допустим, что она лежит в пределах 1200-1500 °С. Теплоемкости отходящих газов $c_{\Gamma} = 1590$ Дж/(м³ · К) и воздуха $c_{\text{в}} = 1590$ Дж/(м³ · К)

Температуру отходящих газов найдем по формуле (22):

$$t_{\Gamma,\Gamma} = 0,8 \frac{Q_H}{V_{\Gamma,T} c_{\Gamma} + (\alpha - 1) V_{\text{в}} c_{\text{в}}}, \#(22)$$

Подставим значения в формулу (22):

$$t_{г.г} = 0,8 \cdot 3,57 \cdot 10^7 / [11,2 \cdot 1590 + (1,07 - 1) \cdot 10 \cdot 1467] = 1516^\circ\text{C},$$

Средняя температура газового потока согласно формуле (23):

$$T_{г} = \frac{(t_{г.г} + t_{г})}{2} + 273, \#(23)$$

Подставим значения в формулу (23):

$$T_{г} = (1516 + 350)/2 + 273 = 1206 \text{ К},$$

Примем $T_{г} = 1200 \text{ К}$.

Средняя температура материала находится по формуле (24):

$$T_{м} = \frac{(t_{с} + t_{п})}{2} + 273, \#(24)$$

Подставим значения в формулу (24):

$$T_{м} = (10 + 1000)/2 + 273 = 778 \text{ К},$$

Примем $T_{г} = 780 \text{ К}$.

Среднюю температуру футеровки примем $T_{ф} = 970 \text{ К}$.

Прежде чем вычислить коэффициенты излучения газового потока, найдем вспомогательные параметры для определения степеней черноты углекислоты $\varepsilon_{\text{CO}_2}$, водяных паров $\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}$ и поправочного коэффициента ξ .

Парциальное давление CO_2 и H_2O в газах определяется по формулам:

$$\rho_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{г.т.}}, \#(25)$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{г.т.}}, \#(26)$$

Подставим значения в формулы (25) – (26):

$$p_{CO_2} = 1,0/11,2 = 0,089;$$

$$p_{H_2O} = 2,15/11,2 = 0,192$$

Длина дуги рассчитывается по формуле (27):

$$l = 0,9D\sqrt{1 - \varphi}, \#(27)$$

Подставим значения в формулу (27):

$$l = 0,9 \cdot 1,6\sqrt{1 - 0,108} = 1,36 \text{ м}$$

Произведение парциальных давлений на длину дуги будут равны:

$$p_{CO_2}l = 0,089 \cdot 1,36 = 0,12;$$

$$p_{H_2O}l = 0,192 \cdot 1,36 = 0,26$$

Графическим методом находим при средней температуре газа $T_r = 1200 \text{ К} = 927^\circ\text{С}$; $\varepsilon_{CO_2} = 0,117$; $\varepsilon_{H_2O} = 0,156$; футеровки $T_\phi = 970 \text{ К} = 697^\circ\text{С}$ $\varepsilon_{CO_2} = 0,125$; $\varepsilon_{H_2O} = 0,21$; материала $T_m = 780 \text{ К} = 507^\circ\text{С}$ $\varepsilon_{CO_2} = 0,114$; $\varepsilon_{H_2O} = 0,25$. Поправочный коэффициент $\xi = 1,11$.

Степень черноты твердых уносимых частиц определяется по формуле (28):

$$\varepsilon_T = 1 - e^{-\alpha}, \#(28)$$

Подставим значения в формулу (28):

$$\varepsilon_T = 1 - 2,72^{-0,167} = 0,15$$

Здесь в соответствии с зависимостью (11.34)(29):

$$\alpha = \frac{(0,75 \cdot 273 \cdot G_H \cdot l)}{(r_{\text{ч}} \rho_M V_{\Gamma} T_{\Gamma})}, \#(29)$$

Подставим значения в формулу (29):

$$\alpha = \frac{0,75 \cdot 273 \cdot 0,144 \cdot 1,36}{2 \cdot 10^{-5} \cdot 2700 \cdot 3,7 \cdot 1200} = 0,167,$$

где $G_{\text{уН}} = Gx_{\text{уН}} = 0,72 \cdot 0,2 = 0,144$ м/с

Коэффициент излучения газового потока вычисляется по формуле (30):

$$E_{\Phi-M} = \left(\frac{T_{\Gamma}}{T_{\Phi-M}} \right)^{0,65} \varepsilon_{CO_2} + \xi \varepsilon_{H_2O} + \varepsilon_T - \left[\left(\frac{T_{\Gamma}}{T_{\Phi-M}} \right)^{0,65} \varepsilon_{CO_2} + \xi \varepsilon_{H_2O} \right] \varepsilon_T, \#(30)$$

Подставим значения в формулу (30):

$$E_{\Phi} = (1200/970)^{0,65} 0,125 + 1,11 \cdot 0,21 + 0,15 - \\ - [(1200/970)^{0,65} 0,125 + 1,11 \cdot 0,21] 0,15 = 0,47$$

Коэффициент излучения газового потока находится по формуле (31):

$$E_{\Gamma} = \varepsilon_{CO_2} + \xi \varepsilon_{H_2O} + \varepsilon_T - (\varepsilon_{CO_2} + \xi \varepsilon_{H_2O}) \varepsilon_T, \#(31)$$

Подставим значения в формулу (31):

$$E_{\Gamma} = 0,117 + 1,11 \cdot 0,156 + 0,15 - (0,117 + 1,11 \cdot 0,156) \cdot 0,15 = 0,4$$

Подставим значения в формулу (31):

$$E_M = (1200/780)^{0.65} \cdot 0,114 + 1,11 \cdot 0,25 + 0,15 - \\ - [(1200/780)^{0.65} 0,114 + 1,11 \cdot 0,25] \cdot 0,15 = 0,51.$$

Удельный лучистый тепловой поток от газа к футеровке находится по формуле (32):

$$q_{\Gamma \phi}^{\Pi} = 5,77 \cdot \varepsilon_{\phi} \left[E_{\Gamma} (T_{\Gamma}/100)^4 - E_{\phi} (T_{\phi}/100)^4 \right] l_{\Gamma, \phi}, \#(32)$$

Подставим значения в формулу (32):

$$q_{\Gamma \phi}^{\Pi} = 5,77 \cdot 0,96 [(1200/100)^4 - 0,47(970/100)^4] 3,36 = 84,5 \cdot$$

10^3 Вт/м

Удельный лучистый тепловой поток от футеровки к материалу находится по формуле (33):

$$q_{\phi M}^{\Pi} = 5,77 \cdot \varepsilon_{\phi} \varepsilon_M \left[(1 - E_{\phi}) (T_{\phi}/100)^4 - (1 - E_M) (T_M/100)^4 \right] l_{\phi, M}, \#(33)$$

Удельный лучистый тепловой поток от закрытой поверхности футеровки к материалу находится по формуле (34):

$$q_{\phi, \text{д.м.}}^{\Pi} = 5,77 \cdot \varepsilon_{\phi} \varepsilon_M \left[(T_{\phi}/100)^4 - (T_M/100)^4 \right] l_{\phi, \text{д.м.}}, \#(34)$$

Подставим значения в формулу (34):

$$q_{\phi \text{ д.м}}^{\text{л}} = 5,77 \cdot 0,96 \cdot [(970/100)^4 - (780 - 100)^4] \cdot 1,33 = 34 \cdot 10^3 \text{ Вт /м}$$

Удельный конвективный тепловой поток от газа к футеровке находится по формуле (35):

$$q_{\text{г.ф.}}^{\text{к}} = \alpha_{\text{г.ф.}} (T_{\text{г}} - T_{\text{ф}}) l_{\text{д.ф.}}, \#(35)$$

Подставляем значения в формулу (35):

$$q_{\text{г} \text{ ф}}^{\text{к}} = 10,34 \cdot (1200 - 970) \cdot 3,69 = 8,7 \cdot 10^3 \text{ Вт /м}$$

Коэффициент теплоотдачи находится по формуле (36):

$$\alpha_{\text{г.ф}} = \alpha_{\text{г.м}} = 0,028 (w_{\text{г}} c_{\text{г}})^{0,8} \left(\frac{\lambda_{\text{г}}}{D_{\text{ЭК}}} \right)^{0,2}, \#(36)$$

где $w_{\text{г}}$ - скорость газов в печи,

$c_{\text{г}}$ - теплоемкость отходящих газов, при $T_{\text{г}} = 927 \text{ }^\circ\text{C}$,

$c_{\text{г}} = 1510 \text{ Дж}/(\text{м}^3\text{К})$;

$\lambda_{\text{г}}$ - теплопроводность отходящих газов, при $T_{\text{г}} = 927 \text{ }^\circ\text{C}$ и содержании CO_2 , равном $V_{\text{CO}_2}/V_{\text{г.т}} = 1/11,2 = 0,089$,

$\lambda_{\text{г}} = 0,086 \text{ Вт}/(\text{м К})$;

$D_{\text{ЭК}}$ - эквивалентный диаметр канала для прохода газа, $D_{\text{ЭК}} = 1,47 \text{ м}$

Подставим значения в формулу (36):

$$\alpha_{г. \phi} = 0,028 \cdot (2,18 \cdot 1510)^{0,8} \cdot (0,086/1,47)^{0,2} = 10,34 \text{ Вт (м}^2\text{К)},$$

Для определения количества теплоты, передаваемой теплопроводностью от футеровки к материалу по (11.18), проделаем необходимые вспомогательные расчеты.

Отношение открытой футеровки к полной площади ее поверхности определяется по формуле (37):

$$A = \frac{l_{д.ф.}}{l_{д.ф.} + l_{д.м.}}, \#(37)$$

Подставим значения в формулу (37):

$$A = \frac{3,69}{3,69 + 1,33} = 0,73$$

Коэффициент теплоотдачи от газа к футеровке находится по формуле (38):

$$\alpha_{г \phi}^{усл} = \frac{q_{\phi.д.м.}^л}{(T_{г} - T_{\phi})l_{д.ф.}}, \#(38)$$

Подставим значения в формулу (38):

$$\alpha_{г \phi}^{усл} = 34 \cdot 10^3 / [(1200 - 970) \cdot 3,69] = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}}$$

Коэффициент теплоотдачи от футеровки к материалу находится по формуле (39):

$$\alpha_{\phi.м.} = \frac{q_{\phi.д.м.}^л}{(T_{\phi} - T_{м})l_{д.м.}}, \#(39)$$

Подставим значения в формулу (39):

$$\alpha_{\phi. м} = 34 \cdot 10^3 / [(970 - 780)1,33] = 135 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$$

Осредненный по поверхности футеровки коэффициент теплоотдачи находится по формуле (40):

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\alpha_{\text{г.ф.}}^{\text{усл}} l_{\text{д.ф.}} + \alpha_{\text{ф.м.}} l_{\text{д.м.}}}{l_{\text{д.ф.}} + l_{\text{д.м.}}}, \#(40)$$

Подставим значения в формулу (40):

$$\alpha_{\text{ср}} = (40 \cdot 3,69 + 135 \cdot 1,33) / (3,69 + 1,33) = 65,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}).$$

Примем футеровку из хромомagnesита. При ее температуре $t_{\phi} = 970 - 273 = 697^{\circ}\text{C}$ коэффициент теплопроводности $\lambda_{\phi} = 1,13 \text{ Вт}/(\text{м К})$ плотность $\rho_{\phi} = 2900 \text{ кг}/\text{м}^3$ и теплоемкость $c_{\phi} = 750 + 0,15 \cdot 697 = 855 \text{ Дж}/(\text{кг К})$

Критерий интенсивности определяется по формуле (41):

$$B = \frac{\alpha_{\text{ср}}^2}{\lambda_{\phi} c_{\phi} \rho_{\phi} n}, \#(41)$$

где n - частота вращения печи, с^{-1} .

Подставим значения в формулу (41):

$$B = 65,2^2 / (1,13 \cdot 855 \cdot 2900 \cdot 0,011) = 0,14,$$

При значениях $A = 0,73$ и $B = 0,14$ значение коэффициента $I=0,05$.

Найдем тепловой поток от футеровки к материалу по формуле (42):

$$q_{\text{ф.м.}}^{\text{T}} = \sqrt{\lambda_{\text{ф}} c_{\text{ф}} \rho_{\text{ф}} n \cdot J \cdot (T_{\text{Г}} - T_{\text{М}}) \cdot (l_{\text{д.ф.}} - l_{\text{д.м.}})}, \#(42)$$

Подставим значения в формулу (42):

$$q_{\text{ф. м}}^{\text{T}} = \sqrt{1,13 \cdot 855 \cdot 2900 \cdot 0,011 \cdot 0,05 \cdot (1200 - 780) \cdot (3,69 + 1,33)} = 18,5 \cdot 10^3 \text{ Вт/м.}$$

Суммарный удельный тепловой поток от футеровки к материалу (43):

$$q_{\text{ф. м}} = q_{\text{ф. т}}^{\text{Л}} + q_{\text{ф.д.м.}}^{\text{Л}} + q_{\text{ф.м.}}^{\text{T}}, \#(43)$$

Подставим значения в формулу (43):

$$q_{\text{ф. м}} = 17 \cdot 10^3 + 34 + 10^3 + 18,5 \cdot 10^3 = 70 - 10^3 \text{ Вт/м}$$

Суммарный удельный тепловой поток от газа к футеровке (44):

$$q_{\text{г. ф}} = q_{\text{г. ф}}^{\text{Л}} + q_{\text{г. ф.}}^{\text{К}}, \#(44)$$

Подставим значения в формулу (44):

$$q_{\text{г. ф}} = 84,5 \cdot 10^3 + 8,7 \cdot 10^3 = 93,2 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}$$

Если считать, что потери теплоты в окружающую среду составляют:

$$q_{\text{пот}} = 0,2 \cdot (q_{\text{г. ф}}^{\text{Л}} + q_{\text{г. ф.}}^{\text{К}})$$

Расхождение в тепловых потоках, воспринятых футеровкой от газа и переданных материалу вычисляется по формуле (45):

$$\Delta q = q_{г. \phi} - q_{\phi. м} - q_{пот}, \#(45)$$

Подставим значения в формулу (45):

$$\Delta q = 0,8 * 93,2 * 10^3 - 70 * 10^3 = 4,56 * 10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Это свидетельствует о том, что температура футеровки $T_{\phi} = 970 \text{ К}$ была выбрана правильно.

Удельный лучистый тепловой поток непосредственно к материалу от газа определяется по формуле (46):

$$q_{\phi.д.м.}^{\text{л}} = 5,77 \cdot \varepsilon_{\text{м}} \left[E_{\text{г}}(T_{\phi}/100)^4 - E_{\text{м}}(T_{\text{м}}/100)^4 \right] l_{\text{х.м}}, \#(46)$$

Подставим значения в формулу (46):

$$q_{\phi. м}^{\text{л}} = 5,77 \cdot 0,9 \cdot [0,4 \cdot (1200/100)^4 - 0,51 \cdot (780/100)^4] \cdot 1,18 = 39 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}$$

Удельный конвективный тепловой поток от газа непосредственно материалу находится по формуле (47):

$$q_{г. м}^{\text{к}} = \alpha_{г.м} \cdot (T_{\text{г}} - T_{\text{м}}) \cdot l_{\text{х.м}}, \#(47)$$

Подставим значения в формулу (47):

$$q_{г. м}^K = 10,34 \cdot (1200 - 780) \cdot 1,18 = 5,12 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}$$

Удельный тепловой поток, необходимый для нагревания материала находится по формуле (48):

$$q_m = \frac{\omega_{п}[r_{и} + (t_{г} - t_{и}) \cdot c_{в.п}] + c_{п}t_{п} + (x_{ун}c_{п} + x_{л}c_{л}) \cdot t_{г} - (G_{с.уд}c_{п} + \omega_{п}c_{\omega}) \cdot t_{с}}{L} G, \#(48)$$

Подставим значения в формулу (48):

$$q_m = \frac{0,583 \cdot [2,26 \cdot 10^6 + (350 - 100) \cdot 1900] + 1250 \cdot 1000}{25} + \\ + \frac{(0,2 \cdot 1250 + 0,15 \cdot 1400) \cdot 350 - (1,36 \cdot 1250 + 0,583 \cdot 4190) \cdot 10}{25} \times \\ \times 0,72 = 8,6 \cdot 10^4 \text{ Вт / м}$$

Суммарный тепловой поток к материалу от газа и футеровки в соответствии с выражением:

$$8,6 \cdot 10^4 < 39 \cdot 10^3 + 5,12 \cdot 10^3 + 17 \cdot 10^3 + 34 \cdot 10^3 + 18,5 \cdot 10^3$$

Превышает требуемый более чем в 1,3 раза, что вполне допустимо. Окончательно выбираем печь ПВ 2,2-25.

Вывод по разделу: Расчеты материального баланса показали, что для получения 1267кг/ч активированного угля из осадков сточных вод объемом 1300 м³ в год при помощи процесса пиролиза потребуется печь ПВ 2,2-25 диаметром 2,2 м и длиной 25 м, продолжительность процесса составляет 4 часа на одну загрузку

Заключение

В работе была рассмотрена и проанализирована установка биологической очистки сточных вод ОАО «Метафракс», в результате чего были найдены техническое решение по переработке осадка сточных вод после биологической очистки в адсорбент.

Для исключения необходимости использования земель под иловые карты, для утилизации осадков сточных вод и, соответственно, сопряженных с этим процессом затрат предлагается использовать технологию переработки осадков сточных вод в активированный уголь.

Получение адсорбентов из осадков сточных вод является перспективной технологией, которая позволяет не только утилизировать отходы, но и создать ценные продукты для различных применений, таких как очистка воды и воздуха. Основным методом преобразования осадков в адсорбенты является термохимическая обработка, включающая пиролиз и активацию.

Осадок сточных вод образующийся на предприятии содержит органическое вещество в достаточных для реализации способа количествах. В качестве подготовки к переработке используется процесс сушки.

Технологическая схема предлагаемой установки включает сборник обезвоженного осадка, гранулятор, сушилки, печь пиролиза, топку печи пиролиза, камеру активации, камеру обеззоливания, камеру промывки, сушильную камеру, топку дожигания, котел-утилизатор. Данное оборудование позволяет вести процесс в требуемом технологическом режиме и получать готовый продукт требуемого качества. Установка работает в режиме периодической загрузки порций сырья, технологический цикл составляет 4 часа.

В результате расчетов было показано что для переработки 1300 м³ в год осадков сточных вод биологических очистных сооружений ОАО «Метафракс» потребуется пиролизная печь диаметром 2,2 метра и длиной 25 метров.

Список используемых источников

1. Амбросова Г.Т. Методические указания «Очистные сооружения канализации. Сооружения механической очистки» / Г.Т. Амбросова, В.В. Сбоева, Е.Л. Войтов. - Новосибирск: НГАСУ, 2001. – 54 с.
2. Баранов Д.А. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие / Д.А. Баранов. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 408 с.
3. Веригин А.Н. Машины и аппараты переработки дисперсных материалов. Основы проектирования: учебное пособие / А.Н. Веригин, В.С. Даниль-чук, Н.А. Незамаев; под редакцией А.Н. Веригина. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 536 с.
4. Ветошкин А.Г. Технические средства инженерной экологии: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 424 с.
 - a. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 304 с.
5. Волков В.А. Теоретические основы охраны окружающей среды: учебное пособие / В.А. Волков. – С.-Пб.: Лань, 2015. – 256 с.
6. Воропаева Н.Ю., Шлёкова И.Ю. Интенсификация процесса денитрификации при биологической очистке сточных вод // Электронный научно методический журнал Омского ГАУ. – №2 (13), 2016.
7. Гульшин И. А. Характеристика активного ила, осуществляющего процесс очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от соединений азота в аэрационных сооружениях циркуляционного типа при низких концентрациях растворенного кислорода. [Электронный ресурс]/ Гульшин И.А. // Инженерный вестник Дона. - №1. – 2019. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5681 (дата обращения 16.06.2022)
8. Дикаревский В.С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. Учебное пособие для вузов. / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев– Л.: Стройиздат, 1990 г. - 224с.

9. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОСС, 2003. – 512 с.

10. ИТС-8-2015. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. – М.: Бюро НДТ, 2015. – 129 с.

11. Козлов М.Н. Перспективы внедрения современных технологий, обеспечивающих достижение нормативов для водоемов рыбохозяйственного назначения. / М.Н. Козлов, М.В. Кевбрина, Ю.А. Николаев, А.Г. Дорофеев, В.Г. Авсева, И.М. Козлов // Сборник статей и публикаций Московского Водоканала. Выпуск 4. Том 1. – М.: АО «Мосводоканал», 2018. – с. 267 – 272.

12. Кольчурина Н.А. Денитрификация сточной воды. / Кольчурина и [др.] под ред. Е.А. Фарберова // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь: вестник ПНИПУ. – № 3. - 2015. – с. 38-43.

13. Кривошеин, Д.А. Основы экологической безопасности производств: учебное пособие / Д.А. Кривошеин, В.П. Дмитренко, Н.В. Федотова. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 336 с.

14. Кульский Л.А. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов. / Л.А. Кульский, М.Н. Булава, И.Т. Гороновский, П.И. Смирнов / - Киев: Будивельник, 1972. – 424 с.

15. Москвичев Ю.А. Теоретические основы химической технологии: учебное пособие / Ю.А. Москвичев, А.К. Григоричев, О.С. Павлов. — 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 272 с.

16. Основы природопользования и энергоресурсосбережения: учебное пособие / В.В. Денисов, И.А. Денисова, Т.И. Дровозова, А.П. Москаленко; под редакцией В.В. Денисова – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 408 с.

17. Очистка городских сточных вод. Этап механической очистки. [Электронный ресурс]: тематическая статья. – URL: <https://prom->

water.ru/company/baza_znanij/rassylka_kompanii/ochistka_gorodskih_stochnyh_vod_d_ehtap_mehanicheskoi_ochistki/ (дата обращения 16.06.2022)

18. Пат. РСТ/RU2009/000471. WO2011031181A1. Способ биологической очистки сточных вод. 2011-03-17.

19. Постановление Администрации Губахинского округа № 1270 от 30.10.2019. Об установлении нормативов состава сточных вод, отводимых абонентами в централизованные системы водоотведения Губахинского городского округа Пермского края.

20. Постановление Администрации Губахинского округа № 792 от 12.08.2020. Об установлении нормативов состава сточных вод, отводимых абонентами в централизованные системы водоотведения Губахинского городского округа Пермского края.

21. Постоянный технологический регламент отделения по очистке промышленно-сточных вод ОАО «Метафракс». – Губаха: ОАО «Метафракс». – 2021. – 112 с.

22. Расчёт и проектирование массообменных аппаратов: учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко, О.В. Абрамов, А.В. Логинов. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 352 с.

23. Сабирова Т.М. Особенности культивирования нитрификаторов в условиях высоких концентраций аммонийного азота. // Кокс и химия, 2005. - №1. - с. 30-33.

24. Смирнов Н.Н. Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов): учебное пособие / Н.Н. Смирнов, В.М. Барабаш, К.А. Карпов; под общей редакцией Н.Н. Смирнова. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 84 с.

25. Станция приготовления флокулянта. Подробное описание. [Электронный ресурс]: Тематическая статья. – URL: <https://stowater.com/katalog-oborudovaniya/modulnoe-oborudovanie/stancziya-prigotovleniya-flokulyanta.html> (дата обращения 25.06.2022)

26. Френк Н. Кеммер. Книга Налко о Воде. В 2 частях. Часть 2: Типовые химико-технологические операции при очистке воды. / Ф.Н. Кеммер. – NY: McGraw-Hill Book Company, 2007. - 1117 с.

27. Широков Ю.А. Экологическая безопасность на предприятии: учебное пособие / Ю.А. Широков.– Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 360 с.

28. Яковлев С. В., Карюхина Т. А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина. М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.

29. Kumar S., Ahlawat W., Bhanjana G., Dilbaghi N., Heydarifard S., Nazhad M.M. Nanotechnology- based water treatment strategies // Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2017. - Vol. 14., № 2. - P. 1838-1858.

30. Praestol (Праестол) Подробное описание. [Электронный ресурс]: тематическая статья. – URL: <https://waterhim.ru/index.php/praestol-2/70-praestol-fiz/274-praestol-fiz> (дата обращения 21.06.2022)

31. Theron J., Walker J.A., Cloete T. E. Nanotechnology and water treatment: application and emerging opportunities // Critical Reviews in Microbiology, 2018. - Vol. 34., № 1. - P. 43-69.

32. Yang M., Sun P., Wang R., Han J., Wang J., Song Y., Tang X. Simulation and optimization of ammonia removal at low temperature for a double channel oxidation ditch based on fully coupled activated sludge model (FCASM): A fullscale study // Bioresource technology. - 2013. - №. 143. - pp. 538-548.