

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 кафедры полностью)

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))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему: «Предложение технического решения по повышению качества очистки
сточных вод на примере АО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод»

Обучающийся

М.С. Матвеев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

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

Тольятти 2025

Аннотация

Целью выпускной квалификационной работы является снижение антропогенной нагрузки от сточных вод предприятия ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод».

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, перечня сокращений и обозначений, трех разделов, заключения и списка используемых источников.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе представлена общая характеристика существующей на заводе системы очистки сточных вод, проанализирован качественный и количественный состав сточных вод предприятия, выявлены превышения загрязняющих веществ в очищенных стоках НПЗ.

Во второй главе приведено обоснование предлагаемой модернизации системы очистки сточных вод завода, проведен патентный поиск, подобран оптимальный вариант модернизации системы очистки сточных вод. Описана технологическая схема биологической очистки сточных вод после модернизации.

В третьей главе произведен расчет ущерба, причиненному водному объекту вследствие нарушения водного законодательства, произведен расчет количества дисковых аэраторов и параметров каркасно-засыпных фильтров.

Заключение содержит основные выводы по результатам работы.

Содержание

Аннотация.....	2
Перечень сокращений и обозначений.....	4
Введение	5
1 Описание технологического процесса биологической очистки стоков ОАО «СНПЗ»	6
1.1 Существующая схема биологической очистки сточных вод ОАО «СНПЗ».....	6
1.2 Анализ сточных вод ОАО «СНПЗ».....	16
2 Обоснование выбора технологии очистки сточных вод ОАО «СНПЗ»	19
2.1 Процессы нитрификации и денитрификации, протекающие в аэротенке.....	19
2.2 Патентный поиск технологии уменьшения содержания аммонийного азота в сточных водах.....	22
2.3 Подбор аэрационной системы для ОАО «СНПЗ»	27
2.4 Блок доочистки сточных вод	33
2.5 Технология очистки сточных вод ОАО «СНПЗ» после модернизации	37
3. Расчетная часть.....	40
3.1 Расчет размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства	40
3.2 Расчет количества аэраторов	42
3.3 Расчет каркасно-засыпного фильтра	46
Список используемых источников.....	53

Перечень сокращений и обозначений

- АТ – атмосферные трубчатые установки
- БОС – биологические очистные сооружения
- БПК – биологическое потребление кислорода
- ВТ – вакуумные трубчатые установки
- КЗФ – каркасно-засыпной фильтр
- КНС – канализационная насосная станция
- НДС – норматив допустимого сброса
- НПЗ – нефтеперерабатывающий завод
- ОАО «СНПЗ» – Открытое акционерное общество «Сызранский нефтеперерабатывающий завод»
- ПДК – предельно-допустимая концентрация
- СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества
- УФО - ультрафиолетовое обеззараживание
- ХПК – химическое потребление кислорода
- ЭЛОУ – установка электрообезвоживания и обессоливания нефти

Введение

Сохранение окружающей среды является одним из ключевых приоритетов устойчивого развития человечества. Загрязнение водных ресурсов промышленными сточными водами представляет собой серьезную угрозу для экосистем, здоровья людей и биоразнообразия. Нефтеперерабатывающие предприятия, такие как ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод», являются одними из основных источников антропогенной нагрузки на водные объекты.

Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов характеризуются превышением предельно допустимых концентраций по аммонийному азоту, нитритам, фенолам, нефтепродуктам, взвешенным веществам. При этом, ключевой причиной наблюдаемых отклонений от нормативных значений выступает, как правило, недостаточная эффективность функционирования очистных сооружений. В частности, ограниченная проектная мощность установок, износ оборудования, нарушения в их эксплуатации, а также ненадлежащее техническое обслуживание приводят к снижению способности очистных сооружений обеспечивать удаление загрязняющих веществ до уровней, соответствующих установленным нормативным требованиям.

Цель исследования: разработать комплекс мер, направленных на повышение очистки сточных вод ОАО «СНПЗ».

Задачи исследования:

- проанализировать существующую систему очистки сточных вод;
- провести анализ характеристик сточных вод АО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод».
- оценить существующие методы очистки сточных вод и выбрать оптимальные технологические решения для предприятия, направленные на достижение требований нормативов;
- произвести необходимые расчеты.

1 Описание технологического процесса биологической очистки стоков ОАО «СНПЗ»

1.1 Существующая схема биологической очистки сточных вод ОАО «СНПЗ»

ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод» – российский нефтеперерабатывающий завод топливного профиля. Входит в состав ПАО НК «Роснефть».

НПЗ, имеющий производственную мощность 8,9 миллиона тонн (или эквивалент 65,1 миллиона баррелей) в год, эффективно перерабатывает нефть. Источники сырья для завода включают в себя нефть из Западной Сибири, добычей которой занимается компания Юганскнефтегаз, а также нефть, добытую предприятием Самаранефтегаз в Самарской области. Производственные линии завода оборудованы различными установками, которые являются частью вторичных перерабатывающих мощностей: система каталитического риформинга, установки для гидроочистки топлива, аппаратура для каталитического и термического крекинга, установки изомеризации, а также битумная и газодифракционная установки. В ассортименте продукции завода находится многообразие нефтепродуктов, среди которых высококачественное моторное топливо, авиационный керосин и битум, отвечающий текущим требованиям качества.

В 2015 году завод полностью перешёл на выпуск товарной продукции экологического стандарта Евро-5.

Процессы переработки нефти связаны с потреблением следующих веществ:

- «вода, используемая для различных нужд;
- водяной пар;

- раствор деэмульгаторов для обезвоживания нефти;
- раствор аммиака для нейтрализации сероводорода в потоках паров бензина и для предотвращения коррозии шлемовых труб и конденсаторов;
- раствор щелочи для очистки светлых дистиллятов» [6].

«Все эти вещества являются источниками загрязнения воды. Водоотведение установок первичной переработки нефти на НПЗ описано ниже. Стоки ЭЛОУ после электродегидраторов проходят охлаждение в теплообменных аппаратах или смешиваются с холодной водой и под остаточным давлением отдельными напорными потоками выводятся из установок трубопроводами надземной прокладки к канализационному коллектору» [9].

«Сернисто-щелочные стоки от соответствующих блоков щелочной очистки нефтепродуктов (бензин, керосин, дизельное топливо) установок АК накапливаются в дренажных емкостях, затем их вывозят передвижным транспортом на установку нейтрализации отработанной щелочи. Блоки щелочной очистки нефтепродуктов работают периодически, потому что значительное количество светлых дистиллятов на НПЗ подлежат глубокой доочистке на установках гидроочистки с целью получения горючего, отвечающих требованиям спецификаций Евро-5» [10].

Стоки с отбортованных территорий установок направляются к подземной самотечной системе канализации через приемки, предусмотренные на этих площадках. На выпусках из приемков установлены колодцы с гидрозатворами. На территории технологических установок предусмотрены емкости промышленных стоков, играющих роль отстойников для отделения нефтепродуктов, которые далее откачиваются насосом в дренажную линию уловленных нефтепродуктов.

Стоки с неотбортированных территорий – атмосферные осадки и пожарные воды – направляются к подземной самотечной системе канализации.

Конденсат водяного пара от обогрева оборудования выводится из установок для подпитки локальных блоков обратного водоснабжения и частично к центральной конденсатной станции для повторного использования.

Частично водяной конденсат на глухих участках направляется к канализационной системе. Значительные объемы конденсата отводятся в канализацию в случае снижения температуры водяного пара в паровой сети, чтобы предотвратить попадание конденсата в куб ректификационной колонны, что может вызвать рост давления в середине аппарата и привести к сбою технологического процесса.

Водяной пар, используемый на установках АТ как технологический компонент, превращается в загрязненный нефтепродуктами и другими веществами технологический конденсат, образуя значительный поток загрязненных стоков. Технологические конденсаты из рефлюксных емкостей АТ отводятся для промывки сырой нефти к электродегидраторам соответствующих технологических установок или сбрасываются в общезаводскую систему канализации промышленных стоков.

На установках ВТ также применяется перегонка нефтяных остатков с водяным паром, чтобы увеличить отбор дистиллятов из мазутов от их потенциала. В присутствии водяного пара в ректификационных колоннах снижается парциальное давление нефтяных паров и, как следствие, уменьшается их температура кипения. Самые легкие компоненты остатка испаряются и в смеси с водяным паром поднимаются вверх по колоннам, где конденсируются в поверхностных конденсаторах-смесителях кожухотрубного типа.

Для технологических установок ВТ № 1 в качестве хладагента имеется вода блоков обратного водоснабжения, поэтому технологический конденсат

характеризуется температурой 30-65 °С. С целью предотвращения загрязнения поверхностей теплообменных аппаратов 2-3 раза в неделю осуществляется обратная промывка оборотной водой теплообменных аппаратов в течение 10-15 мин. Технологический конденсат ВТ № 2 получается с температурой 10-16 °С, что связано с охлаждением водяных паров, газов разложения и легких нефтепродуктов в кожухотрубчатых конденсаторах хладагентом с температурой 6 °С. Это способствует улучшению процесса конденсации паров и созданию более глубокого вакуума, однако приводит к образованию водо-нефтяной эмульсии и ухудшению процесса отделения конденсата от нефтепродукта в сепараторе.

ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод» начало использование биологических очистных сооружений (БОС) в 1967 году. «Биологические очистные сооружения Сызранского НПЗ представляют собой: смеситель 2-х секционный; аэротенк-смеситель 2-х секционный, 3-х коридорный; вторичные отстойники радиального типа, направленные на отделение активного ила от очищенной жидкости, выходящей из аэротенков, – 3 шт., воздуходувная станция; иловая насосная; иловые площадки; установка ультрафиолетового обеззараживания» [27].

«СНПЗ имеет один выпуск сточных вод после биологической очистки. Сброс осуществляется по глубинному рассеивающему выпуску. Количество образующихся промышленных сточных вод на Сызранском НПЗ составляет 5990 тыс.м³/год, а бытовых 327 тыс.м³/год» [27].

«Кроме этого, на биологические очистные сооружения поступают бытовые сточные воды от сторонних организаций в объеме 29 тыс. м³/год промышленных и 1288 тыс. м³/год бытовых» [27].

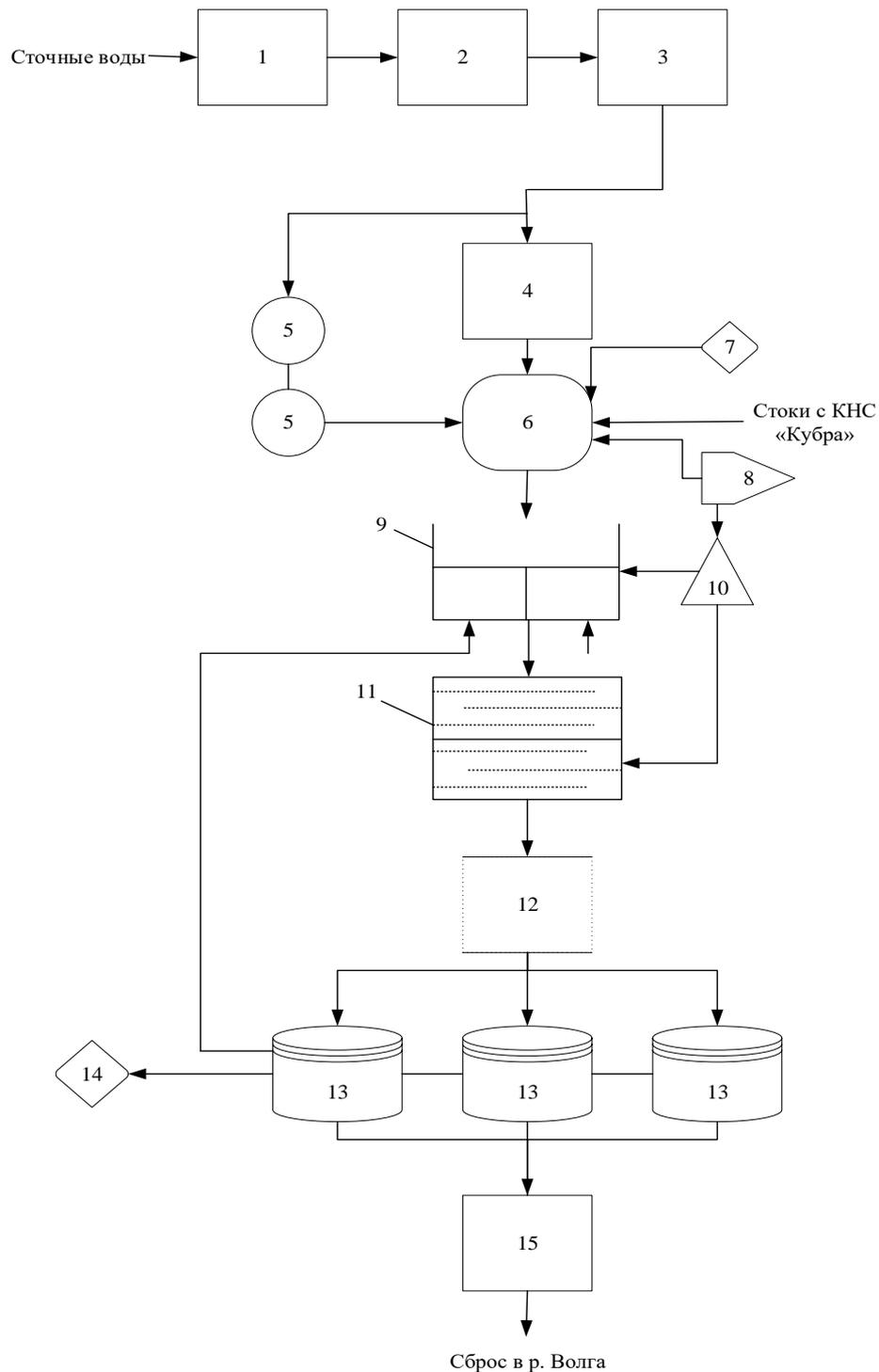
«Заявленная проектная производительность очистных сооружений предприятия составляет 32600 м³/сут, в год это значение равно 11720 тыс. м³» [27].

На рисунке 1 приведена принципиальная действующая схема сооружений очистки сточных вод АО «СНПЗ».

«Производственные стоки, включающие механически очищенные нефтесодержащие стоки, промышленные стоки и обработанные сернисто-щелочные стоки, проходят песколовки, нефтеловушки и напорные флотационные установки, так как имеют высокое содержание солей, нефтепродуктов, щелочей и т.д. Сточные воды проходят аэротенк-смеситель, продолжительность аэрации составляет 24 часа, концентрация активного ила составляет 5,5-6 г/л. Далее сточные воды поступают во вторичные отстойники радиального типа (продолжительность пребывания сточных вод в них составляет 1,5-2 ч. Затем сточные воды направляются в камеру смешения К-35. Они поступают туда самотеком через буферный пруд или, минуя его, по обводному коллектору через колодцы К-37 и К-38. К этим стокам добавляются также механически очищенные хозяйственно-бытовые стоки.

В камере К-35 происходит смешивание стоков с раствором, поступающим с узла биогенной подпитки. Раствор реагента (моноаммонийфосфата, суперфосфата, диаммонийфосфата) подается на станцию биогенной подпитки непрерывно. Дозировка реагентов регулируется с помощью лабораторных анализов, чтобы обеспечить их оптимальное соотношение» [23].

«Для стабилизации кислотности воды, в случае необходимости, добавляется ортофосфорная кислота термической марки А, соответствующая ГОСТ 10678-76. Кислота подается в камеру смешения К-35 дозирующим насосом в пропорции 8,5 л H_3PO_4 на 850 м³ сточных вод в час. Для ускорения процесса биологической очистки и снижения негативного воздействия аварийных сбросов сточных вод с повышенным содержанием загрязнений применяются биопрепараты – высокоактивные жидкие растворы, содержащие различные виды бактерий» [23].



«1 – песколовки; 2 – нефтеловушки; 3 – напорные флотационные установки; 4 – буферный пруд; 5 – колодцы К-37, К-38; 6 – камера смешения К-35; 7 – дозировочный насос; 8 – узел биогенной подпитки; 9 – смеситель С-1; 10 – воздуходувная станция; 11 – аэротенк-смеситель АС-1; 12 – распределительная чаша вторичных отстойников; 13 – вторичные отстойники Евт-1, Евт-2, Евт-3; 14 – насосная станция циркуляции осадка; 15 – установка УФО» [23]

Рисунок 1 – Принципиальная действующая схема сооружений биологической очистки сточных вод АО «СНПЗ»

В процессе очистки сточных вод на камере К-35 применяется добавление специальных биопрепаратов с помощью дозирующего устройства насосного типа. Концентрация данных препаратов колеблется в диапазоне от 1 до 5 частей на миллион (ppm), однако в критических ситуациях это значение может достигать 10 ppm. Оптимальные объемы реагентов определяются в рамках практической работы очистных сооружений. Следующим этапом является переход стоков из камеры К-35 в смеситель С-1. Здесь происходит их объединение с предварительно введенными реагентами. Распределение стоков может быть настроено так, чтобы они попадали как в одну, так и в обе секции смесителя одновременно.

Поступление стоков продолжается в аэротенк-смеситель АС-1, который обладает двухсекционной структурой, гарантируя избежание перемешивания на протяжении резервуара (рисунок 2). Каждая секция включает в себя три коридора для протекания стоков. Указанный аэротенк-смеситель способен обеспечить окислительную обработку с мощностью до 600 мг/л. Для равномерного распределения сточных масс по аэротенку используются специальные распределительные устройства - лотки. Аэротенк обладает глубиной в 4 метра, что позволяет оптимизировать процесс очистки [23].

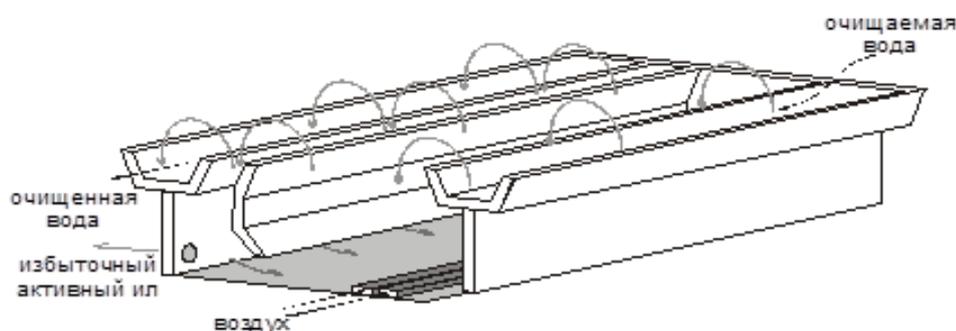


Рисунок 2 – Схема работы аэротенка-смесителя

В системе биологической очистки сточных вод применяются особые двухслойные аэраторы, расположенные на дне коридоров канализации. Длина каждого аэратора составляет 2 метра, а диаметр - 120 мм. Основа аэратора - это перфорированная труба из полиэтилена, окаймленная наружным слоем, сделанным из волокнисто-пористого материала, что создает промежуточный воздушный зазор.

Края аэраторов оснащены полиэтиленовыми муфтами с внутренней резьбой для подсоединения к системе распределения воздуха. Подающийся воздух проходит внутри перфорированной полиэтиленовой трубы и равномерно выделяется через радиальные отверстия в воздушной прослойке, что приводит к образованию мелких воздушных пузырьков в стоке. Это способствует эффективному насыщению воды кислородом.

Аэраторы имеют ключевую роль в процессе биологической обработки, поскольку снабжают воду необходимым кислородом для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов активного ила. В частности, первый коридор в каждой секции назначен для регенерации ила, где он восстанавливает свои очищающие свойства перед следующим циклом обработки сточных вод.

«В распределительном лотке, по которому поступают сточные воды, имеются окна, которые можно открывать или закрывать. От количества открытых окон зависит, какая часть системы будет использоваться для регенерации активного ила. Чем меньше открытых окон, тем больше стоков направляется в зону регенерации» [15].

Микроорганизмы, содержащиеся в активном иле, метаболизируют органические компоненты, присутствующие в стоках. Чтобы эти жизненно важные биологические процессы могли происходить непрерывно, необходимо поддержание высокого уровня кислорода. Для этой цели используется воздуходувная станция, оснащённая четырьмя компрессорами, которые обеспечивают кислородом микроорганизмы в аэротенках. Пропускная

мощность этой системы составляет от 25 до 30 кубических метров воздуха на каждый кубический метр обрабатываемых сточных вод, что гарантирует эффективное насыщение ила кислородом для разложения органики.

«После аэротенка сточные воды, обогащенные активным илом, поступают в распределительную чашу вторичных отстойников. Оттуда стоки равномерно направляются в три отстойника, где происходит разделение очищенной воды и активного ила. Активный ил оседает на дне отстойников, а очищенная вода направляется на дальнейшую обработку» [23].

В системе очистки сточных вод используются три вторичных отстойника – Евт-1, Евт-2 и Евт-3. Они имеют радиальную конструкцию, то есть сточные воды поступают в центр отстойника и движутся к периферии по спирали. Отстойники оборудованы специальными механизмами для сбора осадка – илососами ИВР-24. Илосос представляет собой вращающуюся конструкцию, которая собирает осадок со дна отстойника. Вращение илососа осуществляется с помощью электродвигателя, механизм оснащен сосудами для сбора осадка.

«Ил удаляется из вторичного отстойника с помощью илососа, который работает непрерывно. Ил попадает в илосос самотеком за счет разницы давления. Илосос вращается со скоростью 2 оборота в час. Илосос оснащен четырьмя сосунами, которые расположены так, чтобы при вращении перекрывать всю площадь дна отстойника, обеспечивая эффективное удаление осадка» [23].

Эффективность удаления взвешенных частиц из сточных вод тесно связана с работой вторичных осадителей. После того как стоки проходят очистку в отстойниках марки Евт-1, Евт-2 и Евт-3, они перемещаются через устройства перелива в лоток для сброса. Оттуда уже посредством трубопровода стоки достигают коллектора для последующей ультрафиолетовой обработки, которая способствует обеззараживанию воды. В то же время, активный ил, скапливающийся в процессе очистки, самотеком

перемещается в специально предназначенную для него иловую камеру. Из этой камеры ил уже перекачивается насосами с индексами Н-12, Н-14, Н-15 и Н-16 обратно в аэротенк первой ступени очистки, где он вновь используется для очистки стоков, тем самым замыкая цикл илового оборота.

«В иловых камерах установлены датчики ДМ-III (2 шт.), которые контролируют уровень активного ила. Избыточный ил удаляется насосом Н-17 (Н17А) на иловые карты» [23]. «В случае необходимости все устройства – смеситель, аэротенки первой ступени и вторичные отстойники – могут быть опорожнены насосом Н-17, Н-17А» [23].

«Из области аэрации аэротенков смесь, состоящая из чистой воды, выполняющей функцию диспергирующей среды, и более тяжелой твердой фазы – активного ила, перемещается во вторичные отстойники» [23]. Активный ил является совокупностью микроорганизмов, образующих сложные клеточные агрегаты с образованием структур различной морфологии. Размер этих агрегатов, или хлопьев активного ила, подвержен колебаниям, может быть от 20 до 300 микрометров, что обуславливается интенсивностью перемешивания воды. Осаждение хлопьев при их движении через отстойники приводит к их отделению от жидкости. Это процесс формирует четко видимую границу между осветленной водой в верхнем слое и сгустками твердого осадка в нижней части.

Станция биологической очистки сточных вод включает важный компонент, известный как узел биогенной подпитки, который «служит для хранения и подачи необходимых реагентов для биохимической обработки стоков. Эти химические вещества, такие как моноаммонийфосфат, суперфосфат или диаммонийфосфат, смешиваются со сточными водами в специализированной камере, обозначенной как К-35» [23].

«Транспортировка реагентов на объект осуществляется автомобильным путём, после чего они складываются до использования. На месте имеются четыре бака по 4,5 м³, разделённых на два затворных и два расходных, где

готовятся рабочие растворы реагентов» [23]. В баки заливается техническая вода, в которой затем растворяют выбранный реагент. Процесс смешивания раствора обеспечивается за счёт воздуха, поступающего с воздуходувной станции, что способствует его равномерному перемешиванию перед направлением в камеру К-35 для дальнейшего смешивания с очищаемыми сточными водами.

После биологической очистки, вода из вторичных отстойников № 1-3 самотеком направляется на установку ультрафиолетового обеззараживания (УФО) по коллектору диаметром 800 мм.

1.2 Анализ сточных вод ОАО «СНПЗ»

Промышленные сточные воды, вырабатываемые на предприятии ОАО «СНПЗ», характеризуются наличием определенных загрязнителей. В их состав входят такие элементы, как нефть и её производные, различные механические загрязнители, а также вещества, появляющиеся в процессе переработки нефти. Кроме того, в водах присутствуют различные химические вещества, оставшиеся после использования в технических процессах. Средние концентрации сточной воды нефтеперерабатывающего завода, которая приходит на установку БОС, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние концентрации загрязнений сточной воды НПЗ [28]

Показатель	Фактическое значение
Взвешенные вещества, мг/дм ³	25,5
ХПК, мгО ₂ /л	166
БПК ₅ , мгО ₂ /л	42
Фенолы, мг/дм ³	0,57
Нефтепродукты, мг/дм ³	1,8
Азот аммонийный, мг/дм ³	19,7
Азот нитритов, мг/дм ³	0,22
Азот нитратов, мг/дм ³	8,9
СПАВ анионогенные, мг/дм ³	0,30

В таблице 2 представлена информация, отражающая результаты мониторинга качественных характеристик сточных вод, которые выпускаются после прохождения биологической очистки.

Таблица 2 – Средние концентрации загрязнений сточной воды после биологической очистки [28]

Показатель	Фактическое значение	Норматив ПДК очищенной сточной воды, поступающей в водоем рыбохозяйственного назначения
Взвешенные вещества, мг/дм ³	15	10
ХПК, мгО ₂ /л	45	-
БПК ₅ , мгО ₂ /л	6	3
Фенолы, мг/дм ³	0,045	0,001
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,7	0,05
Азот аммонийный, мг/дм ³	0,94	0,4
Азот нитритов, мг/дм ³	0,15	0,02
Азот нитратов, мг/дм ³	7,9	9
СПАВ анионогенные, мг/дм ³	0,17	0,5

«Данные нормативы зафиксированы в рамках Приказа Министерства сельского хозяйства Российской Федерации №552 от 13 декабря 2016 года, который устанавливает стандарты качества воды для водоёмов, имеющих значение для рыбного хозяйства, включая максимально разрешенные содержания вредных веществ в водах такого рода объектов» [28].

В процессе анализа качества сточных вод нефтеперерабатывающего завода выявлено, что уровни аммонийного азота, нитритов, фенолов, нефтепродуктов, взвешенных веществ превышают установленные предельно допустимые концентрации. Это указывает на необходимость оптимизации процессов в станции очистки сточных вод. Хотя фенолы и нефтепродукты являются опасными загрязнителями водных объектов и их превышение также требует внимания, аммонийный азот, нитриты и взвешенные вещества,

оказывают более комплексное и системное воздействие на водную экосистему, влияя на ее кислородный режим, прозрачность воды и биоразнообразие, поэтому в качестве объектов дальнейшего исследования были выбраны аммонийный азот, азот нитритов, взвешенные вещества. Улучшение очистных технологий станет важным аспектом в достижении снижения концентраций указанных загрязнителей до нормативных значений, что позволит минимизировать воздействие на экосистему водоёмов, в частности на Саратовское водохранилище реки Волги. Придание приоритета усовершенствованию системы очистки важно для соблюдения экологических стандартов и улучшения состояния окружающей природной среды.

Вывод.

В рамках первой главы исследования представлен подробный анализ существующей конфигурации системы биологической очистки стоков (БОС). В ходе данного анализа были определены приоритетные типы загрязнителей, представляющие наибольшую угрозу для окружающей среды и требующие повышенного внимания в процессе очистки. Это обозначило необходимые направления для оптимизации и усовершенствования процедур очистки.

2 Обоснование выбора технологии очистки сточных вод ОАО «СНПЗ»

2.1 Процессы нитрификации и денитрификации, протекающие в аэротенке

«Денитрификация – это биохимический процесс, в ходе которого происходит одновременное окисление органических соединений при помощи кислорода и восстановление азотсодержащих веществ, результатом чего является высвобождение элементарного азота в атмосферу» [3]. Этот процесс осуществляется благодаря активности гетеротрофных аэробных бактерий, которые в нормальных условиях используют молекулярный кислород как принимающую сторону для электронов в реакциях окисления органических материалов. В случае недостатка кислорода, эти микроорганизмы переходят к использованию окисленных форм азота – нитратов и нитритов – в качестве альтернативных акцепторов электронов [3].

Процесс денитрификации разделяется на две основные стадии, происходящие последовательно:

1. В первом этапе нитрат-ионы (NO_3^-) претерпевают химическое преобразование, при котором они восстанавливаются до нитрит-ионов (NO_2^-). Это происходит с участием определенных видов бактерий в условиях, когда кислород ограничен или отсутствует, и они нуждаются в альтернативных акцепторах электронов.

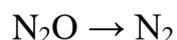
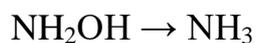
2. В завершающем этапе нитриты далее восстанавливаются до элементарного азота (N_2), его неактивной формы, которая затем испускается в атмосферу. Эта часть денитрификации обеспечивает удаление избыточных азотных соединений из сточных вод и минимизирует их негативное

воздействие на акваторические экосистемы, предотвращая такие проблемы, как эвтрофикация.

Для осуществления процесса денитрификации необходимо обеспечить следующие условия:

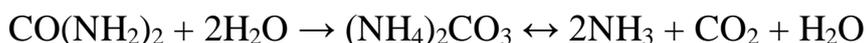
- наличие органических веществ;
- небольшой доступ кислорода;
- нейтральная или слабо щелочная реакции.

Денитрификация протекает в соответствии со следующей реакцией с образованием азота:



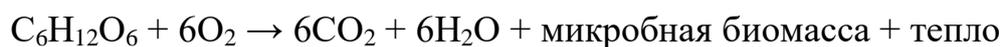
Азотные соединения разлагаются с выделением азота в виде аммиака.

Мочевина разлагается по уравнению:



Аэробный метод использует аэробные микроорганизмы, для которых необходим постоянный кислород и температура в пределах 20-40 °С. «Аэробные бактерии являются факультативными анаэробами и развиваются при отсутствии кислорода за счет других акцепторов электрона (анаэробное дыхание) или при брожении (субстратное фосфорилирование). Продуктами жизнедеятельности являются углекислый газ, водород, органические кислоты и спирты» [4].

Аэробный процесс происходит по схеме:



Процесс окисления клеточного вещества протекает по реакции:

Микроорганизмы + $\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N} + \text{P} +$ биологически неустойчивые частицы клеточного вещества.

Анаэробный катаболизм разделяют на 3 стадии:

- стадия 1 включает разложение полисахаридов на гексоз и пентод, липиды разлагаются до жирных кислот и глицерина, а также других компонентов, белки разлагаются до аминокислот.

- стадия 2 – продукты, образованные на первой стадии: гексозы, пентоды и глицерин расщепляются до пировиноградной кислоты, которая затем превращается в ацетил кофермента А. Ацетил КоА является общим конечным продуктом второй стадии катаболизма.

- стадия 3 – ацетильная группа ацетил КоА вступает в цикл трикарбоновых кислот и окисляются до конечных продуктов: CO_2 , H_2O , NH_4^+ .

Суммарный энергетический баланс полного разложения веществ составляет 38 АТФ [5].

Для сбразивания осадков сточных вод используется метановое брожение, которое происходит по следующей схеме:



Биохимическая активность ила зависит от фазы развития и связана со скорости роста микроорганизмов.

В условиях достаточности растворенного кислорода процесс развития активного ила включает 5 фаз:

I - фаза приспособления. На этом этапе концентрация микроорганизмов остается постоянной, то есть клетки не делятся.

II - фаза экспоненциального роста. Во время этой фазы происходит максимально быстро деление клеток и происходит интенсивное потребление субстрата.

III - фаза замедленного роста. Во время этой фазы происходит замедление деления клеток.

IV-стационарная фаза. Под конец этой фазы субстрат уменьшается, бактериальные клетки начинают образовывать хлопья.

V - фаза самоокисления. Во время этой фазы мертвые клетки разлагаются, органические вещества окисляются живыми бактериальными клетками.

Стадия биологической очистки сточных вод проводится в аэротенках – коридорных сооружениях, к которым подается сточная вода и рециркуляционный активный ил с перемешиванием и аэрацией, что обеспечивает контакт активного ила с загрязнениями и условия для их биохимической конверсии [5].

2.2 Патентный поиск технологии уменьшения содержания аммонийного азота в сточных водах

В процессе определения оптимального метода для снижения уровней аммонийного азота в стоке был реализован тщательный аналитический обзор. Данный обзор включал изучение научной литературы и систематический патентный поиск, что позволило оценить существующие технологии и новейшие разработки в этой области.

Объектом исследования является установка для биологической очистки промышленных сточных вод нефтеперерабатывающего производства с целью повышения качества очистки сточных вод для удаления азота аммонийного.

Тематика снижения содержания аммонийного азота в сточных водах классифицируется согласно международной патентной классификации следующими индексами: C02F 3/30, C02F 101/16, C02F 103/36, C02F 9/14, C02F 3/12, B01D 21/02

Таблица 3 содержит сведения, полученные в результате проведения патентного исследования, направленного на выявление передовых технологий биологической очистки сточных вод, характерных для нефтеперерабатывающей отрасли.

Рассматривая способы оптимизации работы очистных сооружений, можно выделить два основных подхода к модернизации аэротенков: повышение эффективности аэрации и создание отдельных зон для процессов нитрификации и денитрификации.

Таблица 3 – Патентный поиск технологии снижения содержания аммонийного азота в технологии биологической очистки сточных вод нефтеперерабатывающей промышленности

Номер документа	Дата публикации	Название	Автор	Характеристика	Недостатки
RU75186U1	27.07.2008	Установка для глубокой биологической очистки сточных вод	Д.С. Бушев, О.В. Дремов	«Способ предполагает использование мелкопузырчатой аэрации при биологической очистке сточных вод. Предлагаемая установка, представляет собой емкость, содержащую цельнонесущий корпус, размещенные в корпусе приемную камеру с подводом сточных вод, аэротенк, вторичный отстойник и стабилизатор активного ила, при этом приемная камера содержит фильтр грубой очистки и средство его обдува, датчики уровня и насос перекачки сточных вод, во вторичном отстойнике размещен жиросепаратор для перекачки жировой пленки в аэротенк и обдув, причем приемная камера и аэротенк снабжены аэраторами, подвод воздуха к которым, а также насосам, установленным в приемной камере, аэротенке и вторичном отстойнике осуществляется от, по меньшей мере, двух компрессоров, размещаемых внутри или снаружи корпуса емкости [21].	Сложность реализации

Продолжение таблицы 3

RU2636708C1	27.11.2017	Способ и установка для биологической очистки сточных вод	В.С. Ким Н.Ю. Большаков Г.А. Павлов	«Способ предполагает структуру аэротенка, заключающуюся в последовательно расположенных первой аноксидной, анаэробной, переходной анаэробно-аэробной, первой аэробной, второй аноксидной, переходной аноксидно-аэробной и второй аэробной зонах аэротенка» [16].	Сложность реализации и поддержания необходимых условий очистки сточных вод
RU2136612C1	10.09.1999	Способ очистки сточных вод от аммонийного азота	Т.М. Сабитова, Е.К. Дербышева	«Вначале обработку сточных вод проводят гидроксидом натрия для разложения связанного аммиака, а затем проводят отгонку образующегося при этом свободного аммиака паром. Остаточное содержание аммиачного азота по данному способу очистки может составлять около 25 мг/л» [17].	Значительные затраты, связанные с отгонкой аммиака» [17].

Продолжение таблицы 3

<p>RU257 0002C 1</p>	<p>10.12.201 5</p>	<p>Способ очистки сточных вод</p>	<p>Ю.М. Мешенгиссер А.Н. Царенко А.В. Смирнов М.А. Есин</p>	<p>«Способ биологической очистки сточных вод в аэротенке, имеющий последовательно чередующиеся анаэробную, аэробную, аноксидную, вторую аэробную зоны, внешний рецикл возвратного ила из вторичного отстойника в анаэробную зону, подачу сжатого воздуха по воздухопроводам в аэробную и вторую аэробную зоны, исходную сточную воду направляют в анаэробную и аноксидную зоны. При этом после второй аэробной зоны последовательно предусмотрены вторая аноксидная зона и третья аэробная зона, внутренний рецикл из третьей аэробной зоны в аноксидную зону» [18].</p>	<p>«Возвратный ил, который всегда содержит нитраты, подается в анаэробную зону, что замедляет основные процессы анаэробного разложения, следствием чего является резкое снижение эффективности очистки от фосфора, а также то, что подача сточной воды в аэротенк осуществляется тремя потоками: в анаэробную и две аноксидные зоны, что значительно усложняет управление процессом биологической очистки» [18].</p>
<p>RU223 9607C 1</p>	<p>10.11.200 4</p>	<p>Установка биологическ ой очистки сточных вод</p>	<p>А.В. Друцкий</p>	<p>«Аэротенк разделен вертикальными перегородками на ступени, оснащенные аэрационными системами и носителями прикрепленной микрофлоры, выполненными в виде вертикальных плоских экранов» [19].</p>	<p>«Невозможность обеспечения глубокой очистки сточных вод от фосфора, для осуществления которой необходимо чередование анаэробных и аэробных зон, а также невысокую эффективность очистки от нитратов» [19].</p>

Разделение аэротенков на зоны является перспективным решением, но его применение ограничено аэротенками-вытеснителями. Аэротенки Сызранского НПЗ являются аэротенками-смесителями, для которых этот метод не подходит. Конструкция этих аэротенков характеризуется мгновенным перемешиванием поступающих стоков, равномерным отводом ила и стабильной скоростью окисления органики по всему объему.

В связи с этим, для повышения эффективности работы данных очистных сооружений наиболее подходящим решением является модернизация системы аэрации путем замены аэраторов.

В ходе исследования патентных документов была выявлена технология RU75186U1, которая предлагает повышение аэрации в аэротенке за счет использования мелкопузырчатых аэраторов. Мелкопузырчатые аэраторы обеспечивают более высокий коэффициент переноса кислорода по сравнению с трубчатыми аэраторами, следовательно, для растворения того же количества кислорода в сточной воде потребуется меньше воздуха, что снижает энергопотребление компрессоров. Кроме того, мелкие пузырьки имеют большую суммарную площадь поверхности, что увеличивает скорость растворения кислорода в воде.

Таким образом, предлагаемая технологическая схема очистки сточных вод АО «СНПЗ» направлена на снижение аммонийного азота и основана на повышении интенсификации аэробных процессов аэротенка.

2.3 Подбор аэрационной системы для ОАО «СНПЗ»

Предлагаемая модернизация биологических сточных вод ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод» основана на технологии патента RU75186U1.

Замена имеющихся трубчатых крупнопузырчатых аэраторов аэротенка на более эффективные дисковые мембранные мелкопузырчатые аэраторы позволит повысить эффективность аэробных процессов.

«Обычно мелкопузырчатые диффузоры могут существенно увеличить общую эффективность передачи воздуха в смешанную жидкость. В АО «Мосводоканал» накоплен большой положительный опыт эксплуатации дисковых аэраторов АКВА-ТОР производства ЗАО «Экополимер-М»: они установлены в аэротенках общей производительностью около 4200 тыс. м³/сут сточных вод. Общая протяженность воздухопроводов составляет около 115 км, общее количество дисков – более 140 тыс. С вводом новой аэрационной системы лимитирование по окислительной мощности было полностью устранено, в отдельные периоды на блок без ухудшения качества очистки подавался воздух до 25% выше проектной нагрузки. Наблюдавшийся ранее дефицит кислорода в аэротенках, когда регулирующие задвижки по воздуху открывались на 100%, отсутствовал [34].

При переходе с пристеночной среднепузырчатой аэрации на дисковую мембранную мелкопузырчатую аэрационную систему с широкой аэрируемой полосой, потребное количество воздуха на аэрацию сокращается в 2,5-3,0 раза. Не рекомендуется установка аэрационных элементов, относящихся к типу незащищенных, т.е. в поры может проникать песок, взвешенные частицы и организмы активного ила. К таким аэраторам относятся пористые трубчатые аэраторы, которые работают эффективно не более 4-5 лет» [13]. Защищенными считаются дисковые аэраторы с подвижной мембраной, которая смыкается при прекращении подачи воздуха, тем самым предупреждая засорение пор.

В таблице 4 приведены сравнительные характеристики дисковых и трубчатых аэраторов.

Таблица 4 – Сравнительные характеристики дисковых и трубчатых аэраторов

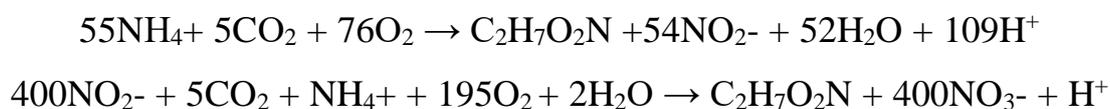
Характеристики	Дисковые аэраторы	Трубчатые аэраторы
Активная площадь	100	
Большая площадь перекрытия днища	+	-
Работа по принципу обратного клапана	+	-
Возможность добавления аэраторов без разбора и конструктивных изменений распределительной системы	+	-
Регулирование работы при изменении качества стоков	+	-
Размер пузырьков воздуха, мм	1-3	3-7
Возможность организации периодической аэрации	+	-
Автоматизация регулировки подачи воздуха	+	-
Срок службы, лет	10-12	3-4

Анализируя информацию, отраженную в таблице 4, можно сделать вывод о более высокой эффективности дисковых аэрационных систем в отношении насыщения кислородом на стадии нитрификации очистных сооружений. Такие системы признаны более перспективными из-за использования мелкопузырчатой технологии аэрации, при которой генерируемые пузырьки воздуха имеют размер от 1 до 3 мм в диаметре, что способствует эффективному обогащению воды кислородом.

«Для пузырей $d = 5$ мм и 8 мм средняя скорость всплытия равна 0,22 м/с и 0,21 м/с соответственно. Для пузырей диаметром $d = 1$ мм и 2,5 мм средняя скорость всплытия равна 0,1 м/с и 0,16 м/с соответственно» [7].

Соответственно, наличие пузырьков меньшего размера в культуральной жидкости приводит к их более длительному пребыванию в растворе, что способствует увеличению растворения кислорода. За счет этого, использование мелкопузырчатой аэрационной системы содействует формированию повышенного уровня растворенного кислорода в аэротенке. Это, в свою очередь, обеспечивает надежное и стабильное протекание

процессов нитрификации, исключительно важных для обработки стоков, представляющих собой органические соединения и аммонийный азот:



Для подбора дискового аэратора был произведен сравнительный обзор дисковых аэраторов, представленных на российском рынке (таблица 5).

Таблица 5 – Сравнительный обзор дисковых аэраторов

Характеристики	Sulzer ABS NOPON PIK 300	Аква- полимер 350	300LC 300	КИТ-320
Диаметр диффузора, мм	336	350	300	320
Размер пузырьков, мм	1-3	0,8-2,1	0,8-2	0,8-2,1
Рабочая зона, м ²	0,060	0,45-1,2	0,5-1	0,65-1
Производительность, м ³ /ч	1,5-8,0	2-8	До 8	3-8
Максимальная рабочая температура, °С	100	120	50	60
Страна-изготовитель	Швейцария	Россия	Китай	Китай
Стоимость, руб/шт.	3248	1560	1578	1959

Сравнив технические характеристики и стоимость дисковых аэраторов, в качестве аэратора модернизированного аэротенка предлагаем использовать отечественные дисковые мелкопузырчатые мембранные аэраторы Акваполимер (изготовитель ООО КСК «Акваполимер», г. Калуга). Преимуществом данного типа дисковых аэраторов является то, что они позволяют решить проблему обрастания илом системы аэрации, «т.к. они

изготавливаются из высокоэластичной резины типа EPDM. Поры мембран аэраторов выполнены особым способом, позволяющим изделиям работать по принципу обратного клапана при отсутствии подвижных запорных элементов. При прекращении подачи воздуха поры мембран автоматически закрываются, препятствуя проникновению жидкости и взвесей внутрь изделия» [4]. При подаче воздуха происходит натяжение мембран, открытие пор и самоочищение изделия.

«Дисковый аэратор состоит из корпуса, фиксирующего кольца, представляющего собой вторую половину корпуса, и эластичной мембраны, которая при сборке зажимается между корпусом и фиксирующим кольцом. Корпус и фиксирующее кольцо соединяются с помощью резьбового соединения. Главные части аэратора выполняются из ЭПДМ (этиленпропилендиен мономер), силикона. Мембрана представляет собой диск со сложным профилем. Внешний край диска утолщен и образует кольцо, которое гарантирует надежное крепление мембраны в корпусе аэратора. Технология перфорации разработана таким образом, чтобы получить пузырьки размером 0,8-2,1 мм. Мембрана перфорируется изнутри-наружу с помощью ножей специальной формы. В результате образуются трапецеидальные просечки (щели), с вершинами на внешней поверхности мембраны. В ненагруженном состоянии щели мембраны закрыты. При поступлении воздуха в пространство между мембраной и корпусом мембрана растягивается, щели открываются, и воздух в виде мелких пузырьков поступает в аэрируемую жидкость. При прекращении подачи воздуха мембрана прижимается к гладкой поверхности корпуса, возвращаясь в ненагруженное состояние, и щели закрываются. Таким образом мембрана работает как обратный клапан, предотвращая попадание жидкости в воздухопроводы аэрационной системы при прекращении подачи воздуха» [33].

«Конструкция корпуса аэратора разработана таким образом, чтобы обеспечить максимальную гибкость при установке аэратора на воздуховод.

Так, в нижней части корпуса аэратора предусмотрен патрубок с резьбой, благодаря которому аэратор, с помощью соответствующего переходника, может быть «вкручен» в воздуховод (рисунок 2)» [33].

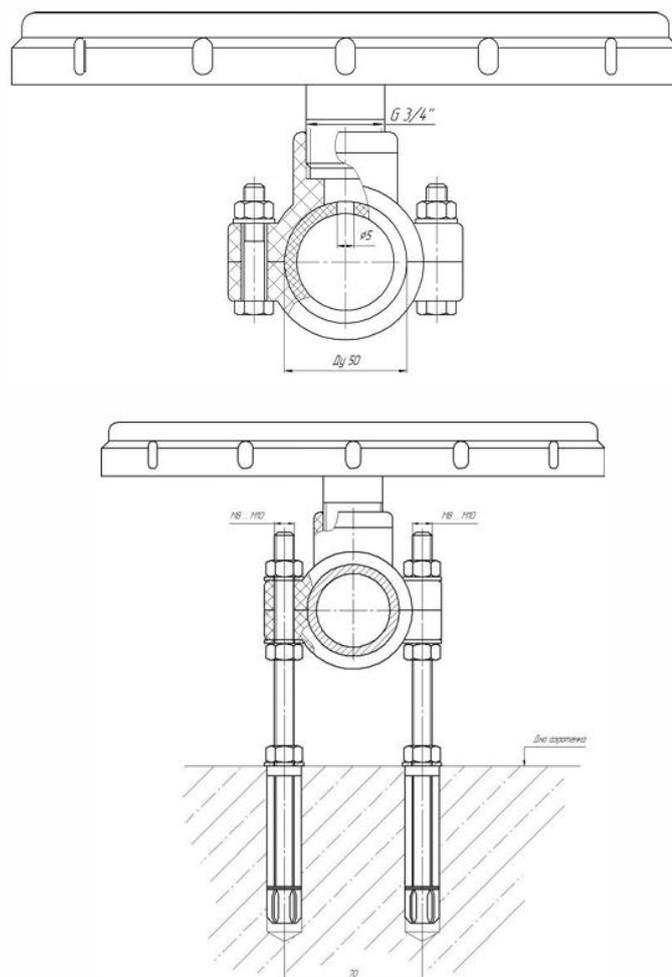


Рисунок 2 – Схема установки дискового аэратора Акваполимер

Для протекания денитрификации необходимо выполнение следующих условий:

- «рН – рабочее значение рН для реализации процесса нитрификации 7,0-9,0. При рН ниже 6,5 и выше 9,5 происходит ингибирование процесса денитрификации, при рН=6 и ниже, а также выше 10, происходит полная остановка процесса;

- щелочность - восстановление 1 мг/л NO_3^- повышает щелочность иловой смеси на 3,57 мг/л).

- концентрация растворенного кислорода – кислород является ингибитором процесса денитрификации. Концентрация растворенного кислорода не должна превышать 0,15 мг/л;

- температура – при температурах 32-40 °С скорости процессов постоянны, при повышении температуры более 45 °С скорость резко падает практически до 0» [23].

Расчет (п. 3.2) показал, что необходимо 160 дисковых аэраторов.

2.4 Блок доочистки сточных вод

Для снижения содержания взвеси активного ила в воде после БОС предлагаем установить блок доочистки сточных вод на основе каркасно-засыпных фильтров (КЗФ).

Преимуществами КЗФ заключаются в следующем:

- функционирование установки в режиме беспленочной фильтрации;
- хорошее качество фильтрата даже при больших скоростях фильтрации;
- доступные по цене фильтрующие материалы;
- высокая эффективность регенерации загрузки во время промывки;
- увеличенная грязеемкость загрузки;
- меньшие потери давления по сравнению с фильтром с мелким зерном.

Фильтр КЗФ представляет собой железобетонную камеру с псевдодномом из гравий-эпоксидных плит, на которые засыпается фильтрующий материал (кварцевый песок).

Под псевдодномом проложены металлические перфорированные трубы подачи сжатого воздуха для водо-воздушной промывки фильтрующего материала, подведен трубопровод промывной воды и отвод очищенной воды.

В КЗФ заведены трубопроводы подачи воды на фильтрацию и отвод грязных промывочных вод [25].

Фильтрация на КЗФ осуществляется по принципу нисходящего потока (сверху вниз), водо-воздушная промывка - противотоком. Для равномерного отвода промывочной воды со всей площади КЗФ предназначены распределительные лотки [23].

Вода после глубокой очистки на КЗФ самотеком по трубопроводу поступает в резервуар фильтрованной воды.

Промывка КЗФ производится поочередно водой из резервуара промывочной воды насосами. Одновременно с подачей промывочной воды в фильтр подается сжатый воздух для лучшей отмывки фильтрующего материала. Водно-воздушная смесь подается под фильтрующую загрузку КЗФ противотоком. Грязная вода, переливаясь через лотки, поступает в камеру КЗФ и далее по трубопроводу в резервуар грязных промывочных вод.

Количество воды, подаваемой на КЗФ для фильтрации и промывки, регулируется задвижками с электроприводом, которые установлены на трубопроводах каждого КЗФ.

Принципиальная схема работы КЗФ изображена на рисунке 3.

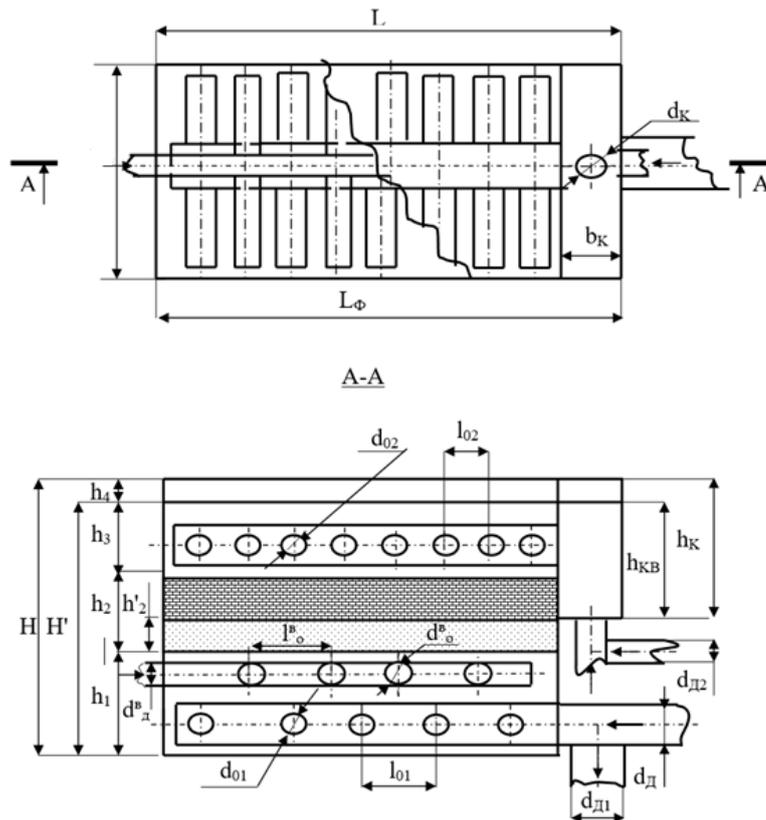


Рисунок 3 – Схема каркасно-засыпного фильтра

На резервуарах промывочной и фильтрованной воды установлены пьезометрические уровнемеры и сигнализаторы максимального уровня в резервуарах. Количество воды, которая подается в р. Волга, давление в трубопроводе контролируются и регистрируются приборами, установленными в щитовом блоке доочистки. Включение и отключение насосов осуществляется в автоматическом режиме.

Внедрение на данном промышленном предприятии технологии очистки сточных вод позволяет предотвратить загрязнение окружающей среды; существенно снизить нагрузку на водные объекты.

Характеристики каркасно-засыпных фильтров представлены в таблице 6, характеристики поддерживающего слоя загрузки – в таблице 7.

Таблица 6 – Характеристика режимов промывки каркасно-засыпных фильтров [27]

Интенсивность подачи л/(с·м ²)		Продолжительность промывки t, мин.
Воды W	Воздуха W ^B	
6-8	14-16	5-7

Таблица 7 – Основные расчетные характеристики каркасно-засыпных фильтров

Параметры фильтрующей загрузки			Скорость фильтрования, м/ч.		Продолжительность фильтроцикла t _ф , ч.	
Фильтрующий материал	Гранулометрическая характеристика загрузки		Высота слоя h ₂ (h' ₂), м	В рабочем (нормальном) режиме V _ф		В форсированном режиме V' _ф
	Минимальный диаметр зерен d _{min} , мм	Максимальный диаметр зерен d _{max} , мм				
Кварцевый песок	0,8	1,0	0,9	10	15	20
Гравийный каркас	1,0	40	1,8			

В соответствии с техническими характеристиками фильтра эффективность очистки от взвешенных веществ составляет 98-99 %. На фильтры поступает вода с содержанием взвешенных веществ 26 мг/дм³. Содержание взвешенных веществ C, мг/дм³ после КЗФ при степени очистки 98 % определим по формуле

$$C = \frac{C_0 \cdot (100\% - X)}{100\%},$$

где C₀ – исходная концентрация взвешенных веществ, мг/дм³;

X – степень очистки, %.

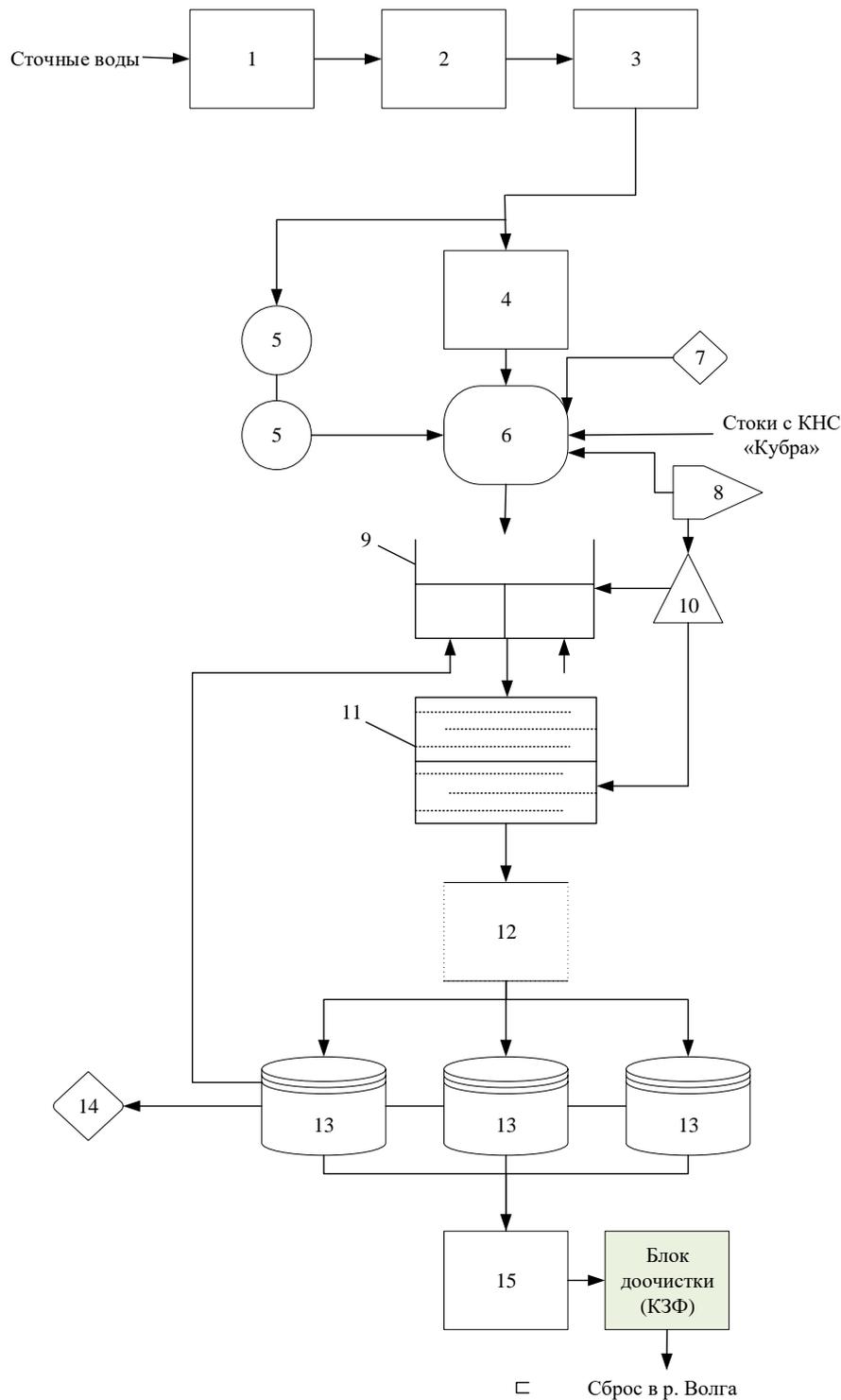
$$C = \frac{26 \cdot (100 - 98)}{100} = 0,52 \text{ мг/дм}^3$$

После внедрения КЗФ содержание взвешенных веществ, которые после БОС в основном представлены частицами активного ила, снизится в 50 раз.

2.5 Технология очистки сточных вод ОАО «СНПЗ» после модернизации

С целью повышения эффективности очистки сточных вод ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод» предлагаем схему очистки сточных вод, представленную на рисунке 4.

Предложенная технология очистки сточных вод ОАО «СНПЗ» предусматривает модернизацию уже существующих аэротенков путем замены трубчатых крупнопузырчатых аэраторов на дисковые мелкопузырчатые. Дисковые аэраторы мелкопузырчатые, поэтому обеспечивают более высокий коэффициент переноса кислорода по сравнению с трубчатыми аэраторами. Мелкие пузырьки имеют большую суммарную площадь поверхности, что увеличивает скорость растворения кислорода в воде. Выбранный вариант дисковых аэраторов самоочищается, что решает проблему обрастания аэраторов илом.



АО «СНПЗ»: «1 – песколовки; 2 – нефтеловушки; 3 – напорные флотационные установки; 4 – буферный пруд; 5 – колодцы К-37, К-38; 6 – камера смешения К-35; 7 – дозировочный насос; 8 – узел биогенной подпитки; 9 – смеситель С-1; 10 – воздуходувная станция; 11 – аэротенк-смеситель АС-1; 12 – распределительная чаша вторичных отстойников; 13 – вторичные отстойники Евт-1, Евт-2, Евт-3; 14 – насосная станция циркуляции осадка; 15 – установка УФО» [23]

Рисунок 4 – Предлагаемая система биологической очистки сточных вод

Вывод.

Во второй главе описаны процессы нитрификации и денитрификации, которые протекают в аэротенке, проведен патентный поиск технологий уменьшения содержания аммонийного азота в сточных водах нефтеперерабатывающего предприятия, подобран оптимальный вариант модернизации имеющегося на ОАО «СНПЗ» аэротенка путем замены имеющихся крупнопузырчатых трубчатых аэраторов на более эффективные мелкопузырчатые дисковые аэраторы.

Дополняется изложение информации о модуле предварительной очистки сточных вод, включающем в себя конструкции каркасно-засыпных фильтров. Этот модуль выполняет функцию снижения уровня взвешенных частиц в промышленных стоках в качестве этапа очистки воды после вторичных отстойников от взвеси активного ила перед их сбросом в водоем.

3. Расчетная часть

3.1 Расчет размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства

Произведем расчет размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства по «Методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» [13].

Масса вредных веществ определяется по формуле

$$M_i = Q \cdot (C_{\phi} - C_{д}) \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad (3.1.1)$$

где Q – расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения, м³/час;

C_{ϕ} – за период сброса средняя фактическая концентрация вредных (загрязняющих) веществ в сточных водах составила:

- по азоту аммонийному 0,94 мг/дм³, что превышает допустимую концентрацию в 2,35 раза;
- по БПК_{полн} 6 мг/дм³, что превышает допустимую концентрацию в 2 раза;
- по взвешенным веществам 15 мг/дм³, что превышает допустимую концентрацию в 1,5 раза;

$C_{д}$ – допустимая концентрация вредного (загрязняющего) вещества в соответствии с НДС равняется фоновой и составляет:

- по азоту аммонийному 0,4 мг/дм³;
- по БПК_{полн} 3 мг/дм³;
- по взвешенным веществам 10 мг/дм³.

T – время отведения сточных вод в Саратовское водохранилище р. Волги, ч.

«Количество образующихся промышленных сточных вод на Сызранском НПЗ составляет 5990 тыс.м³/год, бытовых 327 тыс.м³/год, бытовые сточные воды от сторонних организаций 29 тыс.м³/год промышленных, 1288 тыс. м³/год бытовых» [23]. Суммарно получаем 7634 тыс. м³/год.

Найдем массу сброшенных вредных (загрязняющих) веществ:

$$M_{\text{азот аммонийный}} = 7364 \cdot 10^3 \cdot (0,94 - 0,4) \cdot 10^{-6} = 3,977 \text{ т/год}$$

$$M_{\text{БПК}} = 7364 \cdot 10^3 \cdot (6 - 3) \cdot 10^{-6} = 22,092 \text{ т/год}$$

$$M_{\text{взвеш.в-ва}} = 7364 \cdot 10^3 \cdot (15 - 10) \cdot 10^{-6} = 36,820 \text{ т/год}$$

Размер вреда рассчитаем по формуле

$$Y = K_{\text{вг}} \cdot K_{\text{в}} \cdot \sum n_{i=1} \cdot H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{ин}}, \quad (3.1.2)$$

где $K_{\text{вг}}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия, равный 1,14;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов), для р. Волга принято 1,41 [13];

H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты, тыс. руб/т;

M_i – масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества, т/год;

$K_{\text{ин}}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект.

Согласно Методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, коэффициент

интенсивности и таксы для исчисления размера вреда от сброса ЗВ, данные представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Данные для расчета размера вреда, причиненного водным объектам [13]

Коэффициенты	Загрязняющие вещества		
	Азот аммонийный	БПК _{полн}	Взвешенные вещества
$K_{ин}$	1	2	1
H_i , тыс. руб/т	280	170	10

Размер вреда по сброшенным загрязняющим веществам составляет:

$$Y_{\text{азот аммонийный}} = 1,14 \cdot 1,41 \cdot 1 \cdot 280 \cdot 3,977 \cdot 1 = 1789,94 \text{ тыс. руб}$$

$$Y_{\text{БПК}} = 1,14 \cdot 1,41 \cdot 1 \cdot 170 \cdot 22,092 \cdot 2 = 12073,63 \text{ тыс. руб}$$

$$Y_{\text{взвеш.в-ва}} = 1,14 \cdot 1,41 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 36,820 \cdot 1 = 591,84 \text{ тыс. руб}$$

Общий размер вреда, нанесенный водному объекту за год, составляет:

$$Y = 1789,94 + 12073,63 + 591,84 = 14455,41 \text{ тыс. руб}$$

Требуется повысить эффективность очистки сточных вод.

3.2 Расчет количества аэраторов

Для определения количества дисковых аэраторов произведем расчет по методике СНиП 2.04.03-85 [27].

Период аэрации t_{atm} , ч, в аэротенках, работающих по принципу смесителей, определяется по формуле

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i \cdot (1 - s) \cdot \rho}, \quad (3.2.1)$$

где L_{en} – «БПК_{полн} поступающей в аэротенк сточной воды (с учетом снижения БПК при первичном отстаивании), по лабораторным данным равно 36 мг/л» [27];

L_{ex} – БПК_{полн} очищенной воды, мг/л;

a_i – «доза ила, г/л, определяемая технико-экономическим расчетом с учетом работы вторичных отстойников, технологическим регламентам» [24] принят от 2,5 до 3,5 г/л, примем 3,0 г/л;

s – зольность ила, принимаемая по СНиП 2.04.03-85 [27], равна 0,3;

ρ – удельная скорость окисления, мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяемая по формуле

$$\rho = \rho_{max} \cdot \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_i \cdot C_0 + L_{ex} \cdot K_0} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i}, \quad (3.2.2)$$

где ρ_{max} – максимальная скорость окисления, мг/(г·ч), принимаемая по СНиП 2.04.03-85 [27], равна 59 мг/(г·ч);

C_0 – «концентрация растворенного кислорода, средняя по лабораторным данным 2 мг О₂/дм³»;

K_i – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, принимаемая по СНиП 2.04.03-85» [27], равна 24 БПК_{полн}/л;

K_0 – «константа, характеризующая влияние кислорода, принимаемая по СНиП 2.04.03-85» [27], равна 1,66 мг О₂/л;

φ – «коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, принимаемый по СНиП 2.04.03-85» [27], равен 0,158 мг О₂/л

$$\rho = 59 \cdot \frac{3 \cdot 2}{3 \cdot 2 + 24 \cdot 2 + 3 \cdot 1,66} \cdot \frac{1}{1 + 0,158 \cdot 3,0} = 4,07 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$$

Период аэрации равен

$$t_{atm} = \frac{36 - 3}{3,0 \cdot (1 - 0,3) \cdot 4,07} = 3,86 \text{ ч}$$

Согласно СНиП 2.04.03-85 [27], продолжительность аэрации во всех случаях не должна быть менее 2 ч., условие соблюдается.

Рассчитаем нагрузку по БПКполн по формуле

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{a_i \cdot (1 - s) \cdot t_{atm}}, \quad (3.2.3)$$

$$q_i = \frac{24 \cdot (36 - 3)}{3,0 \cdot (1 - 0,3) \cdot 3,86} = 97,7 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{сут})$$

Степень рециркуляции активного ила рассчитывается по формуле

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}, \quad (3.2.3)$$

где J_i – иловый индекс, определяется согласно по СНиП 2.04.03-85 [27], примем $130 \text{ см}^3/\text{г}$.

$$R_i = \frac{3,0}{\frac{1000}{130} - 3,0} = 0,64 = 64 \%$$

Согласно СНиП 2.04.03-85 [27], степень рециркуляции активного ила должна быть не менее 30 %. Рассчитанное значение степени рециркуляции соответствует нормативному.

Продолжительность обработки воды в аэротенке определяется по формуле

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \cdot \lg \frac{L_{en}}{L_{ex}}, \quad (3.2.5)$$

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{3,0}} \cdot \lg \frac{36}{3} = 1,56 \text{ ч}$$

Число дисковых аэраторов определим по формуле

$$N_{ma} = \frac{q_0 \cdot (L_{en} - L_{ex}) \cdot W_{at}}{1000 \cdot K_3 \cdot K_T \cdot \left(\frac{C_a - C_0}{C_a} \right) \cdot t_{at} \cdot Q_{ma}}, \quad (3.2.6)$$

где q_0 - удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг снятой БПК_{полн}, по СНиП 2.04.03-85 [27], равен 1,1;

W_{at} – объем сооружения, м³;

K_3 – коэффициент качества воды, принимаемый по СНиП 2.04.03-85 [27], равен 0,85;

K_T - коэффициент, учитывающий температуру сточных вод;

C_a – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л;

Q_{ma} – производительность аэратора по кислороду, кг/ч, принимаемая по паспортным данным 1,5 кг/ч.

Коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, определяется по формуле

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_w - 20), \quad (3.2.7)$$

где T_w – среднемесячная температура воды за летний период, принимается плюс 25 °С;

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (25 - 20) = 1,1$$

Растворимость кислорода воздуха в воде определяется по формуле

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T, \quad (3.2.8)$$

где h_a – глубина погружения аэратора, м;

C_T – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, принимаемая по справочным данным.

$$C_a = \left(1 + \frac{4,1}{20,6}\right) \cdot 5 = 6 \text{ мг/л}$$

Число дисковых аэраторов

$$N_{ma} = \frac{1,1 \cdot (36 - 3) \cdot 6420}{1000 \cdot 0,85 \cdot 1,1 \cdot \left(\frac{6 - 2}{6}\right) \cdot 1,56 \cdot 1,5} = 160$$

3.3 Расчет каркасно-засыпного фильтра

Подбираем однослойный каркасно-засыпной фильтр с нисходящим потоком.

Площадь каркасно-засыпного фильтра (F_ϕ , м²) определим по формуле

$$F_{\phi} = \frac{Q \cdot K}{T \cdot V_{\phi} - 3,6 \cdot n \cdot (W_1 \cdot t_1 + W_2 \cdot t_2 + W_3 \cdot t_3) - n \cdot V_{\phi} \cdot t_4}, \quad (3.3.1)$$

«где Q - производительность очистной станции, 32600 м³/сут;

T - продолжительность работы станции в течение суток, 24 ч;

V_{ϕ} - скорость фильтрования, 6 м/ч;

n - количество промывок каждого фильтра в сутки, 2;

W_1 - интенсивность первоначального взрыхления верхнего слоя загрузки, 0 л/(с·м²);

W_2 - интенсивность подачи воздуха при водовоздушной промывке, 17 л/(с·м²);

W_3 - интенсивность промывки водой, 7 л/(с·м²);

t_1, t_2, t_3 - продолжительность интенсивностей, мин;

t_4 - продолжительность простоя фильтра из-за промывки, принимается равной 0,33 ч.;

K - коэффициент неравномерности, 1,56» [4].

$$F_{\phi} = \frac{32600 \cdot 1,56}{24 \cdot 6 - 3,6 \cdot 2 \cdot (17 \cdot 0,17 + 7 \cdot 0,1) - 1 \cdot 6 \cdot 0,33} = 424,4 \text{ м}^2$$

Рассчитаем необходимое количество фильтров

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot \sqrt{F_{\phi}}, \quad (3.3.2)$$

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot \sqrt{424,4} \approx 10$$

Отсюда следует, что площадь одного фильтра:

$$S_{\phi} = \frac{F_{\phi}}{N_{\phi}}, \quad (3.3.3)$$

$$S_{\phi} = \frac{388,4}{10} = 3,9 \text{ м}^2$$

Подбираем фильтр размером 2×2 м.

Проведем проверку каркасно-засыпного фильтра по форсированной скорости, которая находится в пределах 10-15 м/ч.

$$v'_{\phi} = v_{\phi} \cdot \frac{N_{\phi}}{N_{\phi} - N_p},$$

где N_p - число фильтров в ремонте.

$$v'_{\phi} = 10 \cdot \frac{10}{10 - 1} = 11,1 \text{ м/ч}$$

Рассчитанная формируемая скорость находится в заданном интервале, следовательно, условие выполнено.

Определяем расход, необходимый для промывки фильтра:

$$q_{\text{пр}} = S_{\phi} \cdot W_3$$

$$q_{\text{пр}} = 3,9 \cdot 7 = 27,3 \text{ л/с}$$

Скорость промывки $V_{\text{пр}} = 1,1-1,3$ м/ч. По таблицам Шевелева [29] определяем диаметр трубы, $d_{\text{пр}} = 175$ мм.

Рассчитаем количество отводов от трубы

$$n_{\text{отв}} = \frac{l}{l_{\text{отв}}},$$

где l - длина фильтра, м;

$l_{\text{отв}}$ - расстояние между ответвлениями распределительной системы, принимаем $l_{\text{отв}} = 0,3$ м.

$$n_{\text{отв}} = \frac{2}{0,3} = 7 \text{ шт}$$

Рассчитаем расход воды в каждом отводе

$$q_{\text{отв}} = \frac{q_{\text{пр}}}{2 \cdot n_{\text{отв}}},$$
$$q_{\text{отв}} = \frac{27,3}{2 \cdot 7} = 1,95 \text{ л/с}$$

Скорость воды в отводах $V_{\text{отв}} = 2$ м/ч, по таблицам Шевелева [29] определяем диаметр отвода, $d_{\text{пр}} = 32$ мм.

Суммарная площадь отверстий составит

$$\sum f_0 = \frac{0,25F}{100}.$$
$$\sum f_0 = \frac{0,25F_{\phi}}{100}$$
$$\sum f_0 = \frac{0,25 \cdot 424,4}{100} = 1,06 \text{ м}^2$$

Общее количество отверстий в распределительной системе составит

$$n_0 = \frac{\sum f_0}{f_0},$$

где f_0 - площадь отверстия диаметром 10 мм, $f_0 = 0,78 \text{ см}^2$.

$$n_o = \frac{1,06}{0,0078} = 136$$

Количество отверстий на одном ответвлении составит

$$n'_o = \frac{n_o}{n_{\text{отв}}},$$
$$n'_o = \frac{136}{7} = 20$$

Расстояние между отверстиями составит

$$l_o = \frac{1000 \cdot l_{\text{отв}}}{n'_o},$$
$$l_o = \frac{1000 \cdot 0,3}{20} = 150 \text{ мм}$$

Вывод.

В третьей главе было определен расчет ущерба, причиненного водному объекту вследствие нарушения водного законодательства. Размер вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, составил 14455,41 тыс руб. в год.

Рассчитали, что для организации зоны денитрификации необходимо установить 9 низкооборотных пропеллерных мешалок погруженного типа, для организации аноксидной зоны – 471 шт. дисковых аэраторов.

Произведен расчет каркасно-засыпного фильтра. Установили, что для обеспечения доочистки сточных вод от взвешенных веществ необходимо установить 10 каркасно-засыпных фильтров размером 2х2 м, гравийный каркас имеет высоту 1,8 м, слой кварцевого песка – 0,9 м.

Заключение

Целью выпускной квалификационной работы являлась разработка комплекса мер, направленных на снижение антропогенной нагрузки от сточных вод АО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод», с учетом особенностей производства и современных технологий очистки.

В ходе исследования был проведен качественный и количественный анализ сточных вод, который позволил выявить превышение в очищенных сточных водах, сбрасываемых с Саратовское водохранилище, таких показателей, как аммонийный азот, взвешенные вещества и БПК_{полн}. Размер вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, составил 14455,41 тыс руб. в год.

Анализ научных источников и патентный поиск позволили подобрать технологии модернизации существующей системы очистки сточных вод на заводе для достижения нормативных показателей сбрасываемых в водные источники стоков.

Для снижения содержания в стоках аммонийного азота предлагаем модернизацию существующего аэротенка путем повышения эффективности аэрации. В качестве аэратора аэробной зоны предлагаем использовать отечественные дисковые мелкопузырчатые мембранные аэраторы Акваполимер 350 (изготовитель ООО КСК «Акваполимер», г. Калуга). Предлагаемая замена существующих крупнопузырчатых трубчатых аэраторов на более эффективные мелкопузырчатые дисковые аэраторы позволит повысить скорость аэробных процессов.

Для снижения содержания взвешенных частиц активного ила перед сбросом очищенных сточных вод в водоем предлагаем после вторичных отстойников блок доочистки сточных вод, состоящий из каркасно-засыпных фильтров.

После проведения работ по модернизации системы очистки на предприятии Объединенное акционерное общество «Сызранский нефтеперерабатывающий завод», ожидается, что уровень аммонийного азота в сточных водах снизятся до значений, соответствующих установленным нормам. Как следствие, данные работы повысят качество обработанных стоков будет полностью соответствовать установленным предельно допустимым концентрациям (ПДК) для вод, сбрасываемых в водоемы, используемые в рыбохозяйственных целях. Это будет способствовать улучшению экологической обстановки, а также обеспечению безопасности водоемов.

Таким образом, цель выпускной квалификационной работы достигнута, задачи выполнены.

Список используемых источников

1. Алехина Е. Н. Анализ эффективности очистки сточных вод на предприятии // Проблемы науки. 2019. № 1. С. 14-15.
2. Березин С. Е. Выбор способа регулирования воздуходувок для аэрации сточных вод // Водоснабжение и сан. техника. 2012. № 11.
3. Бычкова О. В. Экологическая биотехнология. Биологическая очистка сточных вод. СПб.: Троицкий мост, 2021. 100 с.
4. Ванжа В. В., Гринь В.Г. Водоотведение и очистка сточных вод. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. 111 с.
5. Дискový аэратор ELEMENT AD. ПАСПОРТ (Инструкция по эксплуатации). https://cdn.vseinstrumenti.ru/instruction/nomenclaturecontent/202312/31245421.pdf/11917913_manual.pdf.
6. Дьякова Н. А., Гапонов С. П., Сливкин А. И. Основы экологии и охраны природы. СПб.: Лань, 2021. 288 с.
7. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: Справочник проектировщика / И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др. Под общ. ред. В.Н. Самохина. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
8. Ким В. С., Большаков Н.Ю. Оптимизация подачи воздуха в аэротенк как основа повышения энергоэффективности работы КОС // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2016. № 2. С. 56-64.
9. Комарова Л. Ф., Сомин В.А. Инженерные методы защиты гидросферы. Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2019. 283 с.
10. Короткоручко Д. Ю. Современные методы очистки сточных вод // Вестник науки и образования. 2021. № 17-1. С. 11-16.
11. Коротченко И. С. Биоремедиация. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. 246 с.

12. Курбатов Н. Е. Принципы целесообразности природных и инженерных решений: монография. Чита: Забайкальский государственных университет, 2020. 238 с.
13. Лопаева Н. Л. Современные технологии очистки сточных вод // Аграрное образование и наука. 2021. № 3. С. 14-18.
14. Методика определения основных технологических параметров сооружений систем водоснабжения и водоотведения, очистки сточных вод и обработки осадка. Раздел 2. Том 2. Водоотведение, очистка сточных вод и обработка осадка. М.: ТКГруппа, 2014. 356 с.
15. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства (в ред. Приказов Минприроды РФ от 31.01.2014 N 47, от 26.08.2015 N 365).
16. Мишуков Б. Г., Соловьева Е.А. Расчет и подбор аэрационного и перемешивающего оборудования для биологической очистки сточных вод. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2007. 40 с.
17. Музафаров Е. Н. Экологическая биотехнология. СПб.: Лань, 2022. 120 с.
18. Опыт совершенствования и оценки эффективности аэрационных систем. <https://myproject.msk.ru/ru/my-project/stati/opyt-sovershenstvovaniya-i-ocenki-effektivnosti-aeracionnyh-sistem/> (дата обращения 20.02.2025).
19. Орехова Н. Н., Гмызина Н.В. Рациональное использование водных ресурсов. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова, 2021. 135 с.
20. Патент № RU197397U1 Блок доочистки сточных вод: заявл. 11.09.2019: опубл. 23.04.2020 / Савицкий Н.Е., Лисицын В.Л., Роденко А.В.; заявитель, патентобладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Гефлис», Общество с ограниченной ответственностью «Полимер». 10 с.

21. Патент № RU2136612C1 Способ очистки сточных вод от аммонийного азота: заявл. 20.03.1996: опубл. 10.09.1999 / Сабирова Т.М., Дербышева Е. К.; заявитель, патентобладатель: Восточный научно-исследовательский углехимический институт. 5 с.

22. Патент № RU2294899C1 Способ биологической очистки бытовых, городских и производственных сточных вод: заявл. 13.09.2005: опубл. 10.03.2007 / Кармазинов Ф. В., Крючихин Е. М.; заявитель, патентобладатель: Государственное унитарное предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга», Закрытое акционерное общество «Креал». 12 с.

23. Патент № RU2570002C1 Способ очистки сточных вод: заявл. 15.08.2014: опубл. 10.12.2015 / Мешенгиссер Ю. М., Царенко А. Н., Смирнов А. В., Есин М. А.; заявитель, патентобладатель: Научно-производственная фирма с ограниченной ответственностью «Экополимер». 5 с.

24. Патент № RU2636708C1 Способ и установка для биологической очистки сточных вод: заявл. 25.11.2016: опубл. 27.11.2017 / Ким В. С., Большаков Н. Ю., Павлов Г. А.; заявитель, патентобладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Джи-Эс-Пи Прожект». 20 с.

25. Патент № RU75186U1 Установка для глубокой биологической очистки сточных вод: заявл. 25.04.2008: опубл. 27.07.2008 / Бушев Д. С., Дремов О. В.; заявитель, патентобладатель: Бушев Д. С., Дремов О. В. 15 с.

26. Постоянный технологический регламент цеха №19 установки БОС. Сызрань. 2018. 10 с.

27. Приказ сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 N 552 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

28. Сизова Е. Н., Шмакова Л. Н., Видякина Е. В. Эколого-эпидемиологический мониторинг сточных вод // Вятский медицинский вестник. 2022. № 2. С. 89-93.
29. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85. введ 01.01.1986. М. Стандартиформ. 2019. 76 с.
30. Сотникова Е. В., Дмитренко В.П., Сотников В.С. Теоретические основы процессов защиты среды обитания. СПб.: Лань, 2022. 576 с.
31. Степанов С. В. Биологическая очистка и доочистка сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий: дисс. ... докт. техн. наук. Самара, 2014. 345 с.
32. Технологический регламент биологических очистных сооружений АО «СНПЗ». Введ. 2016-01-20. Сызрань: АО «Сызранский НПЗ», 2016. 275 с.
33. Хенце М. Биологическая очистка сточных вод. М.: Мир, 2004. 480 с.
34. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справочное пособие / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев, 8-е изд. перераб. и доп. М.: Бастет, 2007. 394 с.
35. Шлёкова И. Ю., Кныш А.И. Сточные воды: состав, свойства, методы и схемы очистки. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2020. 93 с.