

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

Департамент магистратуры

(наименование)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки)

Системы управления производственной, промышленной и экологической
безопасностью

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Реализация инновационных методов в технологии биологических
методов очистки промышленных сточных вод

Студент

Л.В. Барышникова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.б.н., доцент О.В. Мухортова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	5
1 Информационно-аналитический обзор. Постановка задач	9
1.1 Анализ законодательных и нормативных документов, регламентирующих водоочистку и сброс сточных вод в водные объекты.....	9
1.2 Сущность процесса биологической очистки сточных вод	15
1.3 Методы биологической обработки сточных вод и их анализ.....	16
1.4 Анализ условий, определяющих удовлетворительный процесс биологической очистки сточных вод	33
1.5 Информационно-патентный обзор способов интенсификации процесса биологической очистки	43
2 Экспериментальные исследования процессов биологической очистки сточных вод.....	56
2.1 Характеристика технологического процесса очистки сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот»	56
2.2 Оценка эффективности биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» и соответствие нормам сброса.....	68
2.3 Исследования условий удовлетворительного протекания процессов нитрификации-денитрификации	73
3 Предложение совершенствованного метода биологической очистки сточных вод.....	78
3.1 Модернизация технологического процесса биологической очистки в условиях производственной площадки на очистных сооружениях.....	78
3.2 Баланс необходимых питательных веществ в осветлённых сточных водах для обеспечения удовлетворительного функционирования активного ила	85
Заключение	90

Список используемой литературы и используемых источников.....	93
Приложение А Требования к составу и свойствам воды.....	98
Приложение Б Схема очистных сооружений.....	100

Перечень сокращений и обозначений

- БОС – Биологические очистные сооружения
- БПК – биологическое потребление кислорода
- ЛЖК – летучие жирные кислоты
- МБР – мембранный биореактор
- НДС – нормативы допустимых сбросов
- ПДК – предельно-допустимая концентрация
- ПДС – предельно-допустимые сбросы
- РФ - Российская Федерация
- ХПК – химическое потребление кислорода

Введение

Актуальность темы. Рациональное использование природных ресурсов и, в частности, рациональное использование пресной воды в настоящее время является одной из обсуждаемых проблем современности. Очистка сточных вод на промышленных предприятиях в соответствии нормам сброса загрязняющих веществ в природный водоём представляет необходимый производственный процесс. Большинство очистных сооружений России используют сильно устаревшие технологии, которые не позволяют должным образом очищать стоки от органических загрязнений и биогенных элементов. Ужесточение требований, повышение обязательной платы за нормативный сброс и платы за сброс загрязняющих веществ, сверх установленных лимитов, значительно влияют на мнение водопользователей при выборе методов в технологии очистки сточных вод. Преимущественными направлениями в решении сложившейся проблемы являются сокращение сбросов сточных вод в водоёмы, внедрение технологий глубокой очистки (удаление биогенных элементов) и повышение качества очистки сточных вод. Решение данных проблем позволяет достичь качества сточных вод в соответствии нормам сброса, минимизировать отрицательное воздействие на биосферу, исключить плату за сброс загрязняющих веществ, сверх установленных лимитов.

Объект исследования: очистные сооружения ПАО «Тольяттиазот».

Предмет исследования: технологический процесс биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот»

Цель исследования: совершенствование метода биологической очистки сточных вод для очистных сооружений «Тольяттиазот», который обеспечит высокую степень извлечения биогенных загрязнений и минимальные негативные воздействия на экосистему.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать методы биологической очистки сточных вод с достижением качества очистки смеси промышленных и хоз-бытовых сточных вод от биогенных загрязнителей (нитратов) до нормативных показателей;
- исследовать благоприятные условия для удовлетворительного функционирования активного ила и улучшения седиментационных свойств в процессе биологической очистки и разработать технологические решения для создания необходимых условий.

Теоретико-методологическую основу исследования составляют нормативно-правовые документы, регулирующие деятельность по охране поверхностных и подземных вод, результаты теоретических исследований отечественных и зарубежных авторов по вопросам водоочистки, опыт по внедрению современных технологий биологических методов на станциях очистных сооружений, патенты на изобретение в области совершенствования методов биологической очистки.

Методы исследования: экспериментальные методы исследований сточных вод в лабораторных условиях и сопоставление результатов с проектом нормативов допустимых сбросов.

Опытно-экспериментальная база исследования основана на базе ПАО «Тольяттиазот».

Научная новизна исследования заключается в разработке усовершенствованного метода биологической очистки за счёт введения дополнительной зоны денитрификации и интенсификации зоны нитрификации путём внедрения инновационных методов аэрации.

Выявлены аспекты, обуславливающие превышение норматива очищенных сточных вод по содержанию загрязняющих веществ (азот нитратный, взвешенные вещества) на исследуемых очистных сооружениях.

Рассмотрены условия, определяющие удовлетворительный процесс биологической очистки сточных вод. Разработана схема подачи органических реагентов от узла приготовления и дозирования на участке

биологической очистки для создания удовлетворительных условий функционирования активного ила и достижения оптимального соотношения органических веществ и биогенных элементов в сточных водах.

Определены технические решения, выполнение которых позволит получить на выходе с очистных сооружений стабильные данные о качестве сточной воды в соответствии с критериями сброса сточных вод в водоём рыбохозяйственного назначения и проектом НДС.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что на основе проведённого исследования выявлены основные причины несоответствия нормам сброса очищенных сточных вод на большинстве очистных сооружений и последствия нарушений на экосистему.

Практическая значимость исследования: Разработано технологическое решение для биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» с достижением качества очистки до нормативных требований. Определены основные условия, влияющие на процесс биологической очистки сточных вод.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные положения:

- оценка качества очистки сточных вод после модернизации участка биологической очистки на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» с выделением зон с различными кислородными режимами и внедрением инновационных методов аэрации;
- количественные показатели загрязняющих веществ в очищенных сточных водах до проведения исследования и после модернизации;
- создание благоприятных условий для удовлетворительного функционирования активного ила за счёт необходимого количества и оптимального соотношения органических веществ и биогенных элементов в сточных водах;
- предложенные технологические решения рекомендованы для применения очистки сточных вод на очистных сооружениях с

аналогичным технологическим процессом и загрязняющими веществами.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-практических семинарах кафедры «Управление промышленной и экологической безопасности». Также достигнута за счет использования официальных данных и работы на данном предприятии.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации. По проблемам водоочистки, рассматриваемым в диссертации, автором опубликованы статьи в изданиях, рекомендованных ВАК: докладывались и обсуждались на научно-практических семинарах кафедры. И также в опубликованной статье в международном научном журнале «Молодой ученый» (№6 (348), февраль 2021 г).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка использованной литературы, приложений. Основная часть исследования изложена на 97 страницах, текст иллюстрирован 4 таблицами, 18 рисунками, 2 приложения, использовано 40 источников.

1 Информационно-аналитический обзор. Постановка задач

1.1 Анализ законодательных и нормативных документов, регламентирующих водоочистку и сброс сточных вод в водные объекты

Биосфера нашей планеты устроена таким образом, что практически никакой биологический организм не может жить без воды. Она играет важную роль в жизнедеятельности растений, животных, людей. Очевидна и исключительная роль воды в сельском хозяйстве, практически все производственные технологические процессы в промышленности требуют затрат большого количества воды. Потребности в воде постоянно растут.

Осложняется ситуация тем, что человек испытывает потребность именно в пресной воде, объём которой составляет всего лишь 3% от общего объёма водных ресурсов на планете. При этом основная масса пресной воды локализована в ледниках и снежных покровах. В настоящее время мы не можем использовать эти запасы для своих нужд и поэтому рассматриваем их только в качестве потенциальных источников воды. Континентальные же пресные воды составляют всего лишь 1% от общего объёма.

Запасы пресной воды распределены на территориях материков неравномерно и зачастую используются нерационально. Наша страна «владеет 22% мировых запасов пресной воды, поэтому особое внимание должно быть уделено использованию и сохранению этого потенциала, от которого зависит не только жизнь граждан России, но и жизнь всей планеты, будущее всего мира. Остроты проблеме нехватки воды добавляет и то, что восполнение водных ресурсов не происходит. По мнению американских экспертов, к 2040 году в мире возникнет нехватка пресной воды» [1, с. 74].

Другой очень важной проблемой, помимо увеличения расхода пресной воды, является ее загрязнение вредными и токсичными веществами. Индустриальная деятельность сопровождается образованием многообразных

по химическому составу сточных вод. Для большинства предприятий характерно превышение лимитов разрешённых выбросов и нормативов ПДК. Это приводит к загрязнению водных ресурсов на нашей планете, возникает реальная угроза уничтожения водоемов – озер, рек и даже морей.

В данной ситуации правительства многих стран повышают требования к качеству сточных вод, уделяют особое внимание контролю приема производственных сточных вод в систему канализации и сбросу очищенных стоков в природные водоёмы. Промышленные предприятия, в свою очередь, несут издержки на оплату штрафов за сброс сточных вод ненадлежащего качества.

Самые серьёзные условия критически влияют на мнение пользователей водоочистительных систем в ходе выбора конкретных технологий для очищения сточной воды. Совершенно понятно то, что между научными разработками и инновационными технологиями существует взаимосвязь, что объединено в качественных и количественных показателях будущей очистной системы. Также важна выработка единых стандартов и репродуктивного использования системы.

Каждый год российские водоёмы пополняются сточными водами общим объёмом 52,1 км³, почти половина из которых должна быть очищена для нормально функционирования в дальнейшем. Правда, только 10% из всего объёма проходят тестирование и могут попасть в стоки водоёмов, около 70% в результате исследования обнаруживаются загрязнёнными, либо недостаточно чистыми для дальнейшего использования, около 20% - самые грязные воды. Такие цифры не преувеличены, они объясняются деятельностью ЖКХ-сферы, которые используют устаревшие технологии очистки и не могут очищать воду должным образом от азотосодержащих и фосфатов. «Современная» техника и технологии на таких сооружениях крайне старые и изношенные [8].

В связи с этим в 2012 году была принята федеральная программа по борьбе с загрязнением сточных вод, которая получила название «Развитие

водохозяйственного комплекса РФ в 2012-2020 годах» [32]. Её содержание гласит о необходимости модернизации очистных сооружений и внедрения на них новейших технологий очистки воды и замены в целом старых элементов, уже давно изношенных, на более новые. Важнейшими задачами программы обозначены совершенствование технологии глубокой очистки и выведения вредных биоэлементов, реконструкция ветхих сооружений, а также нормализация и оптимизация энергетических затрат на очистные операции. Важнейшей задачей является создание условий для последовательной автоматизации всего процесса.

Присутствие в сточных водах соединений азота и фосфора приводит к массовому развитию в водоемах планктона, водорослей, появлению запахов и привкусов в воде, нарушению кислородного баланса и норм, создают дополнительные трудности при очистке воды водоемов для хозяйственно-питьевых и производственных целей.

В этих условиях периодически проводится реформирование природоохранного законодательства, ужесточаются требования к качеству сточных вод, уделяется особое внимание контролю приема производственных сточных вод в систему канализации и сбросу очищенных стоков в природные водоёмы.

К основным нормативно-правовым документам, регулирующим деятельность по охране поверхностных и подземных вод можно отнести:

- Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 08.12.2020) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021);
- Федеральный закон РФ № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 30 декабря 2020 года) (редакция, действующая с 1 января 2021 года);
- Федеральный Закон Российской Федерации от 7 дек. 2011 г. № 416-ФЗ О водоснабжении и водоотведении (с изменениями на 19 декабря 2019 года);
- Приказ Минприроды Российской Федерации от 17 декабря 2007 г. №

333 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей (с изменениями на 15 ноября 2019 года)»;

- Постановление правительства РФ от 19.04.2012 № 350 «О федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах" (с изменениями на 20 мая 2020 года)»;
- Приказ Федерального агентства Росрыболовства от 18.01.2010 №20 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения";
- "Порядок организации разработки и утверждения ПДК и ОБУВ загрязняющих веществ в воде рыбохозяйственных водных объектов" (утв. Роскомрыболовства 14.08.1995 № 12-04-11/454).

Водное законодательство и изданные в соответствии с ним нормативные правовые акты основываются на следующих основных принципах:

- значимость водных объектов в качестве основы жизни и деятельности человека. Регулирование водных отношений осуществляется исходя из представления о водном объекте как о важнейшей составной части окружающей среды, среде обитания объектов животного и растительного мира, в том числе водных биологических ресурсов, как о природном ресурсе, используемом человеком для личных и бытовых нужд, осуществления хозяйственной и иной деятельности, и одновременно как об объекте права собственности и иных прав;
- приоритет охраны водных объектов перед их использованием. Использование водных объектов не должно оказывать негативное воздействие на окружающую среду;

- «сохранение особо охраняемых водных объектов, ограничение или запрет использования которых устанавливается федеральными законами;
- целевое использование водных объектов. Водные объекты могут использоваться для одной или нескольких целей;
- приоритет использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения перед иными целями их использования. Предоставление их в пользование для иных целей допускается только при наличии достаточных водных ресурсов» [30].

Постоянно осуществляется государственный мониторинг водных объектов в целях своевременного выявления и прогнозирования негативного воздействия вод, а также развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработки и реализации мер по предотвращению негативных последствий этих процессов. Проводятся регулярные наблюдения со стороны государства за состоянием водных объектов, количественными и качественными показателями состояния водных ресурсов. Промышленные предприятия, в свою очередь, несут издержки на оплату штрафов за сброс сточных вод ненадлежащего качества. Ужесточение требований в сфере охраны ресурсов и окружающей среды (нормы сброса, налоги и т.д.) значительно влияют на мнение водопользователя при выборе методов в технологии очистки сточных вод. Становится очевидной необходимость применения инновационных, научно-обоснованных технологий в водоочистке.

Для объектов, «которые сбрасывают сточные воды, устанавливаются нормативы предельно допустимых сбросов веществ в водные объекты (ПДС). Данные нормативы утверждаются специально уполномоченными органами по охране окружающей природной среды после согласования с органами и учреждениями государственной санитарно-эпидемиологической службы» [4, с. 291].

Разрабатываются нормативы ПДС веществ, сбрасываемых со сточной

водой, в соответствии с «Методикой разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей», утверждённой Приказом Министерства природных ресурсов РФ от 17 декабря 2007 года № 333 [31]. Данная методика согласована с Государственным комитетом Российской Федерации по рыболовству, Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации и Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору.

Перечень нормируемых веществ формируется на основе исходных данных о применении веществ на конкретном предприятии и анализе качества исходной и сточных, в том числе дренажных вод. Перечень нормируемых веществ организаций, осуществляющих водоотведение, также должен включать вещества, принимаемые со сточными, в том числе дренажными водами, абонентов.

Расчетное значение норматива допустимого сброса непосредственно связано с величиной норматива качества вод водных объектов. Нормативы качества воды разрабатываются для условий питьевого, хозяйственно-бытового и рыбохозяйственного водопользования, определяемых в соответствии с действующим законодательством [5].

Нормирование качества воды выполняется в соответствии с химическими, физическими, биологическими (в том числе микробиологическими и паразитологическими) и другими показателями состава и свойств воды водных объектов [34]. Эти показатели определяют пригодность воды для конкретных целей водопользования и/или устойчивого функционирования экологической системы водного объекта в соответствии со статьями 20 и 21 Федерального закона от 10 января 2002 года N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [28].

Требования к качеству воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного

водопользования указаны в "СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы" (Приложение А) [29].

Разработка величин ПДС для действующих предприятий может осуществляться как самим предприятием-водопользователем, так и проектной организацией.

1.2 Сущность процесса биологической очистки сточных вод

«К основным методам очистки сточных вод относятся механические, физико-химические, химические и биологические (биохимические) способы очистки сточных вод. Каждый из этих методов обеспечивает удаление из сточных вод определенных видов загрязнений. Для осуществления комплексного метода очистки сточных вод строятся специальные очистные сооружения, обеспечивающие на выходе качество стоков согласно требуемым нормам сброса загрязняющих веществ в природный водоём» [1, с. 73]. Типичные этапы очистки сточных вод можно представить в виде схемы, изображённой на рисунке 1.



Рисунок 1 – Типичные этапы схемы очистки сточных вод

Выбор методов очистки сточных вод и определение состава сооружений представляет собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от многих факторов: расхода сточных вод и мощности водоёма, расчёта необходимой степени очистки, рельефа местности, характера

грунтов, энергетических затрат и др. [7].

«Биологические методы многие учёные признают наиболее действенным в сфере очистительных систем сточных вод. Он позволяет быстро очищать водоёмы и сточные системы от природных загрязнителей, азотосодержащих и фосфатных соединений, а также неорганических смесей, которые пагубно влияют на экологию» [5, с. 34].

Биометод является не более чем сочетание естественных очистительных элементов микроорганизмов и природных явлений, на которых и основана вся система. Представленные способы основаны, как правило, на действии бактерий, полезных бактерий для воды, а также других микроорганизмов, которые в сточных водах находят для себя ряд питательных элементов и благодаря их деятельности производится очистка водоёмов. Важно упомянуть, что органические соединения во взаимодействии с микроорганизмами превращаются в обычные продукты, например, CO_2 и дополнительные источники биологической массы.

Биологические методы очистки сточных вод можно разделить на методы обработки свободной биомассы и методы с фиксированными культурами.

1.3 Методы биологической обработки сточных вод и их анализ

1.3.1 Биологические пруды

Биологические пруды – это неглубокие искусственно созданные или естественные водоемы, в которых очистка сточных вод идет под воздействием природных процессов самоочищения. В России биологические пруды были предложены впервые в 1913 году профессором Строгановым С.Н., и стали активно использоваться в 80-е годы на очистных сооружениях животноводческих предприятий. Это достаточно простой способ очистки, не требующий подключения электроэнергии и имеющий небольшую стоимость строительства, применяется в сезонно действующих объектах (детских

оздоровительных лагерях, турбазах, пансионатах и т.п.).

В биологических прудах необходимо присутствие водных растений, которые оказывают благоприятное воздействие на процессы водоочистки. Рекомендуется занимать растительностью примерно 1/3 головной части пруда. Водные растения и фитопланктон способствуют снижению количества биогенных элементов в стоках, играют значительную роль в кислородном режиме, усиливают процессы окисления и нитрификации. «При очистке сточных вод в биологических прудах происходит также удаление нерастворимых осадков свинца, железа, марганца и кадмия. Также наблюдается удаление из воды взвешенных веществ, ртути, хрома и меди, снижение концентрации нефтепродуктов, почти полное удаление фекальных E-coli бактерий» [2, с. 55].

При соблюдении экологической безопасности и при «благоприятных климатических условиях даже простое пребывание сточной воды в биологических прудах улучшает её качество. Существенное снижение содержания ионов аммония – наиболее критичного для этой системы показателя из-за высокого его содержания в исходной воде до 3-4 мг/л. Это обеспечивается прохождением в биологических прудах процессов биологической нитрификации и окислением ионов аммония до нитритов и нитратов [9].

Повышенное содержание ионов аммония является причиной биологической нестабильности воды. Это приводит к развитию в местах водовыпуска процессов биологической нитрификации, появлению биообрастаний и коррозии труб, а также к возникновению неприятных привкусов и запахов в воде.

Биологические пруды имеют несколько значительных недостатков, которые ограничивают их применение: большая занимаемая территория, сезонность работы, низкая окислительная способность, неуправляемость процесса очистки, наличие зон застоя, сложность очистки от ила и грязи. Биологические пруды наиболее уместно использовать при наличии

непригодных земель для сельского хозяйства, благоприятных топографических условий и наличия вблизи водоема с чистой водой, которую можно использовать для разбавления сточной воды.

Биологические пруды нецелесообразно использовать при очистке производственных сточных вод промышленных предприятий.

1.3.2 Реакторы с активным илом

«Наибольшее распространение на сегодняшний день получили аэротенки- резервуары, где процесс биологической очистки загрязняющих веществ осуществляется при непосредственном контакте сточных вод с оптимальным количеством организмов активного ила в присутствии необходимого количества растворённого кислорода в течение установленного периода времени. Этот метод относится к методу обработки сточных вод с использованием свободной биомассы. Активный ил представляет собой искусственно выращенный биоценоз, населённый гелепродуцирующими бактериями гетеротрофами, хемотрофами, простейшими и многоклеточными животными, которые трансформируют загрязняющие вещества и очищают сточные воды в результате биосорбции, биохимического окисления, выедания бактерий и простейших» [19, с. 50].

Система обработки сточных вод активным илом состоит из трёх основных элементов:

- реактор, называемый аэротенком, где процесс очистки осуществляется при непосредственном контакте сточных вод с оптимальным количеством организмов активного ила;
- вторичный отстойник, в котором происходит отделение ила от воды;
- устройство для рециркуляции активного ила, которое обеспечивает его возвращение в аэротенк после осаждения во вторичном отстойнике. Упрощённая схема системы сооружений с активным илом представлена на рисунке 2.

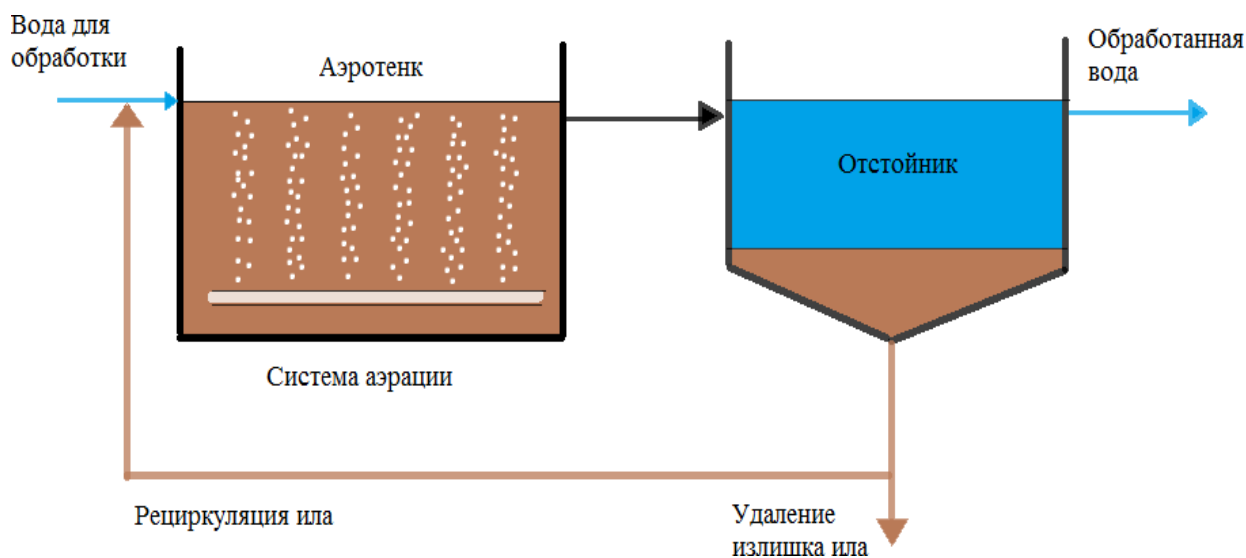


Рисунок 2 – Упрощённая схема системы сооружений с активным илом

Необходимо увязать параметры процесса биологической очистки, такие как размер воздухонагревателя, количество вредных организмов, время взаимодействия сточной воды с активной частью иловой смеси. Важно отметить, что свойства седиментации должны соотноситься с возможностями очистных нормально выполнять свои функции по очистке сточной воды на определённом временном промежутке.

В основном вентиляционный резервуар является резервуаром в виде прямоугольника с сечением, через который проходят воды, перемешанные с потоками грязи.

Используемые конструктивные клапаны делятся на три основные категории в зависимости от типа подачи сточной воды, её передвижения по реактору: рассеянные клапаны, либо контрольное распространение и сбрасывание сточной воды, при учёте поршневого потока для очистки и использования стороннего оборудования для нормального хода промежуточных процессов.

Воздушные смесители характеризуются одинаковой концентрацией микроорганизмов, растворенного кислорода и субстрата, остающегося в любой точке резервуара. Поступающие сточные воды и активный ил

немедленно распределяются в резервуаре, где очистные работы проводятся с равномерной скоростью. Преимуществом вентиляционного резервуара смесителя является его определенная устойчивость при перегрузках и разливах шквала токсичных веществ. Этот тип вентиляционного резервуара лучше всего использовать очистку высокоёмких сточных вод в промышленных зонах, подобных сточным водам своим составом. В то же время низкая концентрация субстрата, доступного активным иловым микроорганизмам в их среде, способствует росту нитевидных бактерий, что вызывает набухание ила.

ВПЛ включают вентиляционные резервуары, состоящие из одного или нескольких проходов, разделенных продольными секциями, которые не доходят до одной из торцевых стенок. На концах резервуара имеются входные и выходные сточноводные каналы. Сточные воды и переработанный осадок подаются на вход вентиляционного бака. Концентрация субстрата в сточных водах и потребность активного ила в кислороде изменяются по ходу его течения, в начале вентиляционного бака - процесс окисления идет быстрее, а при уменьшении приближения к выходу и субстрату-медленнее.

Баки с топливом расходуются в основном на очистных сооружениях, очистных сооружениях для взрослых, которые содержат большую часть стандартной промышленной классификации.

Поскольку существует большая нагрузка загрязнения в активной зоне реактора, рост большинства бактерий и ограниченных нитей, при условии, что концентрация растворенного кислорода достаточна, увеличивает классификацию ила.

Технологическая схема потока сточных вод вентиляционного резервуара приведена на рисунке 3. Следуя представленной на указанной схеме, можно отметить, что поступление сточной воды идет через канал в рециркуляционный вал, где происходит процесс ее очистки и через выводной канал происходит уже результат очистки сточной воды в виде иловой смеси и очищенной воды по разным каналам.

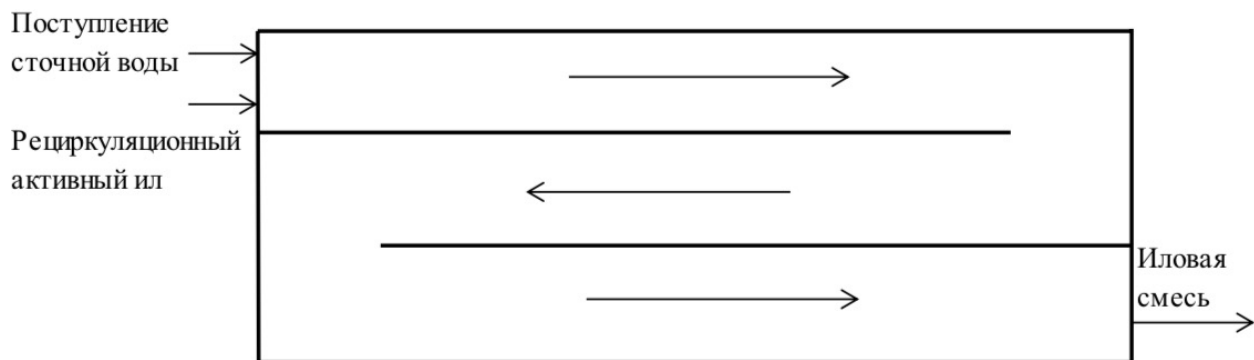


Рисунок 3 – Схема движения сточных вод в трёхкоридорном аэротенке вытеснителя

К аэротенкам промежуточного типа можно отнести коридорные аэротенки с подачей сточных вод, рассредоточенной по длине коридора, и с поступлением активного ила в начале коридора. В результате потребность в кислороде и массовая нагрузка распределяются гораздо лучше, чем в аэротенке-вытеснителе. Концентрация активного ила уменьшается от начала аэротенка к выходу из него таким образом, что при одной и той же концентрации взвешенных веществ на входе в осветлитель масса ила в аэротенке промежуточного типа выше, чем в аэротенке-вытеснителе.

Для удаления соединений азота в аэротенках следует предусматривать специальные мероприятия, в том числе:

- выделять отдельные зоны с аэрацией и без аэрации (аноксидные зоны), обеспечивая рециркуляцию иловой смеси в последней зоне (и/или возвратного ила), содержащей нитраты, образованные в аэробных зонах;
- обеспечивать периодическое чередование аэробных и анаэробных условий;
- обеспечивать необходимые окислительно-восстановительные условия путем поддержания оптимальной концентрации растворенного кислорода;
- концентрацию растворенного кислорода для одновременного

протекания аноксидных и аэробных процессов.

1.3.3 Биореакторы последовательного действия

«В мировой практике биологической очистки широкое применение нашли биореакторы последовательного действия, более известные под английским названием sequencing batch reactors (SBR). Этот способ также относится к способу обработки сточных вод с использованием свободной биомассы. Процесс биологической очистки сточных вод происходит в одном реакторе с полным перемешиванием, в котором последовательно производится аэрация, а затем осветление. Отстаивание ила осуществляется во время остановки аэрации, а для удаления отстоявшейся воды используют устройство для слива. Каждая стадия обработки реализуется через заранее определённые интервалы времени и составляют полный цикл обработки сточных вод» [19, с. 52].

Типичный SBR-цикл состоит из пяти последовательных фаз:

Фаза наполнение – подача сточной воды в реактор и аккумуляция субстрата в нём. В этой фазе без аэрации и перемешивания происходит денитрификация и некоторое обратное растворение фосфора. Этим достигаются хорошие седиментационные свойства ила.

Фаза аэрации (нитрификации), где происходит насыщение активного ила растворённым кислородом и окисление органических веществ. Сточные воды в этой фазе не поступают, и происходит чистый процесс нитрификации.

Фаза осветления – после отключения аэрации начинается осаждение активного ила. Фаза декантирования, где по истечении установленного времени седиментации активного ила осуществляется выпуск очищенной воды.

Фаза отстаивания, во время которой возможен отвод избыточного активного ила из системы для поддержания необходимой пропускной способности. Возможно осуществлять отвод избыточного ила также в процессе других фаз цикла.

На рисунке 4 приведена схема одного типичного SBR-цикла.

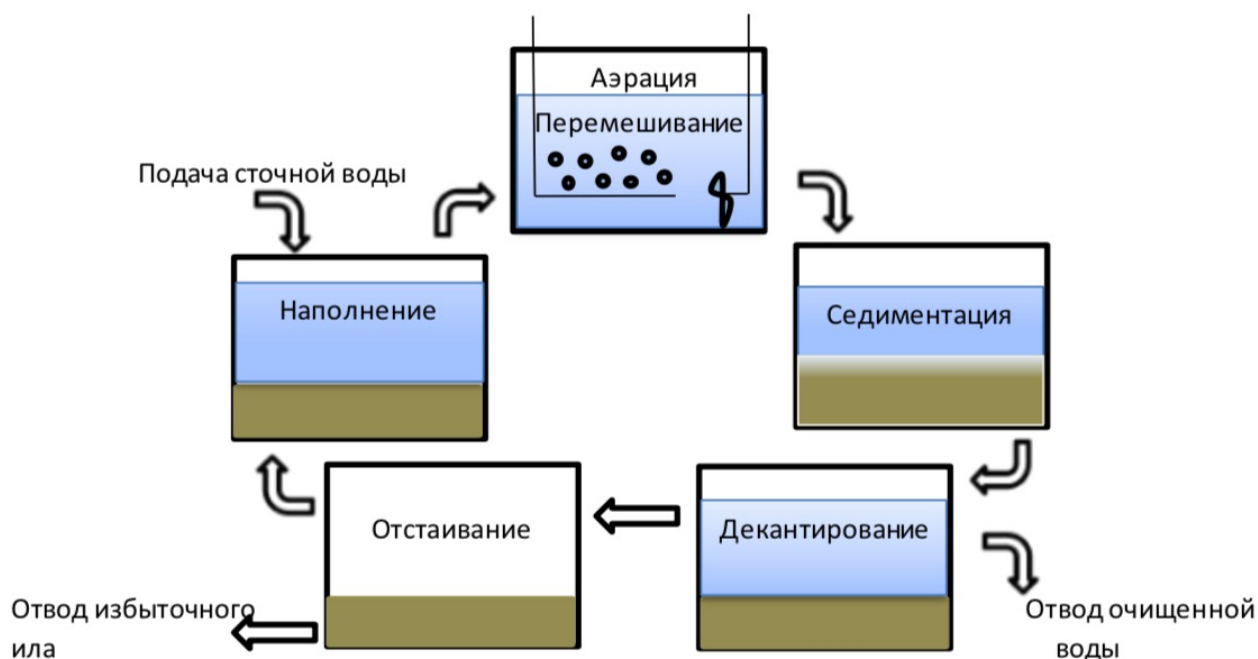


Рисунок 4 – Схема типичного SBR-цикла

Длительность цикла зависит от концентрации поступающих сточных вод, и может продолжаться от 4 до 12 часов. Так как подача сточных вод и отвод очищенной воды осуществляется периодически в одном таком биореакторе, для безостановочной работы очистных сооружений требуется не менее четырёх реакторов.

«В связи с необходимостью удаления биогенных элементов в 90-е годы технология SBR была усовершенствована с помощью устройства анаэробной фазы, предназначенной для биологического удаления фосфора. Разработаны технологии SBR с гранулированным активным илом, а также с прикреплённым активным илом» [2, с. 189]. Бельгийскими специалистами был разработан SBR реактор типа LUCAS, который является смесью проточного и циклического аэротенка, исключая недостатки проточного аэротенка и стандартного циклического реактора при одновременном использовании их преимуществ.

Основное преимущество биореакторов последовательного действия заключается в том, что все процессы очистки осуществляются в одном реакторе, что позволяет регулировать продолжительность фаз в зависимости

от концентрации загрязняющих веществ в сточных водах для достижения очистки сточных вод до нормируемых показателей. Отсутствие вторичных отстойников и установки рециркуляции ила ведёт к простоте и компактности конструкции. Также этот метод биологической очистки устойчив к колебаниям расхода и залповым выбросам сточных вод с высокой концентрацией загрязняющих веществ.

Эффективность работы биореакторов последовательного действия зависит от надёжности автоматических систем управления, что необходимо учитывать при внедрении данной технологии на станциях очистных сооружений.

К недостаткам также относится сложная и усиленная сеть распределения воздуха, поскольку время аэрации в каждом реакторе ограничено.

Возможен и риск появления плавающих примесей и как следствие необходимость в специальных устройствах для их удаления.

1.3.4 Мембранные биореакторы

Одна из самых передовых и динамично развивающихся технологий в последнее время – это технология мембранного биологического реактора (МБР). МБР сочетает в себе биологическую обработку активным илом с механической мембранной фильтрацией, представляющей собой физический барьер с размерами пор от 0,5 мкм до 10 нм. Мембранные биореакторы используются для разделения иловой смеси и являются хорошей альтернативой широко применяемому методу осаждения активного ила во вторичных отстойниках, используемого в традиционных системах биологической очистки.

При очистке сточных вод с применением мембранных биореакторов можно добиться достаточно высокого качества очищенных вод для сброса их в естественные водоемы или же использовать в системе орошения. Мембраны также служат барьером против патогенов, таких как яйца гельминтов, бактерий и даже вирусов [35]. Также к преимуществам системы

очистки с использованием мембранных биореакторов можно отнести: компактный размер, что приводит к сокращению строительных работ при модернизации старых очистных сооружений; возможность работы систем мембранных биореакторов при более высокой концентрации активного ила; исключение выноса активного ила в очищенные воды благодаря особенностям фильтрации с помощью мембран. Стандартная схема процесса очистки воды, происходящего в мембранных биореакторах представлена на рисунке 5.

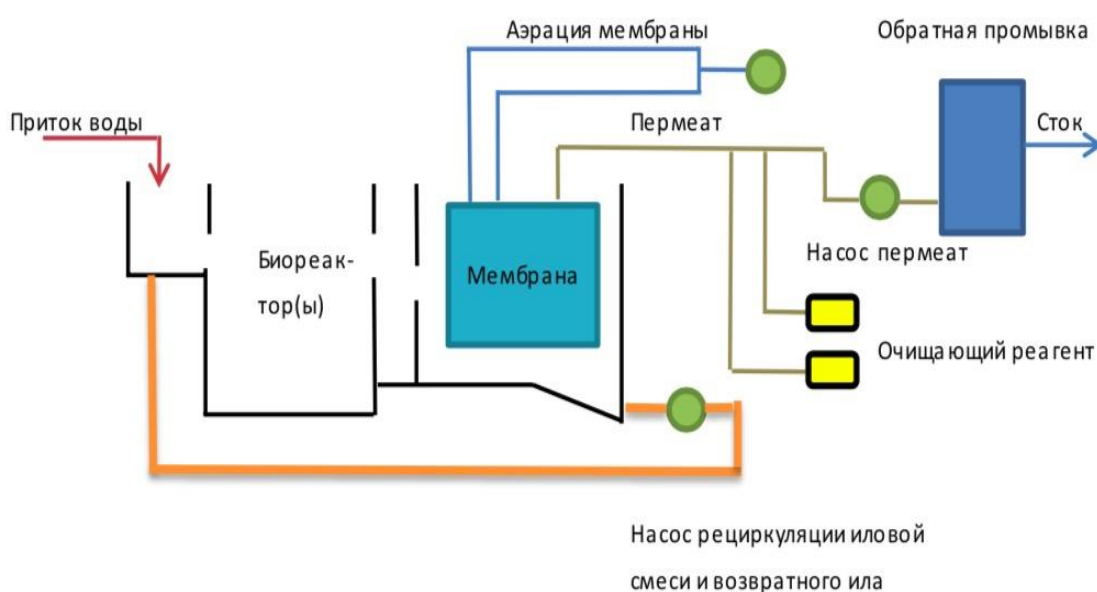


Рисунок 5 – Стандартная схема процесса МБР

В основу действия мембранных биореакторов положен синтез биотехнологии и технологии разделения водных суспензий на ультрафильтрационных полимерных мембранах. Система мембранного биореактора состоит из аэротенка и мембранного модуля, оборудованного полуволоконными ультра- или микрофильтрационными мембранами. Мембранные биореакторы подразделяются на две большие группы: биореакторы с внешними мембранами, расположенными снаружи аэротенка и биореакторы с погружными мембранами, расположенными

непосредственно в аэротенке.

«Обрабатываемые сточные воды поступают в аэротенк. Иловая смесь, находящаяся в аэротенке, циркулирует через мембранный модуль. Фильтрация жидкости происходит при прохождении воды через мембрану с наружной поверхности волокна к внутренней, благодаря разнице давления, создаваемой отсасывающим насосом» [4, с. 306]. Отсутствие вторичного отстойника позволяет увеличить концентрацию биомассы до 6-12 мг/л. В результате при эквивалентной нагрузке появляется возможность уменьшить размер аэротенка в 2-4 раза по сравнению с аэротенком с использованием классического активного ила.

Малый размер пор волокон мембран является физическим барьером для проникновения организмов активного ила, имеющих размер более 0,5 мкм, что позволяет полностью отделить активный ил от сточной воды и снизить концентрацию взвешенных веществ в очищенной воде до 1 мг/л и менее.

Основная задача биологической очистки, происходящей в мембранных установках, нацелена на снижение количества растворённых форм азота и фосфора. Для этого используются наиболее совершенные схемы денитрификации и дефосфотирования – схемы Кейптаунского университета, г. Йоганнесбург, с отдельной предварительной денитрификацией возвратного ила, с предварительным подбраживанием загрязнений в сточных водах и в осадке первичных отстойников. Для достижения низкой концентрации фосфатов включают коагуляцию иловой смеси солями алюминия и железа [40, с. 48].

Примером успешной реализации технологии МБР служит проект URA, управляющей организации водоочистных сооружений в коммуне Бассюссари, по обновлению водоочистных станций, представленной на рисунке 6. Производительность старых станций из-за роста населения стала недостаточной и возникла необходимость в её увеличении. Решением для объекта в Бассюссари стал мембранный биореактор Альфа Лаваль,

выполненный на базе технологии Hollow Sheet. Внедрение данной технологии обеспечило возможность продавать очищенную воду для полива полей для гольфа, принадлежащих отелям, и получение высокого качества сбрасываемых сточных вод. Этот результат очень важен, так как очищенные воды сбрасываются в реку, которая служит ресурсом для производства питьевой воды. Полученный уровень параметров очищенных вод, таких как БПК, ХПК, азот, фосфор, не превышает допустимый, а взвешенные вещества полностью отсутствуют.



Рисунок 6 – Водоочистная станция с мембранным биореактором в Бассюсари, Франция

К тому же мембраны Hollow Sheet просты в установке и в обслуживании. В мембранах Альфа Лаваль используется сила гравитации, за счёт этого снижается давление по всей поверхности, что ведёт к минимальному накоплению отложений. Мембраны можно очистить на месте с помощью хлорсодержащих средств, не извлекая из установки.

Осложнения в работе мембранных установках в биореакторах обусловлены биообрастанием поверхности и образованием нерастворимых плёнок. Кроме того, на поверхности мембран появляются минеральные отложения, состоящие главным образом из солей кальция и магния, а также железа и алюминия. Минеральные отложения зависят от состава сточных вод, поступающих на обработку и используемых реагентов. Хотя для предотвращения зарастания мембран используются разные типы специальной промывки (обратная промывка, чистка реагентами, регенерация), для нормального функционирования мембранного биореактора очень важен этап предварительной обработки сточной воды, т.е. механическая очистка. В дополнение к тщательному удалению песка и масел необходимо эффективное процеживание. Из этого следует, что при выборе технологии МБР, особенно на старых водоочистных станциях, необходима реконструкция сооружений механической очистки и внедрение новых технологий на этом этапе.

1.3.5 Орошаемые биофильтры

Орошаемые биофильтры уже около 100 лет используются для биологической очистки городских и производственных сточных вод. Орошаемые биофильтры являются биологическими реакторами с прикреплёнными культурами микроорганизмов, развивающихся на поверхности не погружённого в воду контактного материала. В настоящее время наибольшее распространение получили орошаемые биофильтры с пластиковыми загрузками круглой, восьмиугольной или прямоугольной формы. Загрузка в фильтрах поддерживается решётками, либо системой арматуры для того, чтобы не допустить заиливание фильтра и способствовать в нём циркуляции воздуха. Прошедшая фильтрацию сточная вода поступает во вторичный отстойник для отделения осадка, который образовался во время обработки. Часть сточной воды после фильтрования из вторичного отстойника возвращается на вход биофильтра для обеспечения смачивания биоплёнки на загрузке и для разбавления сточных вод,

поступивших только на обработку.

Орошаемые биофильтры используются для очистки воды от углеродных загрязнений, нитрификации, для удаления БПК. Также данные биофильтры применяются для третичной нитрификации на стадии доочистки.

Принимая во внимание чувствительность данного способа к заиливанию, рекомендуется проводить обработку на орошаемых биофильтрах после первичного отстаивания или очистки на тонких ситах.

Стоит также отметить, что орошаемые биофильтры являются сложными системами. Расчёт их параметров для реализации на действующих очистных сооружениях основывается только на формулах, полученных опытным путём при пилотных исследованиях.

1.3.6 Биологические фильтры

Очистка сточных вод на биофильтрах объединяет в себе биологическую обработку прикрепленными микроорганизмами и извлечение взвешенных веществ. В данной технологии используются тонкие биологические плёнки, которые обновляются с помощью промывок. Промывки проводятся регулярно с периодичностью от 12 до 48 часов, в результате чего образуется биомасса с большой концентрацией и с большей активностью, чем у активного ила.

По сравнению с обработкой сточных вод активным илом, биофильтры имеют ряд преимуществ. Во-первых, биомасса устойчива к изменениям расхода воды и не вымывается, так как закреплена на носителе. Это свойство позволяет также увеличить скорость потока обрабатываемой воды без ущерба для процесса биологической очистки. Во-вторых, благодаря отсутствию этапа осветления, биофильтры занимают меньшую площадь, что даёт возможность строить закрытые очистные сооружения, ограничивая тем самым распространение шума и запаха.

Биофильтры являются важным инструментом очистки. Принцип работы биофильтров проиллюстрирован на рисунке 7.

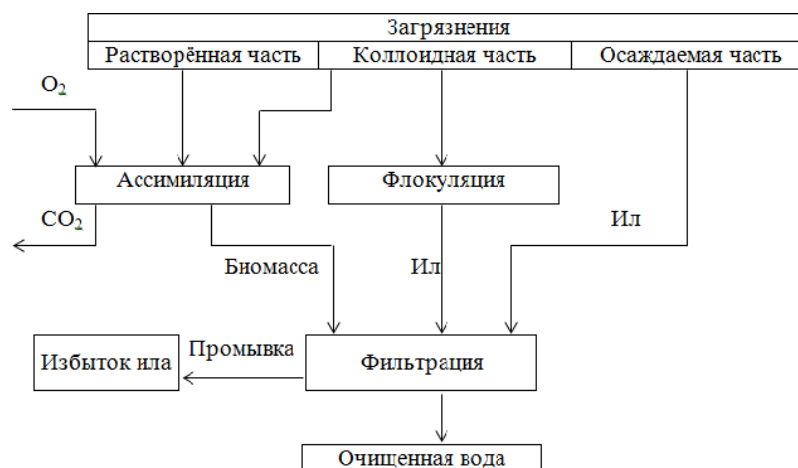


Рисунок 7 – Схема функционирования биофильтра

Аэрация при обработке сточных вод в биологических фильтрах осуществляется либо «путём предварительного насыщения воды кислородом, либо непосредственным введением воздуха в реактор. Способ с предварительным насыщением кислородом был разработан для третичной фильтрации с целью снижения остаточной БПК и более полного удаления взвешенных веществ. Ограничения в применении этой технологии обусловлены максимально возможным количеством растворённого кислорода, на практике трудно добиться более 85% насыщения сточной воды кислородом» [9, с. 55]. Чтобы преодолеть эти ограничения, в начале 80-х годов разработаны биофильтры с подачей кислорода внутрь установки. Особое значение при этом имеют соответственные направления движения потоков воздуха и воды. Первая практика этого способа реализована в реакторах с нисходящим потоком воды и противотоком воздуха. Но такой способ также создал ряд проблем:

- перемещение фронта фильтрации и отложение осадка в толще фильтра нарушаются восходящим потоком воздуха, вследствие чего выход очищенной воды снижается;
- противоток жидкости и газа приводит к слиянию пузырьков воздуха, в толще загрузки образуются воздушные «карманы», которые

создают газовую закупорку;

- поступающие на очистку стоки находятся в верхней части фильтра, и выходящие пузыри воздуха влекут за собой неприятные запахи.

«Эти недостатки вызвали негативное отношение к биофильтрации с нисходящим потоком воды, большее распространение получила технология смешанных восходящих потоков воды и воздуха. Эта технология имеет многие преимущества: достаточно большую скорость прохождения сточной воды, повышенное задержание взвешенных веществ за счёт равномерного распределения взвешенных веществ во всём объёме фильтра и высокую эффективность аэрации» [9, с. 53].

Такая технология очистки была выбрана для общих очистных сооружений промышленной зоны Говиндпура (Индия) как рентабельный и эффективный способ очистки, наиболее подходящий для данного региона. На данные очистные сооружения поступают на очистку сточные воды от восьми предприятий, проектная мощность составляет 900 м³/сутки, проектируемая эффективность удаления ХПК и БПК составляет 89% и 95% соответственно.

На практике анаэробный реактор с восходящим потоком (UASB) отличается высокой надёжностью при постоянно меняющихся условиях. Плотная структура и высокая осаждаемость ила (60-80 м/сек), позволяют эксплуатировать анаэробные реакторы с восходящим потоком при очень высоких скоростях восходящего потока жидкости. Использование UASB-реактора для очистки сточных вод с молочного производства (штат Тамилнаду, Индия) позволило увеличить удаление ХПК до 78% [36]. UASB-реактор также имеет несколько газовых вытяжек для разделения биогаза, который служит источником энергии. Затраты на электропотребление насосов для рециркуляции сточных вод не требуются, что также является преимуществом данного реактора.

Хорошим решением для реконструкции или расширения очистных сооружений является технология со смешанными культурами. Данный

способ реализуется в биологическом реакторе для удаления углерода и/или нитрификации, в котором бактерии закреплены на подвижном носителе. Носитель представляет собой пластиковые колечки с удельным весом, меньшим, чем у воды, которые предназначены для длительного и устойчивого заселения бактериями. Образец подвижного носителя представлен на рисунке 8. В реактор со смешанными культурами постоянно подаётся сжатый воздух, который не только доставляет бактериям необходимый кислород, но и поддерживает во взвешенном состоянии материал-носитель. Обработываемая вода и ил после реактора направляются на следующую ступень обработки, либо в отстойник. Часть отстоянного ила возвращается на вход в реактор, а носители задерживаются в реакторе при помощи решётки с соответствующими по размеру отверстиями.

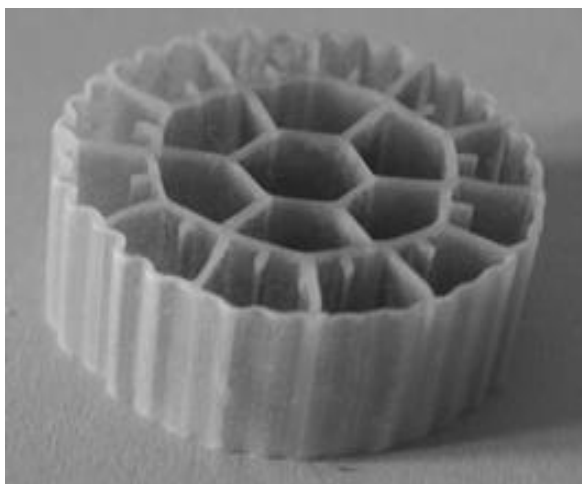


Рисунок 8 – Фото подвижного носителя

На очистных сооружениях Порто-Толле (Рим, Италия) [38] был предпринят интересный опыт по модернизации технологического процесса путём внедрения биоплёночного реактора с плавающей загрузкой (MBBR).

Данные сооружения имели гидравлическую перегрузку по азоту, и не имели зоны денитрификации в исходной схеме. Таким образом, было принято решение один из отстойников, который уже находился в

эксплуатации, разделить на сектора: сектор 180м^3 был преобразован в зону денитрификации, а сектор 100м^3 в гибрид реактора MBBR, заполненный на 50% носителями. В результате проведённые преобразования позволили снизить концентрацию активного ила, при этом эффективность удаления ХПК, БПК и общего азота составила 56%, 74% и 20% соответственно. Полученные результаты подтвердили, что гибридные MBBR являются подходящей технологией для модернизации существующей обработки сточных вод активным илом на очистных сооружениях в ограниченном пространстве без строительства новых отстойников.

К недостаткам данного способа относится сложность полного удаления общего азота из сточных вод при низком содержании БПК/НК или при повышенном содержании НК и получение нестабилизированного избыточного биологического ила (осадка).

1.4 Анализ условий, определяющих удовлетворительный процесс биологической очистки сточных вод

1.4.1 Кислородный режим

«Для жизнедеятельности организмов активного ила требуются небольшие количества растворённого кислорода, критической концентрацией считается $0,2\text{ мг/дм}^3$, удовлетворительной – $0,5\text{ мг/дм}^3$. Тем не менее, активный ил не терпит залежей и даже при небольшом застое начинает гибнуть вследствие нарушения массообмена в хлопьях. Поэтому для обеспечения удовлетворительного перемешивания иловой смеси и предотвращения залежей ила предусмотрена норма на содержание растворённого кислорода, которая составляет не менее $1,0 - 2,0\text{ мг/дм}^3$. При превышении необходимой концентрации растворённого кислорода активность микроорганизмов не возрастает и степень очистки не улучшается, зато увеличиваются энергетические затраты» [4, с. 51].

Улучшения условий аэрации и качества очистки можно достичь путём

правильного выбора и монтажа аэрационных систем.

Вышеперечисленный материал подводит к мысли, что вентиляционные системы, предназначенные для реакторов с активным илом, должны служить двум целям:

Обеспечение аэробных иловых микроорганизмов активированным кислородом для обеспечения их жизнедеятельности;

Обеспечить однородность и перемешивание, необходимые для постоянного контакта микроорганизмов с водой и загрязнителями воздуха.

Вентиляционные системы часто состоят из установки или набора установок, размещенных в биореакторных установках и выполняющих обе функции одновременно.

В некоторых случаях вентиляция и смешивание могут быть разделены. Эта система позволяет, которая заключается в обеспечении однородности суспензионной смеси механиком-провокатором, устанавливаемым дополнительно или вместо вентиляционной системы смешивания вентиляции отдельно.

Первое условие сравнения вентиляторов основано на характеристиках насыщения кислородом, которые выражаются в часовом и общем потреблении кислорода. Но для всего города необходимо приложить дополнительные критерии, которые трудно выразить числовым значением, а оценить можно только качественно:

Смесь, которая должна обеспечивать эффективную однородность и предотвращать образование осадочных отложений;

Гибкость регулировки вентиляции в соответствии с различными режимами работы;

Надежность всех компонентов вентиляционной системы (компрессоры, редукторы, диффузоры, трубопроводы и др.).

Например, вентилятор, обладающий отличными свойствами накопления кислорода, в то же время не позволяющий дать запас перемешивания гидравлики, либо имея высокие риски потенциального

загрязнения, после чего вероятно торможение процессов окисления загрязняющих веществ или образования анаэробных отложений, будет бесполезен.

«При большой пузырьковой вентиляции (отверстия в вентиляционных трубах 5-6 мм) использование растворенного кислорода в активированном иле составляет 6-7%, и эти значения не обеспечивают эффективного массового переноса кислорода из грязевой смеси в бактериальную клетку. Уменьшение размера отверстий в трубе до 2-2,5 мм позволяет увеличить использование кислорода до 8-12%, а при использовании небольших вентиляторов, размер отверстий в которых составляет 200-500 мкм, использование кислорода увеличивается до 15-18%. При использовании пузырьковых диффузоров небольшие, наблюдается значительное улучшение качества очистки, также улучшаются характеристики осадка области, повышается устойчивость организмов к токсичным веществам» [19, с. 206]. Но такая вентиляция не позволяет достаточно хорошо перемешать смесь ила. Наилучший эффект одновременного насыщения кислородом смеси ила и необходимого переноса массы в хлопья ила обеспечивается средней пузырьковой вентиляцией.

Эффективность вентиляции зависима от формы применяемых вентиляционных элементов и их расположения на дне вентиляционного бака. Дисковый аэратор, показанный на рис.9б, является наиболее эффективным для обогащения буровой смеси кислородом, в отличие от элементов трубчатой вентиляции-рис. 9а. Дисковые вентиляторы с двигательной мембраной защищены, поэтому в ходе отсоединения от кислорода мембрана начинает закрываться, благодаря чему временное засорение прекращается. Большинство современных биологически перерабатывающих предприятий имеют зольные установки с аэраторами, которые функционируют на протяжении трети столетия. Метод показал экономический эффект, так как требовал меньшего количества турбулентных элементов, и считалось, что турбулентная форма прямого потока путает смесь.



Рисунок 9 – Аэрационные системы аэротенка: а) трубчатые аэраторы; б) тарельчатые аэраторы

Стоит отметить, что многолетний опыт исследований показал результаты применения данной технологии, согласно которой применение вентиляционных резервуаров способствует возникновению турбулентных зон, где образуются потоки в виде кругов по вертикали. Они ускоряют передвижение воздушных пузырей, поднимающихся постепенно на самый верх резервуара, данный процесс сопровождается контактом грязи гораздо в меньшем масштабе, чем при использовании диффузоров, которые распределены по резервуару достаточно равномерно. Помимо прочего, нахождение вентиляции на дне даёт положительный эффект по распространению на всю полость структуры, таким образом воздух поступает во все уголки конструкции и заполняет резервуар вентиляции. Показатели кислорода в ходе распределения вентиляционных структур варьируются в промежутке 3,59-6,5%, а при условии распределения по дну – 12-18%, следовательно воздухорасходы сокращаются до 60-70% [4].

Сложнее обеспечить необходимые условия для эффективного процесса денитрификации. В аноксидной зоне отсутствует свободный кислород, и перемешивание целесообразно осуществлять погружными механическими

мешалками. Использование мешалок позволяет исключить обогащение кислородом иловой смеси, обеспечить необходимое перемешивание и создать удовлетворительные условия для жизнедеятельности анаэробных организмов активного ила. Пример установки погружных мешалок представлен на рисунке 10.

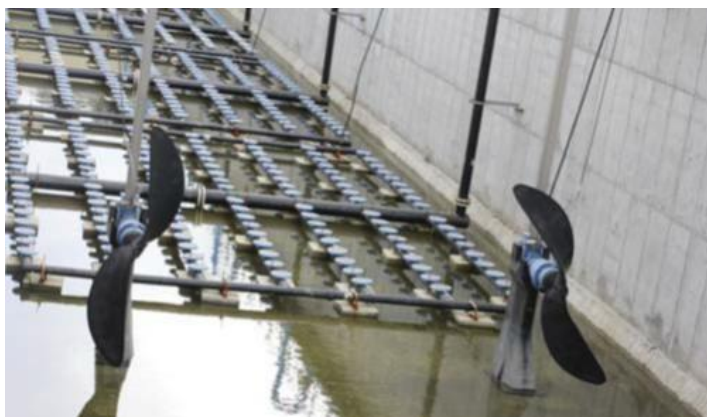


Рисунок 10 – Фото погружных мешалок на очистных сооружениях г. Владивосток

При попеременной работе системы аэраторов и механических мешалок с заданной периодичностью процесс нитрификации-денитрификации возможно осуществлять и в одном коридоре аэротенка, не разделяя его на зоны. Но при использовании такой схемы необходимо учитывать сложность условий перехода от аэробных к анаэробным (или наоборот) для жизнедеятельности гетеротрофных флокулообразующих бактерий. При отсутствии разделения аэробных и анаэробных зон есть вероятность развития и накопления нитчатых бактерий в активном иле, которые приводят к вспуханию ила. Для предотвращения негативных последствий необходимо создать в зонах перехода превалирование необходимых условий. Например, при переходе от анаэробной к аэробной зоне обеспечить высокую интенсивность аэрации в начале аэробной зоны.

При расположении зон с различным кислородным режимом (анаэробным, аноксидным, аэробным) в пределах одного коридора (без

применения продольных циркуляционных потоков) рекомендуется разделять зоны друг от друга перегородками с проемами, обеспечивающими прохождение потока иловой смеси и всплывающих веществ к концу аэротенка, а также позволяющими осуществлять беспрепятственное опорожнение всех зон.

Хороших результатов по удалению азота проще достичь при относительном разделении зон нитрификации и денитрификации, когда процесс обеспечивается в разных коридорах аэротенков-вытеснителей.

Аэрация играет большую роль в очистке сточных вод и получении конечного результата. Примером может также служить использование станции водоочистки с длительной аэрацией (EAWWTP) в районе Султанат Джохор (Малайзия) [19], благодаря которой повысилась эффективность очистки сточных вод по таким показателям как БПК, ХПК и взвешенные вещества, также значительно снизились показатели патогенных бактерий. Непосредственно перед сбросом сточных вод в реки, содержание растворённого кислорода часто уменьшается из-за увеличения скорости роста бактерий, которые потребляют органические вещества, содержащиеся в стоках. Эффективная аэрация EAWWTP позволяет держать уровень растворенного кислорода высоким на выходе стоков.

1.4.2 Условия формирования и функционирования экосистемы активного ила

В биоценозах активного ила формируются представители семи отделов микрофлоры (бактерии, грибы, диатомовые, актиномицеты, зеленые, синезеленые, эвгленовые микроводоросли) и девяти таксономических групп микрофауны (жгутиконосцы, саркодовые, инфузории, первичнополостные, и вторичнополостные черви, брюхоресничные черви, коловратки, тихоходки, паукообразные). Микробные композиции активного ила чувствительны к изменениям, происходящим в составе сточных вод, и подвержены постоянному преобразованию.

Экологические условия в биореакторе, влияющие на своеобразие

биоценоза, характеристики и биопродуктивность активного ила, определяются конструкцией сооружения, условиями его эксплуатации и составом очищаемых сточных вод. Основные экологические факторы, обуславливающие состав биоценоза активного ила, его свойства и функциональную активность представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Экологические факторы, определяющие развитие активного ила

Абиотические (антропогенные) факторы	Биотические факторы
Тип сооружения (окислительная мощность аэротенков, удельная нагрузка на ил, возраст ила)	Автохтонная микрофлора и фауна
Химический состав очищаемых сточных вод	Аллохтонная микрофлора и фауна
Баланс питательных веществ в составе очищаемых сточных вод	Скорость репродукции
Токсиканты, присутствующие в сточных водах	Связь хищник – жертва
Кислородный режим и интенсивность перемешивания иловой смеси	-
pH, температура очищаемых сточных вод	-

Эти факторы также могут изменить эксплуатационные характеристики грязи и вызвать эксплуатационные проблемы, такие как расширение грязи, пена и купание в свете.

Эффективная активная суспензия зависит главным образом от технического режима работы применяемых в водоочистных сооружениях, определяющего окислительную способность вентиляции резервуара, нагрузку активной суспензии, срок службы суспензии, время и объем вентиляции, а также регенерацию суспензии. Несоблюдение технического режима в основном сказывается на спекании и расположении активного ила. Если характер осадка ухудшается, то осадок начинает плохо отделяться от очищенных сточных вод, движется вверх и выходит из вторичного выравнивающего резервуара. Это быстро приводит к ухудшению качества чистой воды и увеличению избытка ила, образующегося в организме человека.

Необходимое количество и оптимальная пропорция важных элементов

и органических веществ в используемой воде также необходимы для правильного осаждения активного ила и его патологических эффектов. СНиП 2.04.03-85 для размешивания сточной воды, концентрация природных соединений и важнейших для жизни элементов в пропорции БПК₅:N:P=100:5:1[20]. БПК характеризует содержание легкоокисляемых органических веществ, способных к биохимическому разложению.

1.4.3 Илоотделение

Для качественного функционирования очистных сооружений с использованием активного ила требуется тщательное отделение обработанной воды от массы ила. Только при таком условии можно получить на выходе осветлённые стоки, которые соответствуют нормам сброса.

Для отделения очищенной воды от активного ила (био пленки) следует использовать сооружения для илоотделения: вторичные отстойники, осветлители с взвешенным слоем осадка, флотационные установки, мембранные модули и др. Для интенсификации работ сооружений гравитационного илоотделения допускается применение тонкослойных модулей [24].

Тип вторичного отстойника (вертикальный, радиальный, горизонтальный) необходимо выбирать с учетом производительности станции, компоновки сооружений, числа эксплуатируемых единиц, конфигурации и рельефа площадки, геологических условий, уровня грунтовых вод и т.п.

Разделение жидкой и твёрдой фаз выполняется путём осаждения во вторичном отстойнике или осветлителе, которое происходит под действием силы тяжести. Из чего следует, что осветлитель является немаловажной составной частью системы очистки стоков с использованием активного ила. Вторичный отстойник должен осуществлять одновременно три основных функции:

- функция осветления: получение осветлённых сточных вод с содержанием взвешенных веществ менее 20 -30 мг/л;

- функция сгущения: получение безостановочного потока активного ила с высокой концентрацией для подачи его вновь в биореактор, обеспечивая в нём установочной концентрацией биомассы;
- функция накопления: скапливание дополнительной массы ила (осадка), которая возникает при гидравлической перегрузке кратковременного характера (например, во время паводков и дождей).

Невыполнение хотя бы одной из выше перечисленных функций, провоцирует вынос частиц ила из осветлителя вместе со стоками. Это вызывает ряд неблагоприятных последствий: ухудшение показателей качества обработанной воды по взвешенным веществам, ХПК, БПК, содержанию азота и фосфора, а также снижение результативности биологической очистки из-за снижения в аэротенке концентрации активного ила.

Реализация осветлителем этих трёх функций зависит в свою очередь от различных факторов. Наиболее значимыми из этих факторов для расчёта параметров вторичного отстойника являются расход поступающих сточных вод на очистку и характеристики получаемого осадка, способность его к сгущению и отстаиванию. Также играют немаловажную роль для получения очищенной сточной воды с более низкой концентрацией взвешенных веществ и другие факторы, такие как гидравлические и физические характеристики очистных сооружений.

Необходимо учитывать и тот факт, что величина расхода сточной воды, которая поступает на очистные сооружения в течение суток, колеблется. Расход рециркуляции ила, поступающего в аэротенк, должен также регулироваться в некотором диапазоне, для чего выбирают насосное оборудование, обеспечивающее необходимую гибкость функционирования системы.

«При эксплуатации вторичных отстойников важно выдерживать оптимальную высоту слоя стояния ила. Рекомендуемая высота слоя в зимний

период составляет 25% от глубины сооружения, в летний – не более 10%. При превышении установленной высоты слоя стояния ила, влажность возвратного ила уменьшается, а концентрация увеличивается, что может привести к выносу взвешенных веществ» [2, с. 29].

Таким образом, эффективность работы отстойника зависит от соответствия действительной гидравлической нагрузки её расчётным значениям проекта и равномерности распределения нагрузки, а также от своевременного удаления осадка. Своевременность удаления осадка контролируется специальными датчиками по уровню уплотнённого слоя, либо контрольными эрлифтами.

На стадии проектирования очистных сооружений необходимо предусмотреть проблемы с осаждаемостью активного ила, которые могут возникнуть при эксплуатации. Такие факторы, как низкое содержание органических веществ, присутствие в большом количестве токсикантов, повышенная кислотность стоков, создают угрозу вспухания активного ила и нарушения его седиментационных свойств.

При проектировании осветлителей уделяют внимание и другим важным технологическим аспектам. Центральная труба, через которую осуществляется подача сточной воды в осветлитель, должна обеспечивать равномерное распределение иловой смеси в нём, а также рассеивать энергию, которую несёт поток из аэротенка. «Устройства, выполняющие функцию отбора осадка со дна осветлителя, должны создавать условия для управляемого возврата уплотнённого ила в биореактор и ограничивать время пребывания ила во вторичном отстойнике. Для этого применяются различные технические решения:

- ограничение размера отстойников со скребковой системой не более 30- 35 м в зависимости от некоторых параметров, таких как нагрузка, температура и т.д.;
- увеличение уклона дна, которое позволяет быстрее сдвигать скребкам ил в приямок, или отсасывание ила, которое позволяет

извлекать ил после каждого оборота скребка в не зависимости от размера отстойника.

При отводе очищенной осветлённой воды оседающие вещества не должны попадать в сливной лоток. Для выполнения этого требования необходимо, чтобы слой осадка удерживался ниже зоны осаждения, а поток сточной воды на гребне водослива не превышал 15-20 м³/ч на 1 м погонный сливного лотка» [21, с. 385].

1.5 Информационно-патентный обзор способов интенсификации процесса биологической очистки

На сегодняшний день имеется много перспективных технологий по водоочистке, обеспечивающих качество очищенной воды, согласно требуемым нормативам ПДК для водоёмов рыбо-хозяйственного назначения. Только реализация инновационных методов позволит решить ряд экологических проблем и может быть экономически целесообразна.

Имеются несколько приспособлений и технологических идей, схожих с технологиями полноценного выведения азота и фосфатов из сточной воды с опорой на использование биоочистителей, они имеют связь между аэробными, анаэробными и окислительными структурными процессами в активном иле.

Чтобы вывести нитраты из содержания сточной воды необходимо в ходе проведения денитрификационных процессов создать условия для благоприятного протекания обратного нитрификационного процесса. Вопрос заключается в количестве кислорода, которых находится в сточной воде.

В ходе анализа современного опыта зарубежных специалистов и очистительных систем отечественного образца литературные данные показали причины отсутствия эффекта данных процессов. Они заключались, как правило, в старых системах, неготовых долго и качественно функционировать как серьёзные очистные сооружения. Системы вентиляции

также достаточно ветхие и непригодные, они теряют свой эффект при длительном использовании.

Большинство современных российских очистных применяют в баках вентиляции небезопасные элементы в виде пластиковых трубок. Проблема в том, что аэраторы не прекращают работу при закрытии доступа воздуху, это способствует закрытию пор, в которые проходит песок и другие вредоносные для очистных сооружений вещества. Данный аэратор нормально работает лишь два-три года, но при дальнейшей эксплуатации эффект снижается. Восстановление стандартной подачи воздушных пузырей приводит к разрушению деятельности бака вентиляции, поэтому использовать устаревшие системы не просто невыгодно, но и крайне энергозатратно [22].

Как правило, в ходе проведения реставрации очистных системы вентиляций не проходят проверку и стадию модернизации Единственное, что меняется, так это замена пластиков вентиляционных трубок. Однако опыт замены вентиляционных элементов на некоторых очистных сооружениях показывает эффективность и позволяет повысить эффективность работы очистных сооружений и обеспечить норматив дренажа.

В 2011 году вентилятор был полностью заменен во всех резервуарных комплексах Люберецкой очистной системы, что находится в Москве. Здесь были установлены системы биоудаления азотных и фосфатных соединений. Также вентиляция обзавелась дисковыми элементами под название Аква-Тор-420 от компании «Экополимер-М». Значительным отличием этой системы является наличие кольцевой конструкции для вращения глины, а также то пространство, что есть внутри вентиляции. Они разрывают все пузырьковые связи и тормозят распространение кислородных соединений.

Важно сказать, что переход на данную вентиляционную систему позволяет достичь экономии воздуха при осуществлении операций под стандартной нагрузкой в 25%, а также полностью невозможно ухудшение нагрузки окислительных процессов. 100% открытие клапанов показало недостаточное содержание кислорода в баках [23].

Важнейшей и сложнейшей миссией новых систем является создание благоприятной работы анаэробных фаз и эффективное их функционирование. Помимо прочего стоит сказать о необходимости корректной установки устройств смеси и создания удобных условий для воспроизведения потока резервуарного воздуха в реакторы.

Иное очистное устройство применялось в структурах очистных сооружений в городе Тихвин [26]. Для обеспечения реальных эффективных способов выхода азотсодержащих веществ было решено применить технологию, связанную с нитрификационным методом. Для образования зоны анаэробного воздействия вместо дорогих импортных смесителей наблюдается состояние анаксида в вентиляционном баке из-за низкой интенсивности вентиляции (минимальное значение, позволяющее предотвратить осаждение активного ила). Чтобы избежать деградации нитрификации в процессе увеличения срока службы осадка (за счет постепенного снижения гидравлической нагрузки), вентиляционная система была заменена вентиляционной системой Noron.

Результатом стала местная замена вентиляционной системы, благодаря чему был улучшен в целом процесс очищения сточной воды от азотных соединений при значительном снижении показателей энергетических затрат на функционирование устройства.

Для улучшения качества очищения сточной воды многие исследователи патента RU 2264355 С2 [17] предложили другую специфическую вентиляцию в воздухонагревателе для системы биологической очистки сточных вод. Над необходимыми областями нижних воздушных структур были созданы две зоны: одна для нитрификации, другая – денитрификационная. Воздуходувшая структура состоит из таких элементов, как трубчатая вентиляция, благодаря которой осуществляется вентиляция маленьких пузырей. Во второй зоне происходит нитрификация за счёт перфорированной вентиляции в виде трубки для воссоздания маленьких и средних по размеру пузырей. Обе группы составляют единый

блок и создают одну огромную полосу вентиляции, энергетически обеспечивающей поддержание показателей ила и кислородного комплекса с аэробной очисткой. Денитрификационная зона не требует больших энергозатрат, из-за чего подобные технические приспособления ускоряют очистку сточных вод при сохранении прежнего уровня энергопотребления.

Для повышения эффективности вентиляции и перемешивания сточных вод авторами патента RU 2522336 C1 [15] предложено устройство, имеющее источник сжатого воздуха и вентиляционный элемент, отличающееся тем, что вентиляционный элемент состоит из внешнего и внутреннего конуса, плавающего диска, закрепленного между ними регулировкой стиральной машины и втулки.

Существует множество способов повышения эффективности очистки сточных вод, основанных на традиционных биологических методах очистки [27]. Например, с целью повышения интенсивности биологической очистки химически загрязненных сточных вод в реакторах с активным илом авторы патента RU 2415086 [10] предложили способ, предусматривающий прерывистую подачу активного ила и сточных вод в воздушные резервуары. В предлагаемом способе равномерно диспергированную параллельную подачу шлама и активированного дренажа осуществляют через лотки с боковыми дренажами, установленные вертикально на длинной стороне вентиляционной емкости, причем расстояние между боковыми дренажами составляет не менее 50 мм.

Разница между новой и стандартной схемами взаимодействия с очистными сооружениями заключается в разнице максимального поступления вывода от активных иловых потоков, где в первом случае речь идет о 160 при 1 балле и 480 при 2-6 баллах в воздухонагревательные башни. Напротив, предполагается связь между отдельными компонентами общей активности осадка, канализацией, телекоммуникациями, вертикальным фильтром вентиляции (для столов) через каналы, установленные по длине нагревателя, и позволяет комбинировать стружку сточных вод с активным

илом равномерной.

В результате эффективность биологической очистки в воздушном резервуаре с равномерно диспергированным потоком сточных вод и работающего ила значительно выросла в сравнении с показателями воздухоносной ёмкости, работающей по традиционной распределительной схеме (по ХПК на 10%, по скорости окисления - на 0,6 мг ДПК г / г, по токсичности-на 14%). Микроорганизмы тоже продемонстрировали отличие в комплексе активноильных гранульных веществах, которые стали по размерам значительно крупнее и плотнее.

На основе основного принципа последовательного биореактора разработано несколько технологий с периодическим сбросом реактора. В настоящее время эта технология используется не только в проектах малых и средних очистных сооружений, но и в крупных городах. К примеру, компания «Degremont» предлагает установку Cyclor для средних и крупных очистных сооружений с автоматической системой управления циклов и простым интерфейсом для оптимизации управления аэрации. Реакторы этой установки оборудованы системой отвода обработанной воды через плавающий перелив по патентованной технологии, при которой не происходит захвата плавающих частиц. Способность осаждения ила улучшается с помощью флокуляции, что препятствует развитию нитчатых бактерий.

Авторами патента RU 2418749 С2 [11] предложен способ очистки аммонийсодержащих сточных вод в реакторе СБР путем регулирования узкого диапазона значений рН. Обыкновенные очистные сооружения из аммония преобразовываются в азотные в ходе протекания двух процессов, состоящих в расщеплении до нитритов, впоследствии до нитратов, а после протекания денитрификации, в ходе которой происходит возвращение к нитритам и конечным продуктом чего станет молекулярный азот. Проблема с надежностью процесса заключается в том, что в присутствии относительно небольшого количества нитрита нарушается действие анаэробных

аммонийоокисляющих микроорганизмов (или самовосстанавливающихся нитритов).

Низкая скорость развития данных микроорганизмов обусловила вероятность нарушений протекания всего процесса даже при условии малейших резонансов хода реакции. Вышеуказанный способ осуществляет в реакторе типа SBR, в котором превращение из аммония происходит в нитритные азоты. Параллельно протекающая реакция производит обратные преобразования. Важно сказать, что за счёт вентиляционных действий показатели pH держатся на одном уровне, который можно, при необходимости, определить по следующей формуле: $pH_c = 7,55 - 3 \cdot OTЭ / 100 \pm 0,05$. В связи с этим стоит упомянуть о норме отклонения, которая обычно не превосходит 5/100, а стандартным показателем отклонения является 2/100. Кислородосодержание в стоках варьируется между 0,2-0,4 мг / л. Создаваемые условия в предложенном способе обеспечат устойчивое протекание процесса.

Разработано много патентов на изобретение, предлагающие те или иные улучшения и по технологии мембранных биофильтров.

Патент RU этого не делает. 2314864 «Фильтр мембраны половолоконный, его использование в очистных системах и в биореакторах» [18] показывает устройство, фильтрующее биологическую массу в сточных водах. Прибор имеет полую волокнистую мембрану, которая собрана в сумке. Через полые волокнистые мембраны жидкость проходит снаружи внутрь, а очищенная жидкость удаляется из частиц на одном конце мембраны. Пучок полых волокон намотан на частично образованную опору на внешней поверхности с возможностью прохождения газа изнутри наружу. Различные устройства фильтрации могут быть интегрированы в завод по очистке сточных вод. Техническим результатом данного изобретения является простота предлагаемой конструкции и небольшие размеры, надежность мембран очистки резервуаров и высокая производительность.

Достижения оптимального качества и скорость очистных сооружений

во многом зависит от ряда факторов в одно время в одном месте, к примеру, наличие полезных бактерий, участвующих в процессе. Для улучшения в целом технологии очищения необходимо однозначное обновление всего очистного комплекса и применение свежих разработок, так или иначе старые системы переживают износ и неспособны работать больше 3 лет. Новая технологическая, что рассматривалась в данной работе ранее, показывает, что нитрификация будет работать лучше при сочетании с выведением загрязняющих элементов при добавлении в ходе процесса полезных микроорганизмов, специализирующихся на очистке от загрязнений. При этом можно увеличить скорость очистки от «целевых» соединений, а также эффективно работать в неблагоприятных условиях для удаления данных соединений. К достоинствам биоаугментации можно отнести не только улучшение удаления азота, но и улучшение флокулообразования ила [22, с. 10], удаление взвешенных веществ, опасных загрязнителей и повысить стойкость активного ила к воздействиям токсичных соединений.

«Применительно к очистке сточных вод г.Москвы была исследована технология, сочетающая реактор-биоаугментатор и технологию Кейптаунского университета. В качестве материала для исследования послужил активный ил старых Курьяновских очистных сооружений. В результате исследований подтверждена высокая эффективность нитрификации поступающей сточной воды и установлено положительное влияние биоаугментации на устойчивость процесса нитрификации к токсикантам» [21, с. 387].

Существуют и другие способы для интенсификации биологической очистки стоков. В патенте RU № 2445275 описан способ, при котором дополнительно в аэротенк добавляют препарат Мелафен в количестве $1 \cdot 10^{-4}$ мг/дм³ – $1 \cdot 10^{-8}$ мг/дм³ [13]. Данный препарат является регулятором роста и развития. Его отличительной особенностью - высокая эффективность и широта действия при чрезвычайно низких применяемых концентрациях. После обработки очищенную сточную воду в смеси иловой суспензией

отстаивают. Данное изобретение позволяет увеличить эффективность очистки, а также улучшает свойства активного ила. Данная технология является простым и экологически безопасным способом очистки, позволяет уменьшить затраты на эксплуатацию при её внедрении.

Для повышения результативности аэробной очистки стоков авторами патента RU 2472719 С2 «предложен способ очистки, который включает подачу стоков, аэрацию, сорбцию и окисление загрязнений на загрузочном материале. В качестве загрузочного материала и подвижного носителя в биореакторах используются кварцевый песок, керамзит, материалы, содержащие 5-60% активированного угля. Предложенный способ отличается тем, что в качестве загрузочного материала предлагается использовать диспергированный природный минерал - шунгит. Шунгит добавляют в аэробный биореактор одновременно с очищаемой сточной водой. Окисление загрязнений производят растворенным кислородом непосредственно на поверхности шунгита, а также находящимися на нем микроорганизмами. Практическое применение данного способа подтверждает экономическую эффективность затрат электроэнергии и повышение эффективности аэробной очистки сточных вод» [14].

«При обосновании (при недостаточно благоприятном соотношении в сточных водах БПК к общему азоту и/или общему фосфору, а также при технико-экономическом обосновании) допускается использование для обеспечения процессов биологической денитрификации и/или дефосфотации органических реагентов или материалов, либо нетоксичных отходов (5-го класса опасности)» [39, с. 44].

Для снижения содержания фосфатов и взвешенных веществ на очистных сооружениях п. Чернянка (Белгородская обл.) [22] был предпринят следующий опыт. В типовую схему очистки сточных вод решили включить реагентный способ. Перед первичными отстойниками добавляется коагулянт – сернокислое железо. Для точного дозирования вещества - 40 мг/л – применяются цифровые насосы DME, оснащённые шаговыми двигателями.

Авторами патента RU 2587181 C1 [16] предложен способ биологической обработки сточных вод от соединений фосфора, заключающийся в том, что стоки после механической очистки подвергаются обработке в аэротенке в присутствии активного ила с последующим разделением. Иловая смесь разделяется на очищенную воду, возвратный ил, который подают на вход аэротенка, и избыточный активный ил, который разделяют на два потока. Один из этих потоков подвергают автолизу в анаэробных условиях при постоянном перемешивании и в присутствии реагента, который потом возвращается в аэротенк на обработку. Второй поток направляется на обработку осадков сточных вод. Данное решение позволяет достичь не только очистки сточных вод от соединений фосфора до норматива, но и сокращения объемов образующегося избыточного активного ила, направленного на дальнейшую обработку. Но представленный способ биологической очистки сточных вод не рассматривает процесс удаления нитратов из сточных вод.

Для обеспечения надёжности очистки сточных вод от соединений азота и фосфора авторами патента RU 2440306 C1 «предложен способ, заключающийся в последовательном выдерживании биоценоза микроорганизмов, которые принимают участие в очистке сточных вод от органических и минеральных примесей, в анаэробных, аноксидных и аэробных условиях. При этом выполняется ряд последовательных операций. Изначально устанавливается в определённых пределах расход возврата активного ила после вторичных отстойников и расход циркуляционного потока иловой смеси с нитрификатора в денитрификатор. Затем разбивается диапазон допустимых расходов удаления избыточного активного ила на конечное численное значение интервалов и в каждом из этих интервалов вычисляется нагрузка на ил и строятся графики зависимостей концентраций загрязнений в очищенной сточной воде по контролируемым показателям от нагрузки на ил. По установленным зависимостям осуществляется поиск величины рабочей нагрузки на ил, при которой обеспечивается необходимая

степень очистки сточной воды по всем контролируемым показателям; осуществляется биологическое удаление азота и фосфора из сточных вод в диапазоне определенных рабочих нагрузок на ил. Предложенный способ позволяет повысить технологические показатели надежности процесса очистки и усовершенствовать биологический метод очистки стоков от соединений азота и фосфора, где в качестве систем дополнительной очистки по фосфатам и общему фосфору принимают обработку химическими реагентами» [12].

Но при использовании реагентов для извлечения из сточных вод соединений фосфора возникает ряд проблем. Использование реагентов приводит к ухудшению влагоотдающих свойств активного ила. На участке биологической очистки возникает также проблема образования больших объемов осадка и избыточного ила, так как избыточного ила образуется намного больше, чем в биологическом процессе, и может превысить технологические возможности существующих очистных сооружений по обработке осадка.

Реализация дефосфатации биологическим путём, без использования химических реагентов, является объектом множества исследований, начиная с 1960-х годов. В последнее двадцатилетие разрабатывались и внедрялись различные схемы с активным илом, использующие все анаэробные стадии с последующим аэрированием. Одной из таких схем является способ

«Phoredox», который заключается в удалении биологическим путём только фосфора, без удаления азота. Наибольшую практическую значимость имеют способы, в которых удаление азота и фосфора сочетаются.

При биологической дефосфатации из исходной сточной воды фосфор поглощается биомассой, а затем выводится из системы вместе с избыточным илом. Некоторые бактерии обладают свойством скапливать фосфор в форме гранул полифосфатов, если их подвергать попеременно воздействию анаэробных и аэробных условий. Организмы, накапливающие фосфат известны под названием PAOS (phosphate accumulation organisms) и

содержание фосфора в них может достигать 20-30%.

В последние годы внедряются различные установки с двойным назначением: снижение поступления нитратов в анаэробную зону и увеличение образования летучих жирных кислот (ЛЖК) в анаэробной зоне. В модифицированном способе «Phoredox» к классической схеме нитрификация- денитрификация с предварительной аноксидной зоной добавляется анаэробная зона на входе сооружения. Такая схема проста в применении, но такое расположение аноксидной зоны не всегда позволяет обеспечивать низкую концентрацию нитратов на выходе.

Для ликвидации негативного воздействия нитратов используется способ «ISAH» (Институт водного хозяйства и очистных устройств Университета Ганновера), где денитрификация ила осуществляется перед входом в анаэробную зону эндогенным путём. Отличительной особенностью данного способа является наличие между анаэробной и аноксидной зонами внутренней циркуляцией ила. Циркуляция ила позволяет при недостатке углерода поставлять субстрат для эффективного протекания процесса восстановления нитратов или увеличить общий объём в зоне анаэробноза при отсутствии нитратов.

В реакторе последовательного действия с биологической дефосфатацией удаление образовавшихся нитратов достигается путём последовательной обработки с включением дополнительно фазами осветления и выпуска воды. При этом концентрация нитратов на выходе может быть минимизирована, что позволяет обеспечить во время подачи сточной воды и начала реакции анаэробные условия и способствует абсорбции и созданию запаса быстро разлагаемой части ХПК, исключая потребление этой части ХПК денитрифицирующими бактериями.

В литературных источниках также рассматривается возможность улучшения качества сточных вод на этапе разделения иловой смеси, прошедшей основной этап биологической очистки.

Несмотря на то, что этап биологической очистки предусматривает

удаление биогенных веществ, зачастую это удаление является недостаточным и не даёт на выходе с сооружений очищенных вод, соответствующих нормам сброса. На очистных сооружениях г. Элязыг на востоке Турции [37] представлен опыт снижения содержания биогенных веществ во вторичном отстойнике посредством роста ряски на его поверхности. Ряска имеет большой потенциал в поглощении биогенных веществ, и эта способность может быть использована для очистки сточных вод как эффективный, дешевый и простой способ. Результаты проведенных исследований, которые проводились при эксплуатации вторичного отстойника с ряской и без неё, показали, что эффективность удаления ХПК, БПК₅, аммония и фосфатов во вторичном отстойнике с ряской, была значительно выше. Формирование ряски позволяет снизить биогенную нагрузку на приёмную способность объекта и, следовательно, снизить себестоимость третичного удаления биогенных веществ.

Выводы 1 разделу

Экологическая ситуация, связанная с ростом дефицита пресной воды на планете и загрязнением водных ресурсов вредными и токсичными веществами, становится всё более тревожной. В этих условиях периодически проводится реформирование природоохранного законодательства, ужесточаются требования к качеству сточных вод, уделяется особое внимание контролю приема производственных сточных вод в систему канализации и сбросу очищенных стоков в природные водоёмы.

Большинство очистных сооружений не обеспечивают необходимое качество очистки сточных вод. Используемые технологии сильно устарели и не позволяют должным образом очищать стоки от органических загрязнений и биогенных элементов (азота, фосфора). Помимо этого, действующее оборудование и строительные конструкции сооружений имеют высокую степень износа. Становится очевидной необходимость внедрения технологий глубокой очистки (удаление биогенных элементов), восстановление изношенных конструкций сооружений и зданий, автоматизация процессов

очистки, переход на энергосберегающие технологии.

Биологическая очистка является эффективным способом для очистки сточных вод от органических загрязнений, биогенных элементов и некоторых неорганических примесей, а также является экологически безопасной.

В настоящее время предлагается множество методов биологической очистки, позволяющие достичь высокой степени очистки. Но при всём разнообразии, важную роль играет создание благоприятных условий для протекания процесса биологической очистки.

Эффективное функционирование активного ила, прежде всего, зависит от качества и количество сточных вод, типа сооружения, баланса питательных веществ, интенсивности аэрации. Несоблюдение технологического режима в первую очередь приводят к ухудшению седиментационных свойств активного ила и, как следствие, к ухудшению качества очистки.

2 Экспериментальные исследования процессов биологической очистки сточных вод

2.1 Характеристика технологического процесса очистки сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот»

Полное наименование производства очистные сооружения ПАО «Тольяттиазот»: цех нейтрализации и очистки промстоков.

Производительность очистных сооружений по проекту составляет 104000 м³/сут.

На биологическую очистку поступают сточные воды с промплощадки ПАО " Тольяттиазот ", содержащие минеральные и органические загрязнения и сточные воды Комсомольского района. Примерный расход сточных вод за 2019 год указан в таблице 2.

Таблица 2 – Расход сточных вод, поступающих на БОС за 2019 год

Наименование	Стоки ПАО «Тольяттиазот»	Смешанный сток Азотремаша и хоз- бытовой сток мелких предприятий	Сточные воды п. Поволжский	Сточные воды Комсомольского р-на	Итого сточных вод на БОС
Всего м ³ /сут	34673	1717	1407	20980	57060
Производственные сточные воды	-	-	-	-	34673
Бытовые сточные воды	-	-	-	-	22387

Метод производства состоит из нескольких последовательных этапов:

- нейтрализация сточных вод с минеральными загрязнениями;
- механическая очистка сточных вод;
- биологическая очистка сточных вод;
- доочистка биологически очищенных сточных вод на аэрируемых

зернистых фильтрах;

- ультрафиолетовое обеззараживание и обеззараживание раствором гипохлорита натрия доочищенных сточных вод;
- механическое обезвоживание уплотненной осадка (смеси сброженного сырого осадка и избыточного ила) на установке центрифугирования;
- складирование обезвоженного осадка на иловых площадках для естественного подсушивания и временного хранения;
- складирование уплотненного минерального осадка на шламонакопителе для естественного подсушивания и временного хранения;
- транспортировка очищенных сточных вод ПАО «Тольяттиазот», ЗАО «Тольяттисинтез», условно-чистых стоков ПАО «КуйбышевАзот» от насосной станции №3 СПУ в Саратовское водохранилище через рассеивающий выпуск очищенных сточных вод.

Предприятие предоставляет следующие канализационные системы, характеризующиеся определенным составом загрязняющих веществ в сточных водах и системах их очищения:

- система организации очистных сооружений сточной воды промышленных объектов от загрязнителей;
- очистительная система промышленных предприятий от металлических загрязнителей;
- поступления воды от дождей;
- организация канализаций для сточной воды;

промышленные объекты с загрязняющими элементами в более высоких количествах, чем ПДК для биологических очистных сооружений, обрабатываются локально в порту хранилища. Вся канализация с производственной площадки ПАО «Тольятти-Азот» поступает в блок управления канализацией и очищается.

Из установок деминерализации, химической очистки речной воды в аммиачной и карбамидной промышленности поток минеральных загрязнений через гравитационные коллекторы проходят в резервуарные барьеры. Те, в свою очередь, функционируют по такому алгоритму: заполнение, проведение лабораторного исследования, анализ содержимого, выброс сточной воды. Через гравитационные коллекторы вода просачивается в приёмные резервуары для дальнейшей интеграции в насосную структуру.

Очистные сооружения, содержащие органические загрязнители, включают в себя улучшенные сооружения, резервуары для очистки сточных вод, резервуары для дождевой воды, аварийные резервуары, сетевые сооружения и общую приемную станции с насосами.

Сточные воды со своим аммиачным содержимым, мочевиной и метанолом идут дальше к камерам Эйвона через коллекторы. Специально обслуживающее процесс помещение проходит стадии наполнения, анализа и последующего выпуска сточной воды.

Сточные воды, которые по результатам лабораторных анализов отвечают требованиям биологической очистки, транспортируются от станции разработки в приемное помещение комбинированной насосной станции.

«Сточные воды с органическим загрязнением при неудовлетворительном анализе перекачиваются с помощью усовершенствованных счетчиков в накопительный резервуар: перекачиваются два аварийных резервуара, а при заполнении насоса 1кн и 2кн перекачиваются из аварийных резервуаров в очистные резервуары» [3, с. 41].

Дождевая вода и талая вода с производственных площадок подаются в резервуар для дождевой воды. Из резервуара для дождевой воды сточные воды транспортируются в приемное помещение общественной насосной станции.

Каркас сооружения, вода от дождя и сточная, которые имеют в своём составе с природными загрязнениями, резервуары подготовительные валковые центробежные насосы местные (с ПДК), монтируемые в насосной станции, приемники помещения для очистки сточных вод.

Аварийные резервуары канализационные стоки перекачиваются 1кн, 2кн аварийными канализационными насосами в приемное помещение общественной насосной станции [20]. Концентрацию загрязняющих веществ контролируют путем отбора проб сточных вод из приемного отделения в соответствии с установленным графиком и проведения лабораторных исследований.

Фекальные сбросы с производственных площадок транспортируются по гравитационной трубе на решетчатые мельницы для очистки от грубых примесей. В резервуаре он смешивается с загрязненными органическими отходами. Проходя через приёмный резервуар, сточные воды плохого качества перемешиваются с теми, что содержат в своём составе примеси органических и минеральных загрязняющих элементов, в свою очередь, поступая через насосы в приёмную структуру очистной.

Местная канализация и фекальные воды в селе Поволжское питаются колосниковыми мельницами. После очистки крупные примеси поступают в приемное помещение с глиной от ПАО «Тольяттиазот». Часть потока должна поступать из приемного бака Волги, минуя сетку для измельчения бумаги.

Механические чистящие средства. Установки механической обработки предназначены для очистки воды от песчаных стенок, нефтепродуктов, жиров, грубых примесей и взвешенных веществ.

Они включают:

- регистрационный номер;
- приемник дробилки – 4 шт.;
- более подробная информация доступна в разделе;
- обезвоживание подвала ферментацией с песком – 2 шт.;
- более подробная информация доступна в разделе;

– насосная станция № 4.

Сточные воды из камеры поступают по насосно-канализационной станции Комсомольского района через расходомер службы в приемное помещение канализационной станции, где смешанный поток самотеком подается в барабанную сетку с открытым круговым кругом шириной 16 мм. в добавлении,

С целью улучшения показателей эффективности выведения песков из воды, а также её промывания от загрязнителей и иных природных элементов через продольное сито пропускают раздробленные воздухоподводящие трубы на глубину 2,8 метра, а воздух подается из установок обеззараживания воздуха.

Частицы песка, падающие со спирального течения, под действием своей силы тяжести и малой скорости движения скользят по наклонному дну песколовки, по противень. С помощью водоподъемников накопленный песок выгружается в песочнице, предназначенные для сушки. При накоплении сухого песка он выгружается из бункеров на транспортные средства и транспортируется на полигон, а освещенная вода из бункеров возвращается по трубе в песочницу или жироуловитель-2.

После отправки суспензии из пескодувок через распределительные камеры в исходные радиальные декантеры (4 штуки), выполненные в виде круглой бетонной емкости диаметром 30 метров, исходные лакокрасочные бассейны предназначены для извлечения взвешенной твердой суспензии, которая может всплывать или оседать под воздействием прошедшего времени.

Осадок, попавший на дно первичного фильтра, удаляется из фильтра 2 раза грязевыми скребками и собирается в удобной центральной камере, откуда перекачивается на шламовые очистные сооружения. Сырые отложения первичных осадочных коллекторов имеют влажность 93,5-94%.

Нефтепродукты и жирные вещества, всплывающие на водную поверхность отстойника, удаляются специальным устройством, состоящим

из полупогружной доски и скребка, через плавающий бункер в жироборник Ж- 1,2. Из жироборника всплывающие вещества перекачиваются насосами на сооружения обработки осадка.

Осветленные сточные воды, собираемые в периферийных лотках первичного отстойника, после механической очистки поступает на биологическую очистку.

Сооружения биологической очистки. Участок биологической очистки предназначен для окисления в сточных водах коллоидальных, суспензированных и растворенных органических веществ.

В состав сооружений биологической очистки входят:

- аэротенки-смесители – 8 секций;
- аэротенки-вытеснители – 1 секция;
- аэротенки промежуточного типа – 2 шт.;
- аэротенка с рассредоточенным выпуском воды – 1 шт.;
- фильтротенк – 1 шт.;
- аэротенк пневометической системы аэрации – 1 шт.;
- вторичные радиальные отстойники – 3шт.;
- иловые камеры вторичных отстойников – 3 шт.;
- камеры переключения активного ила К-7, К-8 – 2 шт.;
- лотки, трубопроводы, запорная арматура.

Процесс биологической очистки, происходящий в аэротенках, можно разбить на три стадии:

- «на первой стадии после подачи активного ила в начало коридора аэротенка и смешения его со сточными водами происходит адсорбция микроорганизмами активного ила загрязнений сточных вод и окисление легкоокисляющихся веществ. Вследствие этого происходит значительное снижение БПК до 40-80 % и полное потребление растворенного кислорода на окислительные процессы, в результате чего содержание кислорода в сточных водах падает практически до нуля. Продолжительность первой стадии 0,5-2,0 часа.

– на второй стадии протекает процесс окисления медленно окисляющихся веществ и происходит регенерация активного ила (восстанавливаются активные свойства ила, которые значительно снизились после первой стадии). Во второй стадии скорость потребления растворенного кислорода существенно ниже, чем в первой.

– на третьей стадии процесса происходит нейтрализация аммонийных солей, снова возрастает на этом этапе скорость потребления растворённого кислорода» [2, с. 48].

После прохождения биологической очистки в аэротенках, сточные воды на выходе обогащены кислородом, причиной чего является неполное потребления кислорода на третьей стадии и его накопление в жидкости.

Сточные воды, прошедшие этап механической очистки по отводящим лоткам из первичных отстойников поступают в канал осветлённых сточных вод аэротенков (верхний канал). С этого канала стоки попадают в распределительные лотки каждой секции.

Поступление сточных вод в аэротенк происходит разом в первое входное окно распределительного лотка. Подача активного ила осуществляется в начало первого коридора каждой секции, которое служит регенератором активного ила.

По сведениям технологического регламента «употребление циркуляционного активного ила принято от 30 % до 70 % от объёма поступающих на обработку сточных вод. Для поддержания хлопьев активного ила во взвешенном состоянии и обеспечения естественной жизнедеятельности микроорганизмов в аэротенк по системе трубопроводов постоянно подаётся сжатый воздух под давлением до 1 кгс/см² от воздухонагнетательных машин воздуходувной станции цеха»[25].

Распределение воздуха осуществляется через пористые полиэтиленовые трубы, уложенные по дну всех трёх коридоров аэротенка вдоль перегородок. Период прохождения сточных вод всего процесса

биологической очистки - 15 часов.

В конце третьего коридора иловая смесь (смесь стоков и ила) переливается через водослив в канал иловой смеси (нижний канал) и далее поступает по отводящему лотку во вторичные отстойники.

Вторичные радиальные отстойники предназначены для разделения активного ила от очищенной воды. Время нахождения стоков в отстойнике составляет 1,5-2,0 часа.

Очищенные сточные воды переливаются через гребенчатый перелив в периферийный лоток отстойника и через распределительную камеру К-9 самотеком по отводящим трубопроводам поступают на доочистку на аэрируемые зернистые фильтры. Также могут сбрасываться, исключая процесс доочистки, в контактный резервуар, в который подается раствор гипохлорита натрия для обеззараживания сточных вод перед сбросом их в Саратовское водохранилище.

Осевший на дно вторичного отстойника активный ил удаляется с помощью илососа, представляющий собой конструкцию движущихся сосунов. На электроприводе приводной тележки илососа предусмотрена специальная блокировка, которая обеспечивает автоматическое отключение работы илососа при порыве тягового троса или нарушении целостности пневмокамеры колеса приводной тележки.

Осаждённый ил через сосуны, под действием гидравлического давления, поступает в горизонтальную трубу, которая уложена под отстойником и по ней направляется в приемную камеру иловой насосной станции.

Из приемной камеры активный ил центробежными насосами подается вновь в начало аэротенка, а избыточный активный ил поступает на аэробные стабилизаторы или сразу на обезвоживание на участок обработки осадка через отводящую от напорного трубопровода арматуру.

На рисунке 11 представлена условная схема сооружений участка биологической очистки.

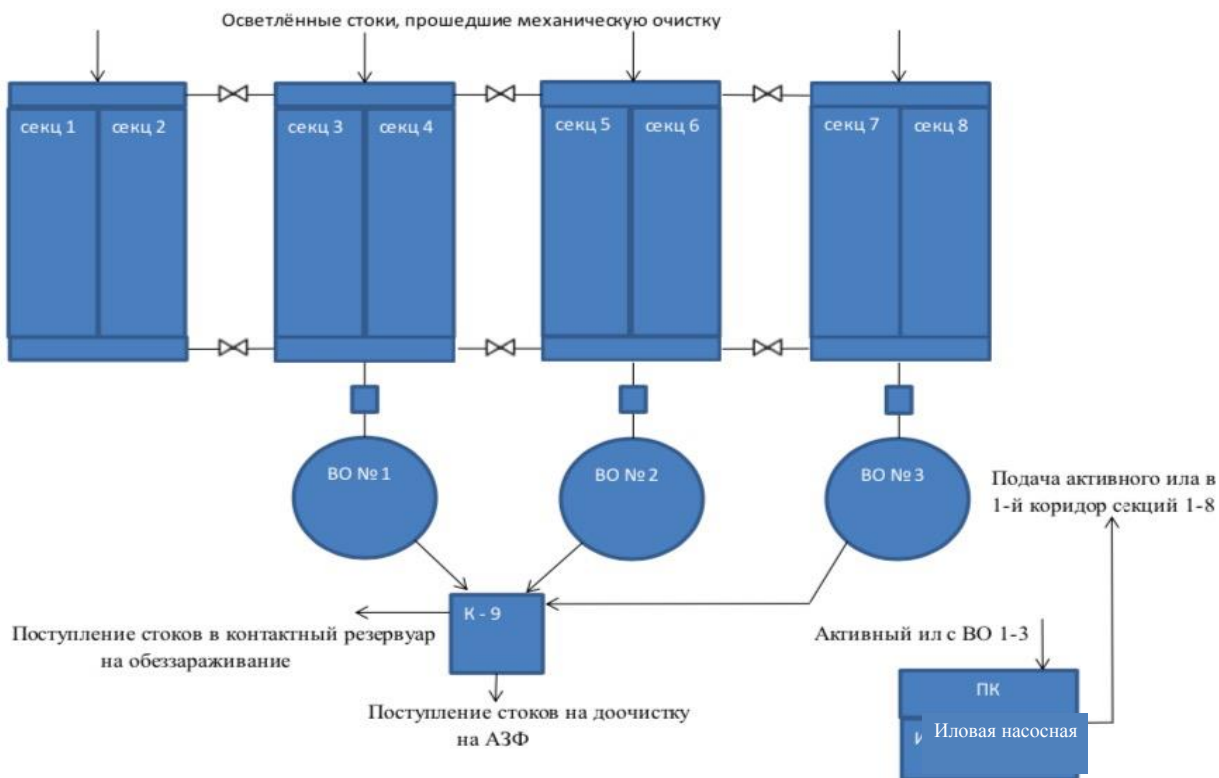


Рисунок 11 – Схема участка биологической очистки сточных вод

Отделение аэрируемых зернистых фильтров предназначено для глубокой доочистки и насыщения кислородом очищенных на биологической очистке сточных вод, с целью снижения содержания взвешенных веществ и БПК.

В состав отделения АЗФ входят:

- аэрируемые зернистые фильтры – 13 шт.;
- насосная станция №1;
- резервуары доочищенной воды- 2 шт.;
- резервуары промывной воды – 2 шт.;
- подводящие и отводящие трубопроводы с арматурой.

Насосная станция №1 предназначена для подачи доочищенной воды на промывку аэрируемых зернистых фильтров, а также для перекачки грязных промывных вод от аэрируемых фильтров и сточных вод при опорожнении емкостных сооружений в приемную камеру БОС.

«После вторичных отстойников очищенная вода самотеком по двум трубопроводам поступает в корпус аэрируемых зернистых фильтров и подается на фильтры, представляющие собой открытые железобетонные резервуары площадью 9х9 м, загруженные гранитным гравием и крупнозернистым кварцевым песком. Вода подается сверху и, проходя слой фильтрующей загрузки, очищается. Отфильтрованная вода отводится через дренажную систему, состоящую из перфорированных полиэтиленовых труб, и далее по двум трубопроводам самотеком поступает в контактный резервуар для обеззараживания раствором гипохлорита натрия или на установки ультрафиолетового обеззараживания, далее в приемный резервуар насосной станции №3 СПУ и откачивается в Саратовское водохранилище» [21, с. 387]. По окончании фильтроцикла фильтр отключается на промывку.

Сооружения обеззараживания очищенных стоков. В состав сооружений обеззараживания очищенных сточных вод входит станция ультрафиолетового обеззараживания очищенных стоков и установка приготовления раствора гипохлорита натрия и подачи его в контактный резервуар.

На станции УФО производится обеззараживание очищенных и доочищенных стоков вследствие воздействия на микроорганизмы ультрафиолетового бактерицидного излучения с длиной волны 254 нм, для достижения губительного уровня облучения для микроорганизмов.

Установка приготовления и подачи раствора гипохлорита натрия используется для обеззараживания стоков, которые не прошли обеззараживание на установках УФО. Данная установка предназначена для получения раствора гипохлорита натрия необходимой концентрации, с целью уничтожения содержащихся в сточных водах патогенных микроорганизмов.

Станция УФО состоит:

- установки обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением – 4 шт;

- насосы для откачки дренажных вод из приемков - 2 шт;
- электрощитовая;
- помещение для хранения щавелевой кислоты.

При биологической очистке стоков в аэротенках удаляется от 91 до 98 % болезнетворных бактерий.

На обеззараживание поступают очищенные сточные воды, которые прошли механическую, биологическую очистку и доочистку на аэрируемых зернистых фильтрах. Подаваемые на установки ультрафиолетового обеззараживания сточные воды должны соответствовать показателям физико- химического качества, согласно нормативу водоотведения по составу сточных вод ПДС или ВСС (временно согласованный сброс, установленный лицензией на водопользование). Показатели обеззараживания доочищенной сточной воды представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели обеззараживания доочищенной сточной воды

Наименование показателей	Единицы измерения	Нормируемые значения показателей
Взвешенные вещества	мг/л	10
БПК5	мг O ₂ /л	10
ХПК	мг O ₂ /л	50
Число термотолерантных колиформных бактерий в 1 л	-	5000000
Колифаги БОЕ/л	-	50000

Обрабатываемые ультрафиолетовым излучением сточные воды должны иметь достаточную прозрачность, так как интенсивность проникновения УФ- лучей в загрязненных стоках быстро падает. Доза УФ- облучения определяется качеством и характером очистки сточных вод, но должна составлять не менее 30 мДж/см². Измерение интенсивности бактерицидного излучения осуществляется при помощи специальных датчиков-приемников излучения. Для технического обслуживания установок используется щавелевая кислота.

Сооружения обработки осадка. Сооружения обработки осадка включают в себя: эробные стабилизаторы – 8 шт.; лоуплотнители – 2 шт.; станок центрифугирования осадка; иловые площадки.

«В процессе очистки стоков образуется полупродукт – свежий осадок, который состоит из сырого осадка и избыточного ила. Свежий осадок содержит 20-30% минеральных веществ и 70-80% органических веществ, в большой степени разбавленных водой. Он имеет очень неприятный запах, плохо отделяется от воды, легко загнивает и содержит огромное количество микробов и яйца гельминтов. Для устранения этих недостатков свежий осадок подлежит аэробной стабилизации» [6, с. 35].

Аэробная стабилизация представляет собой самоокисление свежего осадка воздухом в аэробном стабилизаторе в присутствии кислорода. Сжатый воздух на стабилизатор подается от воздуходувных агрегатов и распределяется по секциям через трубы, уложенные по дну.

Каждая секция стабилизатора имеет два коридора. В начало первого коридора поступает сырой осадок с первичных отстойников и избыточный активный ил с иловой насосной станции. Период аэрации по технологии принят равным 6,5 суткам.

Сброженный осадок далее через распределительную камеру направляется на илоуплотнители, где происходит его уплотнение. Илоуплотнители представляют собой радиальные отстойники диаметром 24 м. Время уплотнения составляет 6 часов. Осветленная иловая вода переливается в периферийный лоток илоуплотнителя и далее направляется в приемную камеру насосной станции № 2, также туда поступают хозяйственно-бытовые стоки с объектов очистных сооружений и сточная вода и осадок при опорожнении илоуплотнителей и аэробных стабилизаторов при проведении ремонтов. Уплотненный стабилизированный осадок с влажностью 97-98% из илоуплотнителя поступает на установку центрифугирования.

Установка центрифугирования осадка. Установка центрифугирования

осадка предназначена для уменьшения влажности уплотнённого осадка с 97-98 % до 70 % с целью сокращения его объема и обеспечения рациональных условий для его хранения и утилизации.

На установках центрифугирования марки ОГШ и G-21,22,25 происходит разделение уплотненного осадка на две фазы – жидкую (фугат) и твердую (кек), твердые частицы осаждаются на внутренней стенке корпуса барабана и снимаются шнеком, который вращается с меньшей дифференциальной скоростью относительно барабана.

Обезвоженный осадок с влажностью 70% после установок центрифугирования подается в бункера X-6/1,2. Выгрузка кека из бункеров производится в автомашины и вывозится либо на иловые площадки, либо в места, согласованные с контролирующими органами.

Фугат самотеком поступает в приемный резервуар насосной станции № 2. Для подачи сжатого воздуха на аэрируемые песколоски, жиросборники, аэротенки, аэрируемые зернистые фильтры и аэробные стабилизаторы предназначена воздуходувная станция.

Общая схема цеха нейтрализации и очистки промышленных стоков представлена в приложении Б.

2.2 Оценка эффективности биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» и соответствие нормам сброса

В соответствии с Правилами осуществления контроля состава и свойств сточных вод, утверждёнными Правительством РФ от 22 мая 2020 г. № 728 «при осуществлении контроля состава и свойств сточных вод организация, осуществляющая водоотведение, проверяет состав и свойства сточных вод, отводимых абонентами, на соответствие нормативам допустимых сбросов загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов (далее - нормативы допустимых сбросов), и (или) лимитам

на сбросы загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов (далее - лимиты на сбросы), указанным абонентами в декларации о составе и свойствах сточных вод, отводимых в централизованную систему водоотведения (далее - декларация о составе и свойствах сточных вод), и (или) нормативам водоотведения по составу сточных вод, требованиям к составу и свойствам сточных вод, установленным в целях предотвращения негативного воздействия сточных вод на работу централизованной системы водоотведения» [34].

В 2019 году проектной компанией на основании технологических регламентов ПАО «Тольяттиазот» и абонентов транзитных стоков, был разработан Проект Нормативов Допустимых Сбросов. Данный проект был согласован следующими организациями: отделом водных ресурсов по Самарской области, территориальным управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) по Самарской области, Федеральной службой по надзору в сфере природопользования (Управлением Росприроднадзора по Самарской области).

На основании согласованного Проекта НДС отделом водных ресурсов по Самарской области было принято Решение о праве пользования водным объектом ПАО «Тольяттиазот» и выдано Разрешение на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду (водный объект – Саратовское водохранилище). В соответствии с этим Разрешением, а также Распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 июля 2018 года N 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» [33] нормировано двадцать восемь ингредиентов для контроля в окружающую среду, все эти ингредиенты входят в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды [25].

Действие проекта составляет 5 лет, по истечении срока разрабатывается новый Проект НДС с учётом изменений в технологических регламентах ПАО «Тольяттиазот» и абонентов транзитных стоков.

При разработке проекта НДС следует руководствоваться пересмотру ранее установленных НДС в сторону снижения вплоть до полного прекращения в перспективе сбросов загрязняющих веществ в водные объекты согласно

«Методическим указаниям по рассмотрению проектов предельно допустимых сбросов (НДС) веществ, поступающих в водные объекты со сточными водами». В таблице 4 представлен перечень нормируемых показателей, их допустимая концентрация, согласно Решению о предоставлении водного объекта в пользование ПАО «Тольяттиазот» и фактические значения, полученные по результатам анализов, выполненные аккредитованной испытательной лабораторией цеха очистных сооружений ПАО «Тольяттиазот».

Таблица 4 – Качество сточных вод после БОС ПАО «Тольяттиазот»

Определяемый показатель	Приёмная камера БОС, мг/дм ³	Допустимая концентрация, мг/дм ³	Фактическая концентрация после БОС, мг/дм ³
1	2	3	4
Азот аммонийный	30,75±4,59	8,75	0,32
Ион аммония	41,00	11,22	0,31
Нитрат-анион	1,70±0,51	74,69	74,69
Азот нитратный	0,39	17,18	17,18
Нитрит-ион	0,51±0,07	0,08	0,04
Азот нитритный	0,15	0,02	0,02
Карбамид	28,65±7,16	44,94	16,91
Железо (общее)	6,83±0,68	1,40	0,59
Фосфаты (по фосфору)	1,08±0,17	1,15	0,98
БПК полный	288,89±26,00	19,50	2,12
БПК ₅	289,40	13,00	0,94
Сульфаты	221,67±33,25	369,18	169,73
Хлориды	94,79±8,53	114,04	97,21

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Нефтепродукты	0,83±0,20	0,39	0,08
Взвешенные вещества	434,74±43,47	9,20	8,30
АПAB	0,443±0,09	0,09	<0,02
Ионы меди	0,041±0,01	0,00	0,00
Ионы цинка	0,03±0,01	0,07	0,00
Метанол	0,47±0,13	0,78	0,1
Кальций	46,25±5,19	111,00	72,30
Магний	28±2,80	33,80	30,80
Свинец	0,0027±0,00	0,01	0,00
Хром шестивалентный	0,02±0,01	0,11	0,11
Никель	0,01	0,01	0,00
Фторид-анион	0,72±0,23	1,08	0,14
Капролактамы	0,00	0,10	0,00
Алюминий	0,05±0,02	0,71	0,02
Формальдегид	1,76±0,32	0,18	0,07
Бензол	0,01	0,02	0,01
Титан	0,00	0,01	0,00
Фенолы	0,04±0,02	0,011	0,01
Сухой остаток	914,00±82,26	1337,75	1337,75

Контроль качества сточных вод, прошедших очистку, ведётся согласно графику ежемесячных анализов лабораторией очистных сооружений. Также осуществляются проверки со стороны заводской санитарной лаборатории (производственный контроль) и надзорных контролирующих органов. При нарушениях норм сбросов возлагаются штрафы на предприятие в целом и деприми́рование цеха очистных сооружений.

Очистные сооружения «Тольяттиазот» находятся в эксплуатации уже более 35 лет, технология очистки уже морально устарела, конструкции сооружений имеют высокую степень износа, что осложняет дальнейшую работу и не позволяет достичь ни требуемого качества очищенного стока, ни проектных мощностей. Степень очистки по некоторым показателям, такие как азот нитратный, взвешенные вещества находятся на верхнем пределе допустимых концентраций. Превышение норматива очищенных сточных вод по содержанию веществ обусловлены: вспуханием ила и низкой скоростью осаждения из-за недостаточной аэрации в аэротенках.

Очистные сооружения ПАО «Тольяттиазот» нуждаются в

технологическом и инженерном решении, которое помогло бы получить стабильные данные о качестве сточной воды в соответствии с критериями сброса сточных вод в водоём рыбохозяйственного назначения и проектом НДС, а также возможности повторного использования - санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям потребителя.

Биологический метод очистки сточных вод, представленный в технологическом регламенте, обеспечивает глубокую нитрификацию и не предусматривает зону денитрификации – процесса удаления нитратов в анаэробных условиях. Эффективная нитрификация зачастую приводит к ухудшению качества очищенных стоков в результате протекания процесса денитрификации во вторичных отстойниках, который приводит к всплыванию ила на поверхность осветлителя и выносу его вместе с очищенной водой, загрязняя водоём. На рисунке 12 показано, как выглядит поверхность «зеркала» вторичного отстойника в таких условиях.



Рисунок 12 – Фото вторичного отстойника со всплывшим илом на поверхности

Необходимо использование технологии биологической очистки, включающей: окисление органических соединений и многоступенчатые процессы нитрификации-денитрификации в аэротенках под воздействием бактериальных культур.

Обязательным условием удовлетворительного функционирования и хорошей осаждаемости активного ила является необходимое количество и оптимальное соотношение органических веществ и биогенных элементов в сточных водах, поступающих на биологическую очистку. СНиП 2.04.03-85 рекомендует для смешанных сточных вод (бытовых и промышленных) содержание органических веществ и основных биогенных элементов в пропорции: $\text{БПК}_5:\text{N}:\text{P}=100:5:1$ [20].

По данным технологического регламента, на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» соотношение $\text{БПК}_5:\text{N}:\text{P}$ в среднем составляет 289,4:30,75:1,08 [25]. Таким образом, в осветлённых водах содержится избыток азота и недостаток фосфора. Следовательно, для поддержания удовлетворительных условий синтеза биомассы активного ила возникает технологическая необходимость подпитки активного ила легкоокисляемыми веществами.

2.3 Исследования условий удовлетворительного протекания процессов нитрификации-денитрификации

Перед сооружениями биологической очистки сточных вод стоит задача глубокого удаления всех форм азотсодержащих веществ, что происходит в сложных многостадийных процессах, требующих обеспечения определённых условий среды. Азот в сточных водах в основном представлен в виде минеральной (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) и органической (белок тканей организмов, аминокислоты, органические соединения) составляющей. На очистных сооружениях, предназначенных для удаления азота, протекают четыре процесса: аммонификация, ассимиляция, нитрификация и денитрификация.

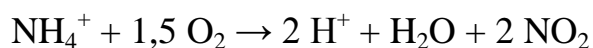
Аммонификация – это бактериальное превращение органического азота в аммонийный, осуществляемое гетеротрофными гнилостными бактериями. Также в результате аммонификации образуется фосфор и сероводород. Преимущественно, с учётом параметров функционирования

очистных сооружений (особенно время нахождения стоков в них) и природы органического азота, основная часть органического азота аммонифицируется без проблем. Этому процессу может препятствовать низкое значение рН и низкая температура (менее 10°C). Неудовлетворительная аммонификация приводит к неэффективному протеканию процесса нитрификации в аэротенках.

Ассимиляция – это расходование части аммонийного азота для бактериального синтеза.

Нитрификация – это сложный процесс, осуществляемый в два этапа специализированными автотрофными микроорганизмами.

Первая стадия - окисление аммиака до нитрит-аниона, которое осуществляют нитрозные бактерии родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* и *Nitrospira* по следующему механизму:



Вторая стадия - окисление аниона азотистой кислоты до аниона азотного. Осуществляется нитратными бактериями (почвенный род *Nitrobacter* и водные *Nitrospira*, *Nitrococcus*, *Nitrospina*) по следующей схеме:



Нитрификация – достаточно медленный процесс, зависящий от многих внешних факторов, таких как уровень рН, температура, концентрация растворённого кислорода, присутствие токсичных или ингибирующих примесей.

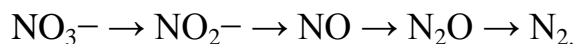
Процессы нитрификации зависят от температуры сточных вод, поступающих на очистку. При температуре +9°C скорость нитрификации снижается, при +6°C – прекращается полностью. При температуре более +37°C также снижается скорость нитрификации вследствие уменьшения содержания растворённого кислорода в стоках.

При недостатке растворённого кислорода в иловой смеси процесс нитрификации замедляется и угнетается. При этом требуется достаточно высокий уровень растворённого кислорода не только для поддержания

дыхательной деятельности микроорганизмов активного ила, но и для тщательного перемешивания в аэротенках иловой смеси. Поддержание такого кислородного режима можно достичь либо подачей большого количества воздуха, либо совершенной системой аэрации (оптимальное сочетание крупнопузырчатых и мелкопузырчатых аэраторов).

Оптимальными для развития бактериальных культур и, как следствие, для протекания процессов окисления и нитрификации являются следующие условия: растворенный кислород от 1,5 до 2 мг/л; температура 25-30°C; pH 7,2-8,0. Для поддержания удовлетворительной нитрификации необходимы также низкие нагрузки на активный ил и достаточный возраст ила (не менее 4-5 суток).

Денитрификация – процесс, при котором часть бактерий ила восстанавливает нитраты до газообразного азота. Денитрификация осуществляется бактериями *Tiobacillus denitrificans*, *Pseudomonas fluorescens*, *Ps. Aeruginosa*, *Nitrococcus*, для нормальной жизнедеятельности которых требуются бескислородные условия. Процесс протекает по многоступенчатой схеме:



Для обеспечения эффективного процесса денитрификации необходимо учитывать следующие параметры: температура, уровень растворённого кислорода, источник органического углерода и в меньшей мере – значение pH. Так как в ходе реакции денитрификации образуется щёлочь, величина pH остаётся достаточно высокой. Оптимальный уровень pH составляет 7 – 8,2.

Температура очищаемых сточных вод влияет на скорость денитрификации. С увеличением температуры скорость денитрификации возрастает, оптимальные значения находятся в пределах 10-35°C. При наличии меньших и больших значений температур при обосновании необходимо предусматривать корректировку температуры (подогрев, либо охлаждение), либо применять другие методы очистки.

Наличие растворённого кислорода ингибирует денитрификацию.

Практический опыт показывает, что даже незначительная крупнопузырчатая аэрация подавляет процесс денитрификации. При этом уплотнение анаэробного ила губительно для его функционирования. Для обеспечения необходимого кислородного режима на этой стадии рекомендуется обеспечивать механическими мешалками, установленными у дна аэротенков и исключаящими обогащение кислородом воздуха иловой смеси.

Процесс нитрификации может потребовать большого количества органических соединения для подпитки бактерий, что может вызвать их дефицит в зоне денитрификации. В связи с этим для эффективного проведения процесса денитрификации может возникнуть технологическая необходимость подпитки активного ила легкоокисляемыми веществами. На стадиях пред- и постаноксии может быть добавлен источник экзогенного углерода, например метанол или ацетат, для того, чтобы внести БПК, необходимую для восстановления нитратов и значительного усиления кинетики денитрификации.

«Потребность во внешнем углероде допускается принимать из расчета 5 кг ХПК/кг азота, подлежащего денитрификации и не обеспеченного субстратом. При использовании органических реагентов надлежит принимать необходимые меры по минимизации их потребления (автоматизация контроля необходимости и дозирования реагентов), а также учитывать добавляемое количество органического вещества при расчетах потребности сооружения в кислороде, а также прироста избыточного ила» [37, с. 377]. «Для добавления химического соединения предусматриваются станции дозирования, которые позволяют корректировать подачу раствора, учитывая качественную и количественную нагрузку по поступающим сточным водам на участок биологической очистки» [40, с. 49].

Выводы по разделу 2

Технологический процесс очистки сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» состоит из нескольких последовательных этапов: механическая очистка, биологическая очистка, доочистка

биологически очищенных сточных вод на аэрируемых зернистых фильтрах, обеззараживание доочищенных сточных вод, обработка осадка.

Очистные сооружения находятся в эксплуатации уже более 35 лет, технология очистки морально устарела, конструкции сооружений имеют высокую степень износа, что осложняет дальнейшую работу и не позволяет достичь ни требуемого качества очищенного стока, ни проектных мощностей. Степень очистки по некоторым показателям находится на верхнем пределе допустимых значений. Биологический метод очистки сточных вод, представленный в технологическом регламенте, обеспечивает глубокую нитрификацию и не предусматривает зону денитрификации. Превышение норматива очищенных сточных вод по содержанию взвешенных веществ обусловлены: вспуханием ила и низкой скоростью осаждения из-за недостаточной аэрации в аэротенках.

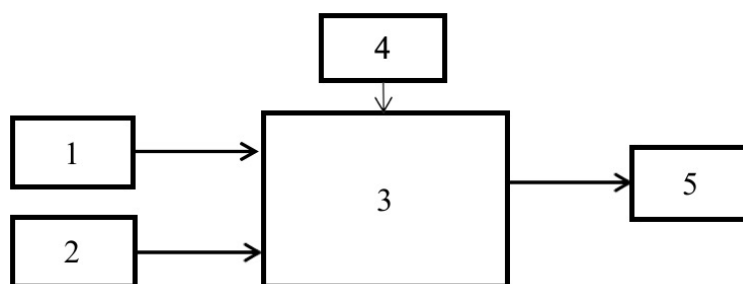
Очистные сооружения ПАО «Тольяттиазот» нуждаются в технологическом и инженерном решении, которое помогло бы получить стабильные данные о качестве воды в соответствии с критериями сброса сточных вод в водоём рыбохозяйственного назначения. Решением данной проблемы является использование технологии биологической очистки, включающей: окисление органических соединений и многоступенчатые процессы нитрификации-денитрификации в аэротенках под воздействием бактериальных культур с использованием совершенных аэрационных систем. При внедрении данной технологии необходимо выдержать определённые условия удовлетворительного протекания процессов нитрификации-денитрификации. Многостадийные процессы глубокого удаления всех форм азотсодержащих веществ зависят от многих внешних факторов, таких как уровень рН, температура, концентрация растворённого кислорода, присутствие токсичных или ингибирующих примесей. Важно выдержать соответствующие кислородные режимы для каждого процесса и определить содержание в очищаемых сточных водах органических веществ и основных биогенных элементов.

3 Предложение совершенствованного метода биологической очистки сточных вод

3.1 Модернизация технологического процесса биологической очистки в условиях производственной площадки на очистных сооружениях

Объектом исследования выступили биологические очистные сооружения ПАО «Тольяттиазот». «Как уже говорилось выше, технология очистки на данных очистных сооружениях морально устарела, конструкции сооружений имеют высокую степень износа, что не позволяет достичь требуемого качества очистки сточных вод. Установленные нарушения обусловлены вспуханием ила и низкой скоростью осаждения из-за недостаточной аэрации в аэротенках, а также не предусмотрены различные кислородные режимы для полного процесса биологической очистки» [25, с. 11].

Биологический метод очистки сточных вод, представленный в технологическом регламенте, условно можно представить в виде схемы, изображённой на рисунке 13.



1 – поступление сточных вод; 2 – подача активного ила; 3 – процесс глубокой нитрификации в аэротенке; 4 – подача технического воздуха во все коридоры аэротенка; 5 – разделение иловой смеси во вторичных отстойниках.

Рисунок 13 – Схема биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот»

Данный способ обеспечивает глубокую нитрификацию и не предусматривает зону денитрификации – процесса удаления нитратов в анаэробных условиях.

Существующая схема подачи воздуха и расположения аэрационных элементов в аэротенке представлена на рисунке 14.

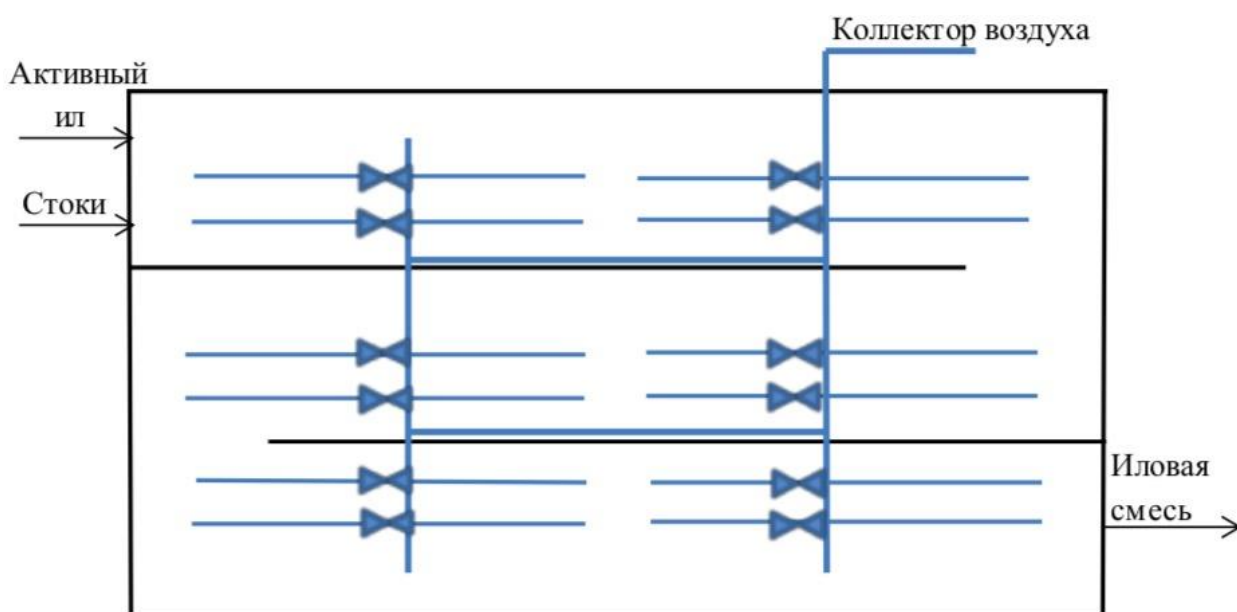


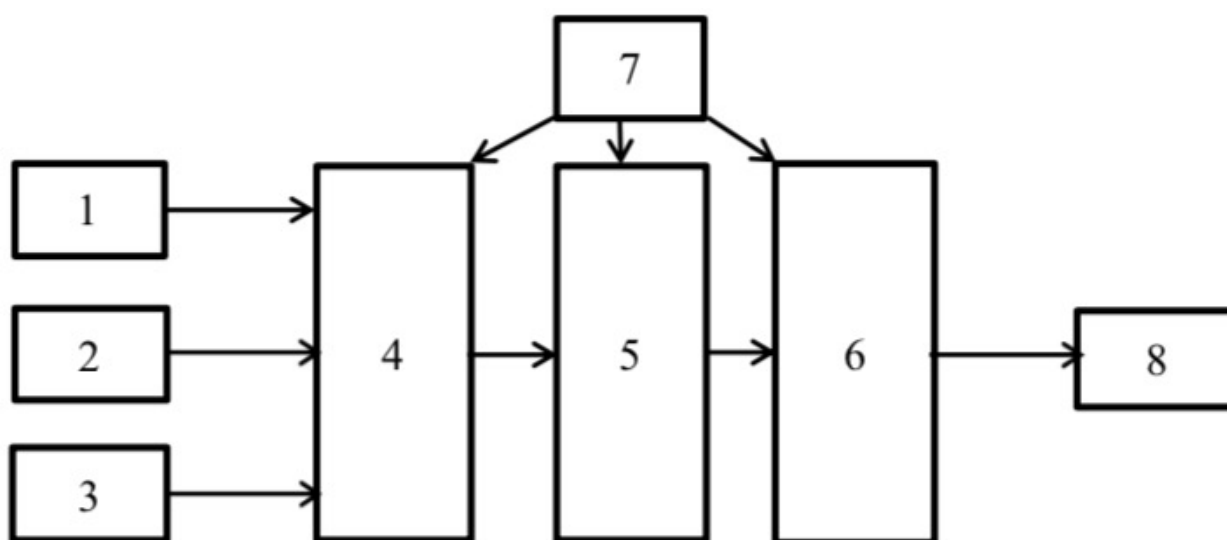
Рисунок 14 – Схема расположения аэрационных элементов и подачи воздуха в аэротенках на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот»

«В аэротенках в качестве аэрирующих элементов используются пластиковые трубчатые аэраторы, смонтированные вдоль стен коридоров. Такие аэраторы относятся к типу незащищенных. При засорении пор происходит неравномерная аэрация иловой смеси в аэротенках, образование зон залегания активного ила. Турбулентные вертикальные циркулирующие потоки, создающиеся при такой системе подачи воздуха в аэротенке, не обеспечивают достаточное время контакта воздуха с иловой смесью» [9, с. 54].

«Необходимо использование технологии биологической очистки, включающей: окисление органических соединений и многоступенчатые процессы нитрификации-денитрификации в аэротенках под воздействием

бактериальных культур с использованием оборудования, позволяющим рационально использовать электроэнергию и подаваемый воздух в аэротенк» [2, с. 33].

Схема биологической очистки с предложенными изменениями представлена на рисунке 15.



1 – поступление сточных вод; 2 – подача активного ила; 3 – подпитка; 4 – процесс нитрификации в аэротенке; 5 – процесс денитрификации в аэротенке; 6 – процесс пост-нитрификации в аэротенке; 7- подача технического воздуха во все коридоры аэротенка; 8 – разделение иловой смеси во вторичных отстойниках.

Рисунок 15 - Схема биологической очистки сточных вод с изменениями

«В условиях отсутствия изоляции аэробных и анаэробных зон существует высокая вероятность развития и накопления нитчатых бактерий в активном иле, что может привести к вспуханию ила. Положительных результатов по удалению азотных соединений легче достичь при относительной изоляции зон нитрификации и денитрификации, когда условия для этих зон обеспечиваются в разных коридорах аэротенка-вытеснителя» [13].

Для анаэробной зоны необходимо выделить коридоры №1 и №3 аэротенка. В этой замене должна быть произведена замена система трубчатой аэрации на тарельчатую систему, которая обеспечит среднепузырчатое диспергирование воздуха.

С учетом неудовлетворительного состояния цеха по механической очистке сточных вод, необходимо применение диффузоров следующего типа: Vibrair (производитель – компания Alfa Laval). Данные диффузоры направлены на функционирование в особо сложных условиях. Внешний вид рассматриваемого диффузора представлен на рисунке 2. Данный диффузор включает в себя полиэтиленовый корпус с закрепленным на нем вибрирующим клапаном. За счет наличия постоянных колебаний клапана данный диффузор не будет забиваться, что обеспечит более длительное его эффективное функционирование. При этом данное устройство не требует большого объема воздуха, насыщая при этом в значительное мере кислородом иловую смесь. Такие аэраторы могут служить свыше 10 лет.



Рисунок 16 – Фото диффузоров Vibrair

«В сточных водах прошедших первую аэробную зону снижается содержание органических веществ, характеризуемых показателями ХПК, БПК, содержание аммонийного азота, и фосфора, а содержание нитритов и в особенности нитратов увеличивается.

Для аноксидной зоны выделяется второй коридор, в котором трубчатые аэраторы заменяются на погружные лопастные мешалки AMG производства компании Grundfos A/S, Дания, при помощи которых осуществляется перемешивание в коридорах-денитрификаторах. Мешалки AMG относятся к типу мешалок со средней частотой вращения и планетарным редуктором, обеспечивающие перемешивание жидкостей с низкой или со средней вязкостью, таким образом, получая однородную смесь или суспензию. Идеально подходят для перемешивания иловой смеси в зоне денитрификации. Конструкция погружной лопастной мешалки AMG представлена на рисунке 17. Рекомендуется распределять всю требуемую производительность между двумя и более мешалками, что позволит обеспечить более равномерное смешивание. В нашем случае во втором коридоре аэротенка, который имеет длину 90 м, целесообразно установить не менее 10 мешалок» [22, с. 12].



Рисунок 17 – Фото погружных лопастных мешалок AMG

«Таким образом, пройдя аноксидную зону, концентрация нитритов и нитратов в сточных водах снижается.

В третьем коридоре – пост-нитрификатор – обеспечивается аэробная зона/зона отдувки.

Исследования показали, что условия удовлетворительного протекания процессов нитрификации-денитрификации, такие как температура и рН сточных вод, на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» полностью выдерживаются. Так как все стоки с промышленных площадок завода поступают на узел контроля и подготовки сточных вод, где происходит их перемешивание и усреднение, в приёмную камеру БОС поступают сточные воды с рН в пределах от 7 до 8,5. Среднегодовая температура сточных вод составляет 26,8 °С.

При внедрении технологии глубокого удаления азота на действующих очистных сооружениях методом нитрификации-денитрификации особое внимание надо уделить факторам, обеспечивающим удовлетворительную денитрификацию. Процесс нитрификации может потребовать большого количества органических соединения для подпитки бактерий, что может вызвать их дефицит в зоне денитрификации. В связи с этим для эффективного проведения процесса денитрификации возникает технологическая необходимость подпитки активного ила легкоокисляемыми веществами» [19, с. 59].

Из-за большой протяжённости ветвей аэрации сложно регулировать подачу воздуха. Для удобства эксплуатации и распределения воздуха в первом и третьем коридорах аэротенка предлагается смонтировать на магистральных воздуховодах дополнительные трубопроводы по воздуху с отсекающей арматурой.

Схема расположения предлагаемых аэрационных элементов и изменённая подача воздуха в аэротенках представлена на рисунке 18.

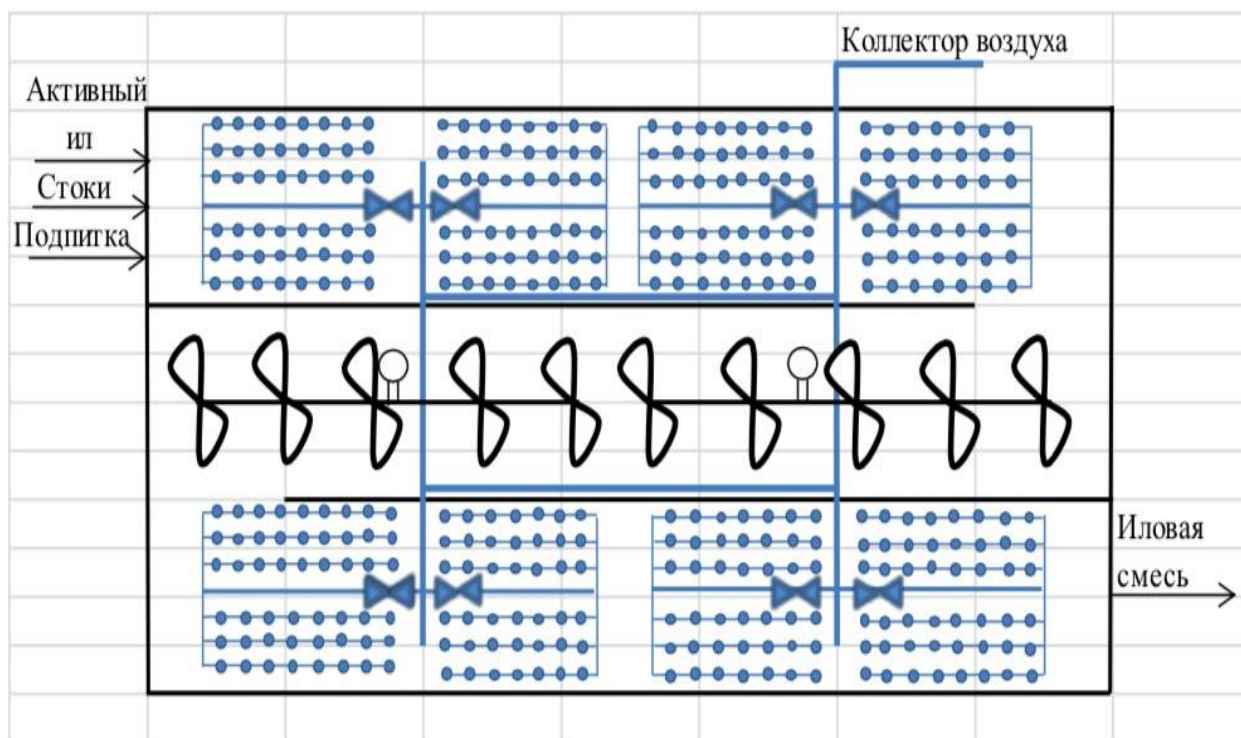


Рисунок 18 – Схема расположения новой аэрационной системы

«Следует рекомендовать замену существующих воздуходувных машин на управляемые воздуходувки в соответствии с принципами воздействия, что приведёт к повышению энергоэффективности очистных сооружений водоотведения и поддержания необходимого кислородного режима в аэротенках. Данные воздуходувки позволяют регулировать подачу воздуха в зависимости от суточных и сезонных колебаний технологических нагрузок (по расходам и концентрациям) и температуры. Корректировка подачи воздуха позволяет изменять интенсивность аэрации в соответствии с потребностью и достичь энергосберегающего эффекта в размере до 35%. Рекомендуется также строительство нового вторичного радиального отстойника, что позволит уменьшить вынос взвешенных веществ и активного ила при увеличении нагрузки на секции аэротенков (например, во время паводков, дождей, вывода в ремонт 5-8 секции аэротенков)» [4, с. 39].

Замена аэрационной системы обеспечит улучшение седиментационных свойств активного ила, что исключает возможность образования участков

залежей и гниения ила. Таким образом, устраняется вынос взвешенных веществ с очищенными сточными водами после вторичного отстойника, обусловленный образованием гнилого ила. Предусмотренная дополнительная зона денитрификации обеспечит на выходе с участка биологической очистки сточных вод значительного снижения нитратов. В результате на выходе с БОС мы получаем очищенные сточные воды, соответствующие требованиям нормативной документации.

3.2 Баланс необходимых питательных веществ в осветлённых сточных водах для обеспечения удовлетворительного функционирования активного ила

Хоз-бытовые сточные воды служат идеальным субстратом для роста и развития гетеротрофных бактерий. Содержание основных питательных веществ в этих стоках определено соотношением: БПК₅:N:P=100:17:5.

Как отмечалось выше, для смешанных сточных вод (бытовых и промышленных) в СНиП 2.04.03-85 рекомендуется содержание органических веществ и основных биогенных элементов в пропорции: БПК₅:N:P=100:5:1.

Определим баланс основных питательных веществ в очищаемых стоках, поступающих на биологическую очистку очистных сооружений ПАО «Тольяттиазот». Расчёт произведём по методике, рекомендованной Жмур Н.С. в своей работе «Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками», с учётом прироста активного ила.

Ежесуточный прирост (Пр, мг/дм³), количество вновь образующегося ила (за счёт изъятия и усвоения загрязняющих веществ из воды) для городских сточных вод и близких по их составу производственных сточных вод определяется по формуле, предложенной в СНиПе 2.04.03 – 85:

$$\text{Пр} = Q \times 0,8\text{Восв} + 0,3\text{Лосв} \quad (1)$$

где Q – среднесуточный объём очищаемых сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$;

Восв – содержание взвешенных веществ после первичных отстойников, $\text{мг}/\text{дм}^3$;

Лосв – $\text{БПК}_{\text{полн}}$ в осветлённых сточных водах после первичных отстойников во взболтанной пробе, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Обзор многочисленных данных результатов гидрохимического анализа возвратного ила на очистных станциях России показал, что если в очищаемых сточных водах нет дефицита биогенных веществ, то в активном иле накапливается в норме общего азота от 5 до 8 %, общего фосфора от 1,4 до 2,5% [19, с. 201]. Концентрации азота и фосфора в сточных водах являются важными показателями санитарно-химического анализа, имеющими значение для биологической очистки, так как азот и фосфор, необходимые компоненты состава клеток.

Полученные величины можно принять за требуемое количество биогенных элементов, которые расходуются активным илом на синтез своей биомассы, и применить их в расчётах баланса основных питательных веществ в очищаемых стоках.

Содержание загрязняющих веществ в осветлённых сточных водах очистных сооружений ПАО «Тольяттиазот» по БПК_5 составляет 289,4, взвешенным веществам после первичных отстойников –158,4, азоту аммонийных солей – 30,75 и фосфатам – 1,08 мг/л.

Рассчитаем прирост активного ила по формуле (1) без учёта очищаемых сточных вод:

$$0,8 \times 158,4 + 0,3 \times 289,4 = 126,72 + 86,82 = 213,54 \text{ г}/\text{м}^3.$$

На синтез биомассы ила требуется 5-8 или в среднем 6% общего азота, следовательно, нам потребуется:

$$213,54 \times 0,06 = 12,81 \text{ г}/\text{м}^3.$$

Имеющееся содержание азота в осветлённых сточных водах значительно превышает расчётное.

На синтез биомассы ила требуется 1,5% фосфора, следовательно, необходимое содержание фосфора составляет:

$$213,54 \times 0,015 = 3,2 \text{ г/м}^3.$$

Таким образом, в осветлённых водах содержится избыток азота и недостаток фосфора. Так как рассматриваемые очистные сооружения производят очистку хоз-бытовых и промышленных стоков от производств ПАО "Тольяттиазот" и от Комсомольского района г.Тольятти, величина азота аммонийного находится в определённых пределах. Существует необходимость устранить дефицит по содержанию органических веществ, характеризующихся показателем БПК₅ и недостаток биогенных элементов в виде фосфора.

Для достижения оптимального соотношения органических веществ и биогенных элементов в сточных водах и подпитки активного ила предлагается подача метанола с заводскими стоками, что приведёт к увеличению значения БПК, и раствора фосфорной кислоты, используемой в качестве нутриента - источника фосфора, в верхние каналы аэротенков с подведением воздуха. Дозирование ведётся от узла приготовления и дозирования, включающего станцию приготовления и станцию дозирования.

Для дозирования фосфорной кислоты настоящим технологическим решением принята станция дозирования DST-2000-DME-60-10-AR.2 (ЗАО «НПК Медиана-Фильтр») на основе двух (одного рабочего/одного резервного) насосов-дозаторов DME-60-10-AR производства Grundfos A/S, Дания. Тип станции приготовления СП2000-4 (ЗАО «НПК Медиана-Фильтр»). Данное оборудование имеет высокое качество и надёжность, оно также просто в обслуживании и эксплуатации.

Идеальным субстратом для роста и жизнедеятельности гетеротрофных бактерий, как уже отмечалось выше, являются бытовые сточные воды. Учитывая, что поток подачи хоз-бытовых стоков неравномерен в дневное и ночное время и содержание органических веществ в сточных водах изменяется, дозировка метанола и фосфорной кислоты корректируется

оператором.

По технологии производства обслуживающий персонал не контактирует с обрабатываемой средой и реагентами. Процессы обработки воды полностью автоматизированы, процессы подачи химических реагентов технологически закрыты и механизированы. Установки ОС эксплуатируются в автоматическом режиме и не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала. От обслуживающего персонала требуется периодическое пополнение реагентами емкостей для дозирования. Емкости для приготовления и дозирования реагентов размещаются на специальных площадках, не допускающих розлив этих реагентов по помещению, где они установлены.

Выводы по разделу 3

На основании проведенного исследования опыта внедрения инновационных методов биологической очистки и проведенного анализа технологии очистки на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» предложен инновационный метод биологической очистки в условиях производственной площадки цеха нейтрализации и очистки промстоков, который позволит получить показатели качества очищенной сточной воды в соответствии с критериями сброса. Данная методика является весьма актуальной в условиях устаревания технологического процесса очистки сточных вод на рассматриваемом предприятии.

Рекомендовано внедрение технологии биологической очистки, включающей: окисление органических соединений и многоступенчатые процессы нитрификации-денитрификации в аэротенках под воздействием бактериальных культур с использованием оборудования, позволяющим обеспечить необходимые кислородные режимы, рационально использовать электроэнергию и подаваемый воздух в аэротенк.

Для зоны нитрификации выделяются первый и третий коридоры аэротенка. Аэробные условия обеспечиваются за счёт использования диффузоров Vibrair компании Alfa Laval, которые не требуют большого

расхода воздуха и благоприятствует высокой эффективности насыщения кислородом и перемешивания иловой смеси. Благодаря своей конструкции диффузоры не забиваются.

Для зоны денитрификации выделяется второй коридор, в котором трубчатые аэраторы заменяются на погружные лопастные мешалки AMG производства компании Grundfos A/S, Дания. Мешалки обеспечивают перемешивание иловой смеси и исключают наличие растворённого кислорода.

Для достижения оптимального соотношения органических веществ и биогенных элементов в сточных водах и подпитки активного ила предлагается подача метанола и раствора фосфорной кислоты, используемой в качестве нутриента - источника фосфора. Дозирование ведется от узла приготовления и дозирования.

Заключение

Реализация проектных решений в первую очередь должна обеспечивать природоохранные мероприятия, направленные на сохранение и улучшение существующего качества очистки сточных вод, сбрасываемых в природный водоём.

Предлагаемое решение по модернизации метода биологической очистки в условиях производственной площадки очистных сооружений ПАО «Тольяттиазот» позволяет достичь повышения качества очистки сточных вод по аммонийным соединениям (аммонийным солям и нитратам) и взвешенным веществам. Превышение данных соединений ведёт к неизбежной эвтрофикации водоёмов и нарушению стабильности экосистемы.

Результат очистки достигается за счёт введения дополнительной зоны денитрификации на этапе биологической очистки и интенсификации зоны нитрификации путём внедрения инновационных методов аэрации. При выборе оборудования для реализации данных методов учитывается неудовлетворительное состояние механической очистки, что позволяет достичь высокого качества очистки без реконструкции сооружений мехочистки. Подача метанола и раствора фосфорной кислоты на участке биологической очистки обеспечивает оптимальное соотношение органических веществ и биогенных элементов в сточных водах, рекомендованное СНиП 2.04.03-85. При выполнении дополнительно рекомендуемых мероприятий, на выходе с очистных сооружений мы можем получить стабильное качество очищенных сточных вод, согласно нормативным требованиям.

Выполненный сравнительный анализ характеристик очистки стоков, представленный в таблице 5, с введением изменений в технологической схеме участка биологической очистки, путем введения дополнительной зоны денитрификации и замены аэрационной системы, позволит достичь следующих результатов:

- снизить содержание в очищенных сточных водах нитратов до значений ниже ПДК, ранее которые находились на верхнем пределе, а при пиковых нагрузках превышали значения ПДК;
- снизить содержание в очищенных сточных водах других соединений азота;
- снизить содержание в очищенных сточных водах взвешенных веществ вследствие улучшения седиментационных свойств активного ила;
- создать благоприятные условия для удовлетворительного функционирования активного ила за счёт необходимого количества и оптимального соотношения органических веществ и биогенных элементов в сточных водах, соотношение БПК₅:N:P в пропорции 100:5:1 после внедрения технологии выдерживается;
- повысить эффективность использования (растворения) кислорода воздуха.

На основе литературного анализа, были выделены наиболее эффективные инновационные проекты, в большей степени приемлемые для рассматриваемых очистных сооружений, с применением следующего оборудования:

- диффузоры Vibrair производства компании Alfa Laval, Швеция;
- погружные лопастные мешалки AMG производства компании Grundfos A/S, Дания;
- станция приготовления типа СП2000-4, станция дозирования типа DST- 2000-DME-60-10-AR.2 (ЗАО «НПК Медиана-Фильтр», Россия).

Внедрение технологии нитри-денитрификации на участке биологической очистки на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» на базе предложенного оборудования даёт следующие преимущества:

- обеспечение эффективной очистки по всем соединениям азота в соответствии нормам сброса;

- снижение негативного воздействия на окружающую среду;
- снижение платы за сброс биогенов;
- обеспечение равномерной аэрации, полного перемешивания иловой смеси и исключение образования «бурунов»;
- энергоэффективность за счёт использования механического перемешивания и высокой эффективности использования кислорода аэрирующего воздуха, что даёт возможность использования воздуходувки меньшей производительности;
- возможность работать в сложных условиях, обусловленных неудовлетворительным состоянием сооружений механической очистки;
- исключение возможности образования участков залежей и гниения ила, тем самым устраняется вынос взвешенных веществ с очищенными сточными водами.

Очистные сооружения ПАО «Тольяттиазот» рассматриваются как типичные, разработка по внедрению технологии нитри-денитрификации на базе предложенного оборудования может быть применена на очистных сооружениях с аналогичной технологической схемой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Веницианов Е. В. Вода для жизни—в мире и в России // Экология и жизнь. 2012. № 12. С. 72–77.
2. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов. М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.
3. Данилович Д. А. Опыт совершенствования и оценки эффективности аэроционных систем // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 1. С. 38–50.
4. Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М. : АКВАРОС, 2003. 512 с.
5. Жмур Н. С. Практика глубокого удаления соединений азота и фосфора в процессе биологической очистки сточных вод в странах Европейского союза и в России (по материалам отчета Европейской Комиссии и результатам обследования очистных сооружений) // Водоснабжение и канализация. 2010. № 5. С. 31–41.
6. Ким В. С. Внедрение энергоэффективной биотехнологии очистки городских сточных вод // Водоочистка. 2018. № 4. С. 34–38.
7. Мишуков Б. Г. Биомембранная технология очистки сточных вод модулей // Вода и экология: проблемы и решения. 2011. № 1. С. 17–22.
8. Николаев Ю. А. Использование технологии биоаугментации для улучшения качества очистки сточных вод // Водоочистка. 2018. № 5. С. 13–22.
9. Очистные сооружения: современные технологии и оборудование // Водоочистка. 2018. № 8 С. 52–55.
10. Способ повышения эффективности биологической очистки химически загрязнённых сточных вод. Патент № 2415086 Российская Федерация МПК С2, С02F 3/02. / Кирсанов В.В., Кудряшов В.Н., Гафуров Р.Р. и др.; патентообладатель ОАО «Казаньоргсинтез». № 2009114004/05; заявл. 13.04.09; опубл. 27.03.11, Бюл. № 9. 9 с.: ил.

11. Способ очистки аммонийсодержащей сточной воды посредством регулирования pH. Патент № 2418749 Российская Федерация МПК C2, C02F 3/30, C02F 3/12, C02F 3/02. / ВЕТТ Бернхард.; патентообладатель Университет Иннсбрук институт ФЮР Умвельттехник. № 2008115428/05; заявл. 20.09.06; опубл. 20.05.11, Бюл. № 14. 11 с.: ил.

12. Способ обеспечения надёжности очистки сточных вод от соединений азота и фосфора. Патент № 2440306 Российская Федерация МПК C1, C02F 3/30, C02F 101/16, C02F 103/04. / Васильев Б.В., Трухин Ю.А., Рублевская О. Н. и др.; патентообладатель Государственное Унитарное Предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга». № 2010124223/05; заявл. 11.06.10; опубл. 20.01.12, Бюл. № 2. 16 с.: ил.

13. Способ интенсификации биологической очистки сточных вод. Патент № 2445275 Российская Федерация МПК C2, C02F 3/02, C02F 3/34. / Шулаев М.В., Фаттахов С.Г., Хабибуллина Л.И. и др.; патентообладатель(и) Учреждение Российской академии наук институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова Казанского научного центра Российской академии наук. № 2009149504/05; заявл. 29.12.09; опубл. 20.03.12, Бюл. № 8. 38 с.: ил.

14. Способ повышения эффективности аэробной очистки сточных вод. Патент № 2472719 Российская Федерация МПК C2, C02F9/14, C02F 3/10, C02F 1/28. / Серпокровлов Н.С., Смоляниченко А.С., Марочкин А. А. и др.; патентообладатель(и) Серпокровлов Н.С., Смоляниченко А.С., Марочкин А. А. и др. № 2011107616/05; заявл. 28.02.11 опубл. 20.01.13, Бюл. № 2. 5 с.: ил.

15. Устройство для аэрации и перемешивания сточных вод. Патент № 2522336 Российская Федерация МПК C1, C02F 3/02, C02F 3/16, C02F 7/00. / Козаченко А.И., Кузнецов Б.Д.; патентообладатель ООО «АНХ-ИНЖИРИНГ». № 2012148737/05; заявл. 16.11. 12; опубл. 10.07.14, Бюл. № 19. 5 с.: ил.

16. Способ биологической очистки сточных вод от соединений фосфора. Патент № 2587181 Российская Федерация МПК C02F 3/30. / Платонова О.А., Захватаева Н.В., Шеломков А.С. и др.; патентообладатель

АО «Институт МосводоканалНИИпроект». № 2017151874/05; заявл. 22.12.14; опубл. 20.06.16, Бюл. № 17. 9 с.: ил.

17. Способ аэрации в аэротенке системы очистки сточных вод. Патент № 2264355 Российская Федерация МПК С2, С 02 F 3/30. / Кармазинов Ф.В., Крючихин Е.М., Николаев А.Н. и др.; патентообладатель(и) Государственное Унитарное Предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга», ЗАО «КРЕАЛ». № 2004101679/15; заявл. 20.01.04; опубл. 20.11.05, Бюл. № 32. 10 с.: ил.

18. Фильтрующее устройство в виде полой волоконной мембраны и его применение при очистке сточных вод, а также мембранный биореактор. Патент № 2314864 Российская Федерация МПК С2, В01D 65/02, В01D 63/04, С02F 3/06, С02F 3/12. / ДЕМОУЛИН Гуннар.; патентообладатель СФЦ Умвельттехник ГМБХ. № 2004136167/15; заявл. 23.04.03; опубл. 20.01.08, Бюл. № 2. 15 с.: ил.

19. Проскураков В. А. Очистка сточных вод в химической промышленности. М. : Химия, 1977. 463 с.

20. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с Изменением N 1): введ. в действие с 01.01.2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094155> (дата обращения: 05.02.2021).

21. Субботина Ю. М. Методы биологической очистки сточных вод // Учёные записки. 2011. № 6. С. 385–389.

22. Терещук М. Н. Технология SBR: новые перспективы // Вода и экология: проблемы и решения. 2011. № 1. С. 3–16.

23. Технический справочник по обработке воды : в 2т. Том 1: пер. с фр. СПб. : Новый журнал, 2007. 878 с.

24. Технический справочник по обработке воды : в 2т. Том 2: пер. с фр. СПб. : Новый журнал, 2007. 920 с.

25. Технологический регламент «Цех нейтрализации и очистки сточных вод». Тольятти : ПАО «Тольяттиазот», 2008. 108 с.

26. Хаммер М. Технология обработки природных и сточных вод. М. :

Стройиздат, 1979. 400 с.

27. Ширтанова Ю. В. Роль аэрационных систем в повышении эффективности биологической очистки сточных вод // Приоритетные научные направления: от теории к практике: сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции. Новосибирск : Издательство ЦРНС, 2019. 306 с.

28. Федеральный закон РФ № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 30 декабря 2020 года) (редакция, действующая с 1 января 2021 года) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 18.02.2021).

29. СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.06.2000) (с изм. от 04.02.2011, с изм. от 25.09.2017) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006938> (дата обращения: 18.03.2021).

30. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 08.12.2020) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ (дата обращения: 13.03.2021).

31. Приказ Минприроды Российской Федерации от 17 декабря 2007 г. № 333 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» (с изменениями на 15 ноября 2019 года) // Гарант: справочно-правовая система.

32. Постановление правительства РФ от 19.04.2012 № 350 «О федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» (с изменениями на 20 мая 2020 года) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902343713> (дата обращения: 05.03.2021).

33. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 июля 2018 года N 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420286994> (дата обращения: 05.03.2021).

34. Постановление Правительства Российской Федерации от 22.05.2020 N 728 «Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод и о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_353375/ (дата обращения: 15.03.2021).

35. Fate of Pathogen Indicators During Extended Aeration Wastewater Treatment // International Journal of Integrated Engineering. 2018. Vol. 7 No. 1. P. 15.

36. Small scale waste water treatment by anaerobic process at common effluent treatment plant // International Journal of Engineering sciences & research technology. 2018. № 4(7), P. 1031–1035.

37. Stephen T.-L.T., Ivanov V., Wang X.-H., Tay J.-H. Bioaugmentation and enhanced formation of microbial granules used in aerobic wastewater treatment // Applied Microbiology and Biotechnology. 2006. V.70. Issue 3. P.374–381.

38. The role of duckweed (*Lemna minor* L.) in secondary clarifier tanks // Sakarya University Journal of Science. 2008. Vol 12, No 1. P. 28–31.

39. Treatability Studies of Dairy Wastewater by Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor // Civil and Environmental Research. 2012. Vol. 2, No 2. P. 43–48.

40. Upgrading of a wastewater treatment plant with a hybrid moving bed biofilm reactor (MBBR) // AIMS Environmental Science. 2017. Volume 1, Issue 2. P. 45–52.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Требования к составу и свойствам воды

Таблица А.1 – Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования

Показатели	Категории водопользования	
	для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
1	2	3
Взвешенные вещества	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на	
	0,25 мг/куб. дм	0,75 мг/куб. дм
	Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/куб. дм природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5%. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	
Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей	
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике	
	20 см	10 см
Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые:	
	непосредственно или при последующем хлорировании или других способах обработки	непосредственно
Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3 град. С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
Водородный показатель (рН)	Не должен выходить за пределы 6,5 - 8,5	

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

1	2	3
Минерализация воды	Не более 1000 мг/куб. дм, в т.ч.: хлоридов - 350; сульфатов - 500 мг/куб. дм	
Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/куб. дм в любой период года, в пробе, отобранной до 12 часов дня	
Биохимическое потребление кислорода (БПК5)	Не должно превышать при температуре 20 град. С	
	2 мг O ₂ /куб. дм	4 мг O ₂ /куб. дм
Химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость), ХПК	Не должно превышать:	
	15 мг O ₂ /куб. дм	30 мг O ₂ /куб. дм
Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ	
Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций	
Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, власоглав, токсокар, фасциол), онкосферы тениид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших	Не должны содержаться в 25 л воды	
Термотолерантные колиформные бактерии	Не более 100 КОЕ/100 мл	Не более 100 КОЕ/100 мл
Общие колиформные бактерии	Не более	
	1000 КОЕ/100 мл	500 КОЕ/100 мл
Колифаги	Не более	
	10 БОЕ/100 мл	10 БОЕ/100 мл
Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии	$SUM (A_i / Y_{Bi}) \leq 1$	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Схема очистных сооружений

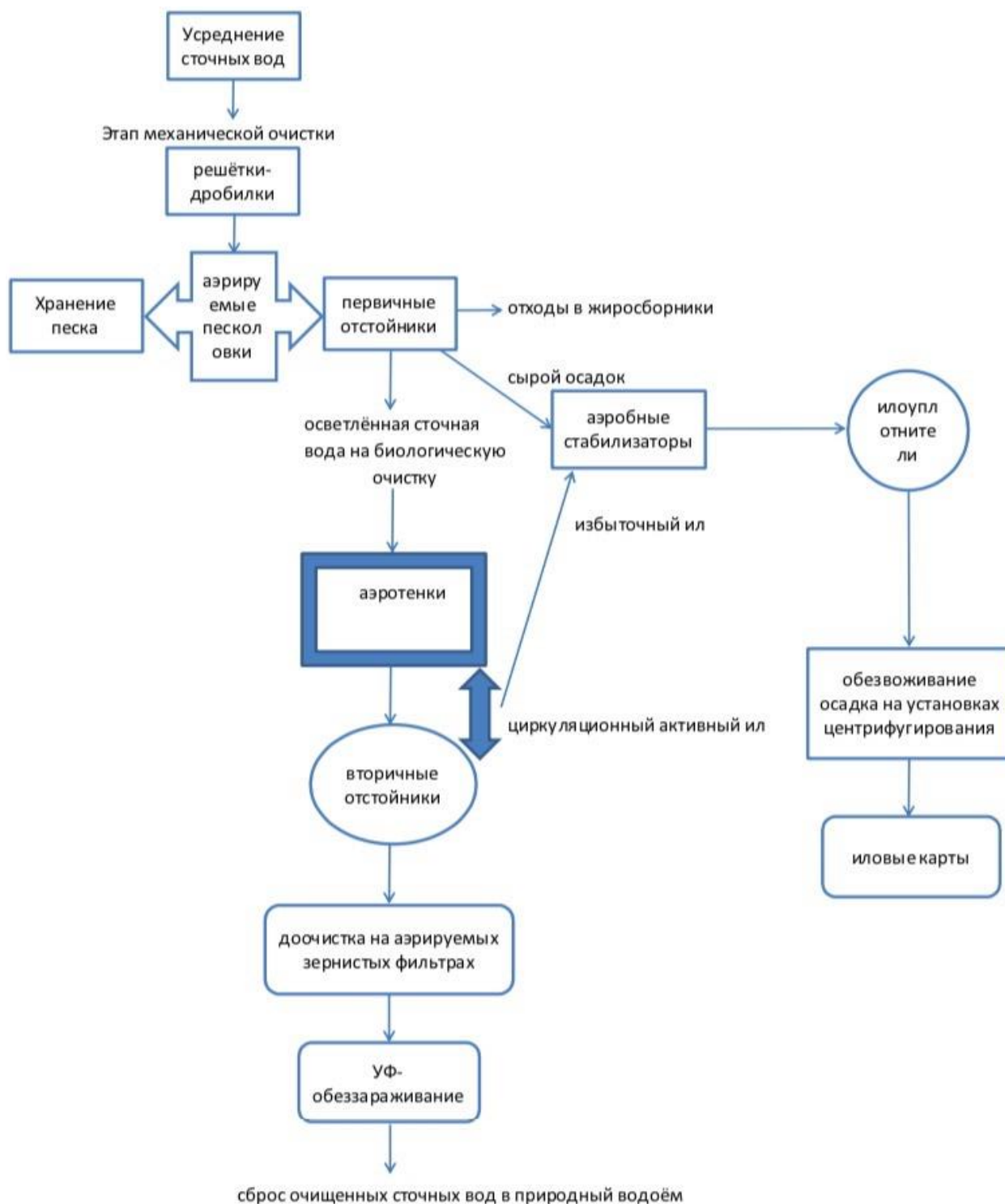


Рисунок Б.1 - Схема очистных сооружений