

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 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.....	14
1.3 Методы биологической обработки сточных вод и их анализ.....	16
1.3.1 Биологические пруды.....	16
1.3.2 Реакторы с активным илом.....	17
1.3.3 Биореакторы последовательного действия.....	21
1.3.4 Мембранные биореакторы.....	23
1.3.5 Орошаемые биофильтры.....	27
1.3.6 Биологические фильтры.....	28
1.4 Анализ условий, определяющих удовлетворительный процесс биологической очистки сточных вод.....	32
1.4.1 Кислородный режим.....	32
1.4.2 Условия формирования и функционирования экосистемы активного ила.....	37
1.4.3 Илоотделение.....	39
1.5 Информационно-патентный обзор способов интенсификации процесса биологической очистки.....	42
Выводы по главе 1.....	54
ГЛАВА 2 Экспериментальные исследования процессов биологической очистки сточных вод.....	55
2.1 Характеристика технологического процесса очистки сточных вод на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот».....	55
2.2 Оценка эффективности биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот» и соответствие нормам сброса.....	67

2.3 Исследования условий удовлетворительного протекания процессов нитрификации-денитрификации.....	73
Выводы по главе 2.....	76
ГЛАВА 3 Предложение усовершенствованного 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.....	84
Выводы по главе 3.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	94
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	100

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БОС - Биологические очистные сооружения

БПК – биологическое потребление кислорода

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 исследования. 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.

Цель и задачи:

Целью работы является совершенствование метода биологической очистки сточных вод для очистных сооружений «Тольяттиазот», которое обеспечит высокую степень извлечения биогенных загрязнений, и после которого сточные воды могли быть спущены в водоём с минимальным негативным воздействием 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.

Объект исследования. Объектом исследования является технологический процесс биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот».

Теоретическая и методологическая база исследования.

Теоритической базой исследования являются 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.

Методологической базой являются экспериментальные методы исследований сточных вод в лабораторных условиях и сопоставление результатов с проектом нормативов допустимых сбросов.

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 и практическая значимость диссертации 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. Разработано технологическое решение для биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ОАО «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 ОАО «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».

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации. По проблемам водоочистки, рассматриваемым в диссертации, автором опубликованы статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

- «Роль аэрационных систем в повышении эффективности биологической очистки сточных вод», сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции «Приоритетные научные направления: от теории к практике» (Издательство ЦРНС, Новосибирск, 2016)

- «Интенсификация анаэробной стадии биологической очистки сточных вод», научный журнал «Вестник магистратуры» (г. Йошкар-Ола, 2016).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Основная часть исследования изложена на 99 страницах, текст иллюстрирован 5 таблицами, 19 рисунками, 2 приложения, использовано 41 источник.

ГЛАВА 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 [1], 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.

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. Ужесточение требований значительно влияют на мнение водопользователя при выборе методов в технологии очистки сточных вод. Становится очевидной необходимость применения инновационных, научно-обоснованных технологий в водоочистке, которые позволяют добиться не только соответствия качества сточной воды установленным требованиям и нормам, но и дадут возможность для повторного её использования.

Ежегодно в водоёмы России поступает $52,1 \text{ км}^3$ сточных вод, из которых 20 км^3 подлежат очистке. Однако лишь 10% ($1,9 \text{ км}^3$) прошедших обработку и после этого поступивших в водоёмы стоков соответствуют всем санитарно-химическим требованиям: более 70% ($13,7 \text{ км}^3$) сбрасываются недостаточно очищенными, а 20% ($3,7 \text{ км}^3$) – и вовсе загрязнённые [2]. В некоторой степени такие цифры обусловлены состоянием большинства очистных сооружений. 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.

Для решения сложившейся проблемы разработана и утверждена на федеральном уровне целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012 -2020 годах», согласно которой к 2020 году должно быть осуществлено 225 проектов по модернизации старых и строительству новых очистных сооружений. Ключевой целью настоящих проектов является внедрение технологий глубокой очистки (удаление биогенных элементов),

восстановление изношенных конструкций сооружений и зданий, автоматизация процессов очистки, переход на энергосберегающие технологии.

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 (с изменениями на 28 ноября 2015 года);

- Федеральный закон РФ № 7-ФЗ от 10.01.2003 г. «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 28 декабря 2016 года);

- Федеральный Закон Российской Федерации от 7 дек. 2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении (с изменениями на 19 декабря 2016 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 2016 года)»;

- Постановление Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2012 года № 350 «О федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах" (с изменениями на 13 августа 2016 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» [3].

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].

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. 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. 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"[6].

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).

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. 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].

Биологический метод большинство специалистов не без основания считают самым эффективным способом очистки воды. Данный способ является эффективным для очистки сточных вод от органических загрязнений, биогенных элементов (азота, фосфора) и некоторых неорганических примесей, а также является экологически безопасным.

Биологический метод очистки воды – не более чем воспроизводство природных явлений и основывается на естественных процессах жизнедеятельности микроорганизмов. При биологической очистке воды используется огромное количество микроорганизмов, в основном бактерий, которые потребляют содержащиеся в сточных водах органические вещества в качестве источника питания для получения энергии и обеспечения своей жизнедеятельности. При этом органические вещества преобразуются в простые продукты, в частности в углекислый газ, а также в дополнительную биомассу.

Биологические методы обработки сточных вод можно условно разделить на методы обработки с использованием свободной биомассы и способы 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 [8]. 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.

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 [10].

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.

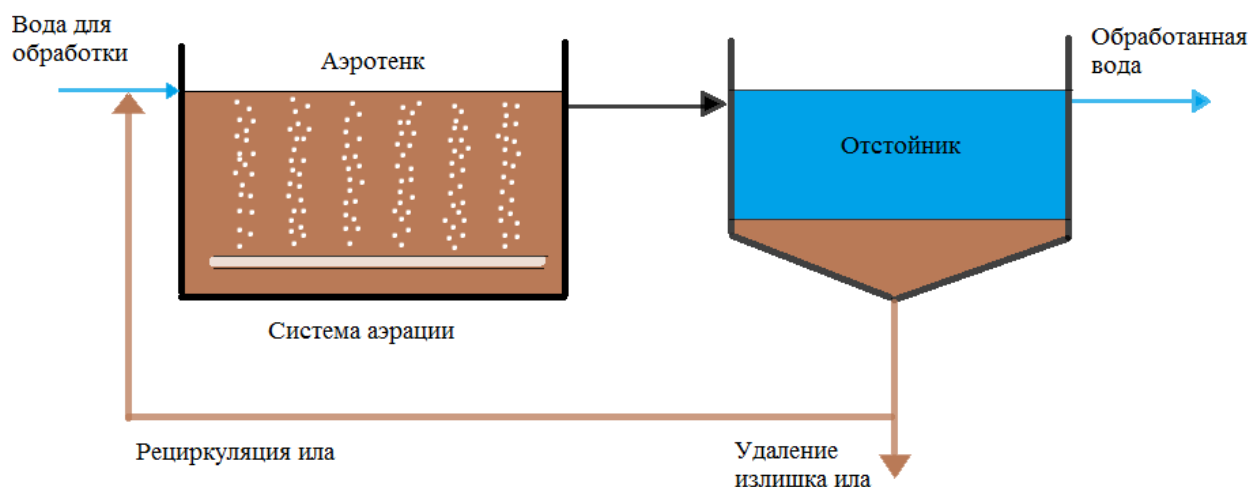


Рисунок 2 - Упрощённая схема системы сооружений с активным илом

Параметры процесса биологической очистки, такие как объём аэротенка, количество загрязняющих веществ, время контакта сточных вод с активным илом должны быть коррелированными. Вместе с тем, седиментационные свойства ила должны соответствовать возможностям отстойников

удовлетворительно отделять очищенные сточные воды от ила за установленное время.

В основном аэротенк представляет собой резервуар прямоугольного сечения, по которому протекают сточные воды, смешанные с активным илом.

Конструкции применяемых аэротенков подразделяются на три основных типа по типу подачи сточных вод и по их движению в реакторе: смесители с рассредоточенной или центральной подачей и выпуском сточных вод, вытеснители с «поршневым» потоком сточных вод и аэротенки промежуточного типа.

Аэротенки-смесители отличаются одинаковой концентрацией микроорганизмов, растворённого кислорода и остаточного субстрата в любой точке резервуара. Поступающие стоки и активный ил сразу распределяются по резервуару, где происходят равномерные по скорости процессы очистки. Преимуществом аэротенка-смесителя является определённая устойчивость его при перегрузках и залповых сбросах токсичных веществ. Такой тип аэротенков предпочтительнее использовать при очистке высококонцентрированных промышленных сточных вод, сходных по составу с бытовыми сточными водами. В тоже время, низкая концентрация субстрата, доступного микроорганизмам активного ила в окружающей их среде, благоприятствует росту нитчатых бактерий, что вызывает вспухание ила.

К вытеснителям относятся аэротенки, которые состоят из одного или более коридоров, отделенных между собой продольными перегородками, не достигающими до одной из торцевых стен. В торцах резервуара расположены каналы для входа и выходы сточных вод. Сточная вода и рециркулируемый ил подаются на вход аэротенка. Схема движения сточных вод аэротенка-вытеснителя представлена на рисунке 3. Концентрация субстрата в сточной воде и потребность активного ила в кислороде изменяются по своей длине потока, в начале аэротенка - процесс окисления происходит быстрее, а по мере приближения к выходу и уменьшения субстрата – медленнее.

Аэротенки-вытеснители преимущественно используются на крупных очистных сооружениях при очистке сточных вод сложного состава, которые содержат большую часть промышленных сбросов.

Так как в начальной зоне реактора наблюдается большая нагрузка по загрязнениям, то рост большинства нитчатых бактерий ограничен и при условии достаточной концентрации растворённого кислорода повышается седиментационная способность ила.

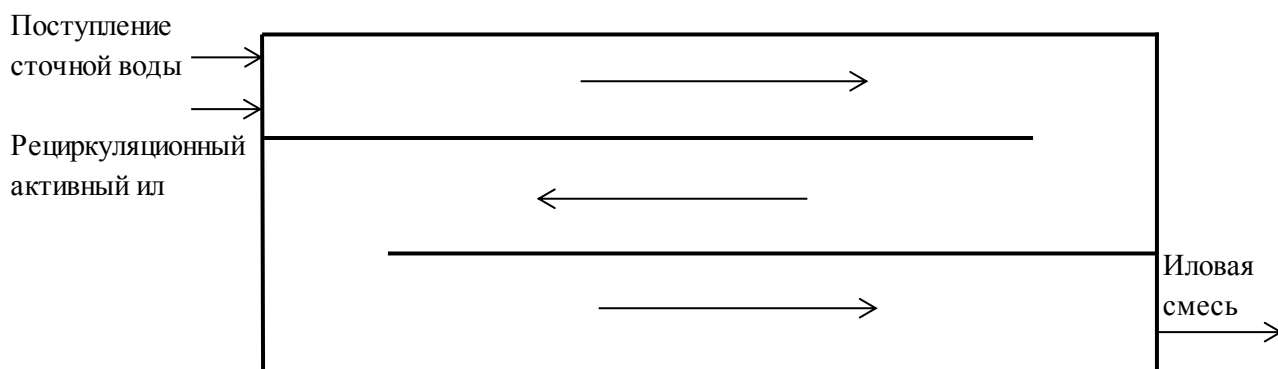


Рисунок 3 – Схема движения сточных вод в трёхкоридорном аэротенке вытеснителе

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 анаэробных 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.

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.

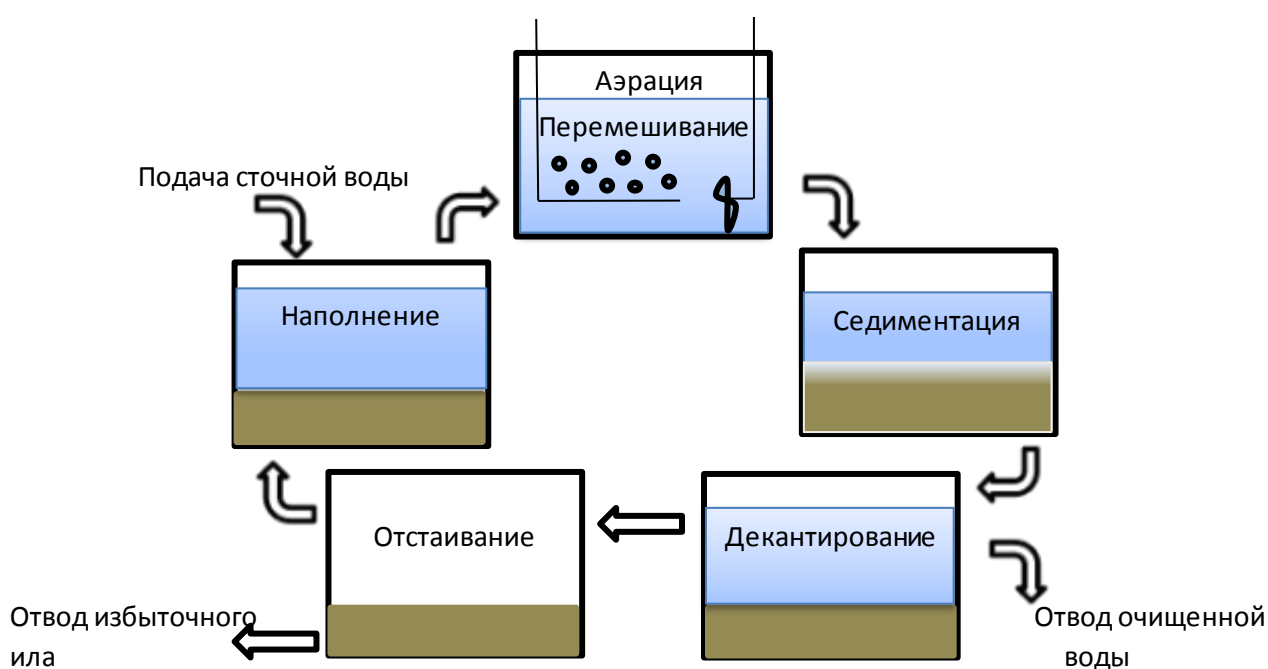


Рисунок 4 – Схема типичного SBR-цикла

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 прикрепленным активным илом. Бельгийскими специалистами был разработан SBR реактор типа LUCAS, который является смесью проточного и циклического аэротенка, исключающего недостатки проточного аэротенка и стандартного циклического реактора при одновременном использовании их преимуществ [11].

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. 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.

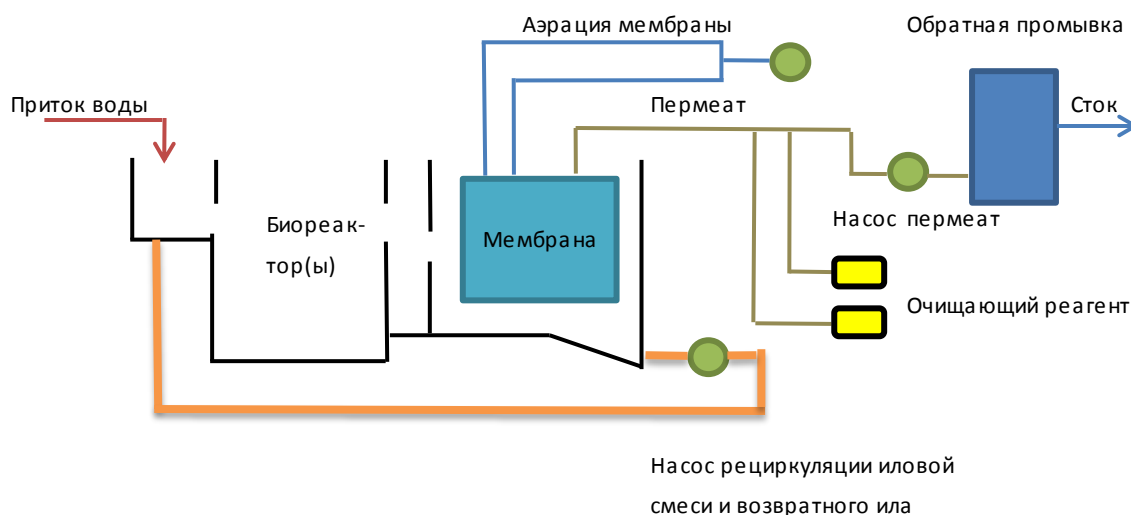


Рисунок 5 - Стандартная схема процесса МБР

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 (рис?). 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 [12].

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 [13].

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 Бассюссари, 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 фильтрации 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.

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. Чтобы преодолеть эти ограничения, в начале 80-х годов разработаны биофильтры с подачей кислорода внутрь установки. Особое значение при этом имеют соответствующие 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 влечут 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.

Такая технология очистки была выбрана для общих очистных сооружений промышленной зоны Говиндпура (Индия) [14] 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% [15]. 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.

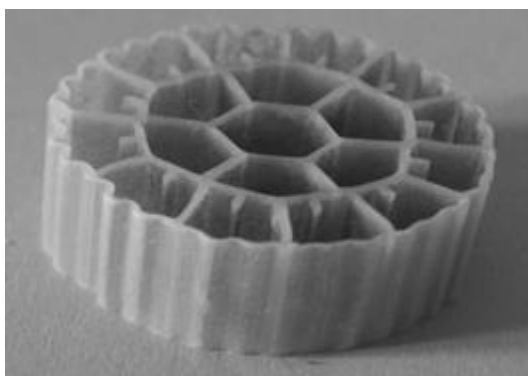


Рисунок 8 – Фото подвижного носителя

На очистных сооружениях Порто-Толле (Рим, Италия) [16] 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 гибридный реактор MBBR, заполненный на 50% носителями. В результате проведенные 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 растворенного кислорода, критической концентрацией считается $0,2\text{ мг/дм}^3$, удовлетворительной – $0,5\text{ мг/дм}^3$ [17]. 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 растворенного кислорода, которая составляет не менее $1,0 - 2,0\text{ мг/дм}^3$. При превышении необходимой концентрации растворенного кислорода активность микроорганизмов не

возрастает и степень очистки не улучшается, зато увеличиваются энергетические затраты.

Улучшения условий аэрации и качества очистки можно достичь путём правильного выбора и монтажа аэрационных систем.

Из выше сказанного можно заключить, что системы аэрации, предназначенные для реакторов с активным илом, должны служить двум целям:

- снабжать аэробные микроорганизмы активного ила кислородом для обеспечения их жизнедеятельности;

- обеспечивать гомогенизацию и перемешивание, которые необходимы для постоянного контакта микроорганизмов с аэрированной водой и загрязняющими веществами.

Системы аэрации чаще всего состоят из установки или группы установок, помещённых в сооружения биореактора и выполняющих обе функции одновременно.

В определённых случаях аэрация и перемешивание могут быть разделены. Такую систему, в которой однородность иловой смеси обеспечивается механической мешалкой, установленной дополнительно к аэратору или вместо него, называют отдельной системой аэрации-перемешивания.

Первое условие сравнения аэраторов основано на их характеристиках насыщения кислородом, которые выражаются в показателях часовой и полной удельной подачи кислорода. Но для полного сравнения необходимо вовлекать и дополнительные критерии, которые сложно выразить в числовом значении, оценить их можно лишь качественно:

- *перемешивание*, которое должно обеспечивать эффективную гомогенизацию и предотвращать образование залежей осадков;

- *гибкость* регулирования аэрации в зависимости от различных режимов работы;

- *надёжность* всех узлов аэрационной системы (компрессоры, редукторы, диффузоры, трубопроводы и т.д.)

К примеру, бесполезным окажется аэратор, обладающий отличными характеристиками насыщения кислородом, но не обеспечивающий достаточное гидравлическое перемешивание или имеющий повышенный риск засорения, в результате чего в аэротенке возможно замедление процессов окисления загрязнений или образование анаэробного осадка.

При крупнопузырчатой аэрации (отверстия в аэрационных трубах 5 – 6 мм) использование растворённого кислорода активном илом составляет 6 – 7%, такие значения не обеспечивают эффективного массопереноса кислорода из иловой смеси в бактериальную клетку. Уменьшение размеров отверстий в трубах до 2 – 2,5 мм позволяет увеличить использование кислорода до 8 – 12%, а при использовании мелкопузырчатых аэраторов, размер отверстий которых составляет 200 – 500 мкм, использование кислорода возрастает до 15 – 18% [10]. При применении мелкопузырчатых диффузоров наблюдается значительное улучшение качества очистки, также улучшаются свойства активного ила, и возрастает устойчивость организмов ила к действию токсичных веществ. Но такая аэрация не обеспечивает достаточно хорошее перемешивание иловой смеси. Наилучший эффект одновременного насыщения кислородом иловой смеси и необходимого массообмена в хлопьях ила обеспечивает среднепузырчатая аэрация.

Эффективность аэрации также зависит от формы используемых аэрирующих элементов и от их размещения по дну аэротенка. Наиболее эффективно обогащают иловую смесь кислородом тарельчатые аэраторы, изображённые на рисунке 9б, в отличие от трубчатых аэрирующих элементов - рисунок 9а. Тарельчатые аэраторы с подвижной мембраной относятся к типу защищенных, при отключении подачи кислорода мембрана смыкается, тем самым предупреждая засорение пор. На большинстве сооружений биологической очистки распространён пристенный способ монтажа аэраторов, который получил своё распространение ещё 30–35 лет назад, представленный

на рисунке 9а. Такой способ был оправдан экономически, так как требует меньше аэрирующих элементов, считалось, что и образующиеся турбулентные потоки дополнительно перемешивают иловую смесь.



а)

б)

Рисунок 9 - Аэрационные системы аэротенка:

а) трубчатые аэраторы; б) тарельчатые аэраторы

Однако, исходя из многолетнего опыта, было установлено, что при данной системе подачи воздуха в аэротенке создаются турбулентные циркулирующие вертикальные потоки. Такие потоки увеличивают скорость подъема пузырьков воздуха на поверхность аэротенка, и воздух находится в контакте с иловой смесью значительно меньшее время, чем при подаче его через диффузоры, которые расположены по всему днищу аэротенка равномерно. Помимо этого, при расположении аэрирующих элементов по всему днищу резервуара достигается эффект равномерной аэрации по всей поверхности аэротенка и наибольшего перемешивания иловой смеси, что позволяет наиболее рационально использовать подаваемый воздух в аэротенк. При размещении аэраторов вдоль стены степень использования кислорода составляет от 3,59 до 6,5 %, а при укладке аэраторов по всему днищу 12–18 %, следовательно, удельный расход воздуха в последнем случае сокращается на 60–70 % [18].

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, брюхохоресничные 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	
рН, температура очищаемых сточных вод	

Выше перечисленные факторы способны также ухудшить рабочие свойства ила и привести к проблемам при эксплуатации, таким как вспухание ила, вспенивание и всплывание при осветлении.

Эффективное функционирование активного ила, прежде всего, зависит от технологического режима эксплуатации очистных сооружений, где предопределяющее значение имеют окислительная мощность аэротенков, нагрузки на активный ил, возраст ила, период и интенсивность аэрации, регенерация ила. Несоблюдение технологического режима в первую очередь влияют на хлопьеобразование и осаждаемости активного ила. При ухудшении седиментационных характеристик ил начинает плохо отделяться от очищенной сточной воды, всплывать и вымываться из вторичных отстойников. Это приводит в свою очередь к ухудшению качества очищенных вод и увеличению влажности избыточного активного ила.

Обязательным условием хорошей осаждаемости активного ила и удовлетворительного его функционирования также является необходимое количество и оптимальное соотношение в сточных водах биогенных элементов и органических веществ. В СНиП 2.04.03-85 для смешанных сточных вод (бытовых и промышленных) содержание органических веществ и основных биогенных элементов рекомендуется 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.

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.

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. [21];

- 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.

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.

Существует несколько технологических схем глубокого удаления соединений азота и фосфора из сточных вод в процессе биологической очистки, все они предполагают создание аэробных, аноксидных и анаэробных зон для функционирования активного ила.

Для того чтобы удалять из сточных вод нитриты и нитраты в процессе денитрификации, необходимо обеспечить их эффективное образование на

стадии нитрификации. Таким образом, первостепенное место на этой стадии занимает процесс насыщения сточных вод кислородом.

В процессе выполнения литературного обзора и анализа отечественного и зарубежного опыта очистки сточных вод было установлено, что одной из основных причин неэффективной работы большинства очистных сооружений является использование в технологическом процессе устаревшей системы аэрации. При длительной эксплуатации, аэрационные элементы теряют свою прочность и выходят из строя.

На большинстве очистных сооружений в России используются в аэротенках пластиковые трубчатые аэрационные элементы, которые относятся к типу незащищенных. При отключении подачи воздуха поры таких аэраторов не смыкаются, что приводит к засорению пор, в них может проникнуть песок, взвешенные вещества и организмы активного ила. Такие аэраторы работают эффективно от двух до трех лет, и ещё меньше при недостаточном извлечении песка на этапе механической очистки. При засорении пор происходит неравномерная аэрация иловой смеси в аэротенках, образование зон залегания активного ила. Увеличение подачи кислорода для восстановления аэрации может привести также к образованию «бурунов» и выходу из эксплуатации аэротенка. Их применение становится неэффективным и приводит к нерациональным затратам электроэнергии [22].

Как правило, при реконструкции очистных сооружений система аэрации не совершенствуется, чтобы снизить затраты. В лучшем случае устанавливаются все те же трубчатые пластиковые аэраторы. Однако опыт, связанный с заменой аэрационных элементов, некоторых очистных сооружений показывает результативность и позволяет повысить эффективность работы очистных сооружений и обеспечить нормативный сброс.

В 2011 г. на Люберецких очистных сооружениях системы канализации Москвы была выполнена полная замена аэраторов во всех аэротенках участка биологического удаления азота и фосфора. Была установлена система аэрации с дисковыми аэраторами АКВА-ТОР (АР-420) производства ЗАО «Экополимер-

М». Отличительной особенностью этих аэраторов является оригинальная тороидальная конструкция, создающая циркуляцию иловой смеси не только снаружи, но и внутри аэратора. Это препятствует объединению пузырьков воздуха, которое является причиной снижения эффективности растворения кислорода.

С вводом в эксплуатацию новой аэрационной системы были полностью устранены ограничения по окислительной нагрузке, в отдельные периоды без ухудшения качества очистки на блок подавался воздух ниже проектной нагрузки до 25%. Дефицит кислорода в аэротенках, наблюдавшийся ранее, когда регулирующие задвижки по воздуху открывались на 100%, отсутствовал [23].

Наиболее сложным является обеспечение благоприятных условий для эффективного протекания анаэробной стадии, правильная установка перемешивающего оборудования и обеспечение рециркуляции потока из аэротенков в анаэробный реактор.

Альтернативный подход был использован на очистных сооружениях г. Тихвина [24]. Для обеспечения действующего норматива на сброс соединений азота было решено использовать технологию нитри-денитрификации с предшествующей нитрификацией. Для создания анаэробных зон, вместо дорогостоящих импортных перемешивающих устройств, были выполнены аноксидные условия в аэротенке за счёт низкой (минимально допустимой для предотвращения осаждения активного ила) интенсивности аэрации. А для предотвращения ухудшения нитрификации на фоне увеличения возраста ила (по причине постепенного снижения гидравлической нагрузки) произведена замена аэрационной системы на систему аэрации Noron.

В результате, даже при частичной замене аэрационных элементов, удалось не только значительно повысить качество очистки по всем соединениям азота и улучшить седиментационные свойства активного ила, но и снизить энергозатраты на работу очистных сооружений – перейти на воздуходувку меньшей производительности.

С целью повышения интенсивности очистки сточных рядом авторов патента RU 2264355 С2 [25] была предложена следующая система аэрации в аэротенке системы биологической очистки сточных вод. Над соответствующими участками дна аэротенка конструируют не менее двух зон: зона нитрификации и зона денитрификации. Группа аэраторов, расположенная в зоне нитрификации, образована из пористых трубчатых аэраторов, создающих мелкопузырчатую аэрацию, а в зоне денитрификации – из перфорированных трубчатых аэраторов, которые обеспечивают средне- и/или крупнопузырчатую аэрацию. Эти группы аэраторов собраны в аэрирующие модули и образуют широкую полосу аэрации, энергия которой затрачивается не только на поддержание во взвешенном состоянии активного ила, но также и на обеспечение кислородного режима, при котором происходит процесс аэробной биологической очистки. В конечном итоге в зоне денитрификации частично протекает процесс нитрификации и снижаются затраты на электроэнергию. Такое техническое решение позволяет создать систему аэрации в аэротенке, в которой повышена интенсивность очистки сточных вод путём увеличения скорости процесса биологической очистки.

Для повышения эффективности аэрации и перемешивания сточных вод авторами патента RU 2522336 С1 [26] предложено устройство, содержащее источник сжатого воздуха и аэрирующий элемент, отличающееся тем, что аэрирующий элемент содержит наружный и внутренний конус, плавающий диск, которые скрепленные между собой регулировочными шайбами, и гибкий водозаборный рукав с утяжеленным нижним концом. Результатом изобретения является обеспечение равномерной аэрации и перемешивания объёма воды при низких энергозатратах.

Предлагается много способов повышения эффективности очистки сточных вод на базе классических методов биологической очистки. Например, с целью повышения интенсивности биологической очистки химически загрязненных сточных вод в реакторах с активным илом авторами патента RU 2415086 [27] предложен способ, включающий рассредоточенную подачу

сточных вод и активного ила в аэротенки. В предлагаемом способе осуществляется параллельная равномерно-рассредоточенная подача активного ила и сточных вод через перпендикулярно смонтированные по отношению к длинной стороне аэротенка лотки с боковыми сливами, при этом расстояние между боковыми сливами не менее 50 мм.

Отличием предложенной схемы от классической является то, что достигается максимальная рассредоточенная подача в аэротенк активного ила (вместо 1 точки - 160), сточных вод (вместо 2-6 точек - 480). В свою очередь сочетание параллельного движения отдельных составляющих общего потока активного ила, стоков и перпендикулярного (к этим потокам) направления аэрации через фильтросные каналы, смонтированные вдоль аэротенка, позволяет достичь равномерности контакта хлопьев активного ила и стоков.

В результате эффективность биологической обработки в аэротенке с равномерно-рассредоточенным поступлением стоков и активного ила в сравнении с аэротенком, работающим по обычной схеме распределения увеличилась (по ХПК на 10%, по скорости окисления - на 0,6 мг ХПК г/час, по токсичности - на 14%). Микрокопирование показало также и отличие в структуре хлопьев активного ила, которые стали более плотными и крупными.

На основе базового принципа биореактора последовательного действия разработано множество технологий с периодическим опорожнением реактора. В настоящее время эта технология используется не только на малых и средних очистных сооружениях, 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 2419749 C2 [28] предложен способ очистки аммонийсодержащей сточной воды в SBR-реакторе посредством регулирования узкого диапазона значений pH. На традиционных очистных сооружениях аммоний переходит в азот в процессе двух стадий окисления: нитрификации, при которой азот окисляется в нитрит, а затем - в нитрат, и денитрификации, где полученные нитраты восстанавливаются двустадийным способом сначала до нитрита и после этого до молекулярного азота. Проблема надёжности протекания процесса состоит в том, что в присутствии относительно малого количества нитрита нарушается работа микроорганизмов анаэробно окисляющих аммоний (или аутотрофно восстанавливающих нитрит). Из-за низкой скорости роста этих микроорганизмов даже малые колебания в условиях реакции могут привести к значительным нарушениям процесса. В предложенном способе процесс очистки протекает в SBR-реакторе, где при первой реакции аммоний преобразовывается в азот нитритный, а в параллельно протекающей второй реакции аммоний и азот нитритный преобразовывается в молекулярный азот. Посредством регулирования периодической аэрации, величину pH системы поддерживают при необходимом значении, которое в зависимости от эффективности кислородопереноса-ОТЕ находится в области, определяющейся по формуле $pH_s = 7,55 - 3 \cdot \text{ОТЕ} / 100 \pm 0,05$. При этом амплитуда отклонения pH от заданной величины составляет не более 0,05, предпочтительно максимум 0,02, и содержание растворённого кислорода в стоках поддерживают в области между 0,2 и 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.

В патенте RU № 2314864 «Фильтрующее устройство в виде полый волоконной мембраны и его применение при очистке сточных вод, а также мембранный биореактор» [29] приводится описание изобретения, относящиеся к фильтрующему устройству для отделения биомассы от сточной воды. Устройство содержит полые волоконные мембраны, собранные в пучок. Через

полые волоконные мембраны жидкость проходит снаружи внутрь, а очищенная от частиц жидкость отводится на одном из концов мембраны. Пучок полых волокон накручен на носитель, у которого наружная поверхность частично исполнена с возможностью обтекания газов изнутри наружу. Несколько фильтрующих устройств можно объединить в модуль для очистки сточных вод. Технический результат данного изобретения – простота и компактность предложенной конструкции, надёжность очистки мембран от отложений и высокая производительность.

Эффективное качество и высокая скорость очистки также достигается соблюдением определенных условий для развития бактерий, которые участвуют на разных этапах очистки. В настоящее время предлагаются различные технологии биоаугментации для улучшения качества очистки сточных вод. Принцип технологии состоит в том, что для улучшения нитрификации или удаления других загрязняющих веществ в основной процесс добавляют определённые культуры микроорганизмов, которые специализированы для удаления определённых загрязнителей. 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 [30], 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 [31]. В результате исследований подтверждена высокая эффективность нитрификации поступающей сточной воды и установлено положительное влияние биоаугментации на устойчивость процесса нитрификации к токсикантам.

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 [32]. 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 [33] 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.

«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)» [20].

Для снижения содержания фосфатов и взвешенных веществ на очистных сооружениях п. Чернянка (Белгородская обл.) [34] 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 [35] предложен способ биологической обработки сточных вод от соединений фосфора, заключающийся в том, что стоки после механической очистки подвергают 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 [36] 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.

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 анаэробнобиоза 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 дентрифизирующими 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 проведённых 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 по главе 1

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 количества 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.

ГЛАВА 2 Экспериментальные исследования процессов биологической очистки сточных вод

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

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

Производительность очистных сооружений по проекту составляет 104000 м³/сут.

На биологическую очистку поступают сточные воды с промплощадки ОАО " Тольяттиазот ", содержащие минеральные и органические загрязнения и сточные воды Комсомольского района. Примерный расход сточных вод за 2016 год указан в таблице 2.

Таблица 2 – Расход сточных вод, поступающих на БОС за 2016 год

Наименование	Стоки ОАО «Тольяттиазот»	Смешанный сток Азотреммаша и хозяйственной 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 ОАО «Тольяттиазот», ЗАО «Тольяттисинтез», условно – чистых стоков ОАО «КуйбышевАзот» от насосной станции №3 СПУ в Саратовское водохранилище через рассеивающий выпуск очищенных сточных вод.

На предприятии предусмотрены следующие системы канализации, которые характеризуются определённым составом загрязняющих веществ в сточных водах и схемами их очистки:

- системы канализации производственных сточных вод с органическими загрязнениями;
- системы канализации производственных стоков с минеральными загрязнениями;
- системы канализации промышленно-ливневых сточных вод;
- системы канализации хозяйственно-бытовых сточных вод.

Производственные сточные воды, которые содержат загрязняющие вещества в количествах превышающих ПДК для биологических очистных сооружений, проходят локальную очистку на выходе из цехов предприятия.

Все сточные воды с производственной площадки ОАО «Тольяттиазот» поступают на узел контроля и подготовки сточных вод.

От установок деминерализации, химводоочистки речной воды производств аммиака и карбамида стоки с минеральными загрязнениями по самотечному коллектору поступают в барьерные ёмкости. Работа барьерной ёмкости осуществляется по следующей схеме: наполнение, лабораторный анализ, выпуск сточных вод. Из ёмкости по самотечному коллектору сточные воды направляются в приемный резервуар объединенной насосной станции.

Сооружения по очистке сточных вод с органическими загрязнениями состоят из аванкамер, промывных емкостей, ливневой емкости, аварийных емкостей, решеток-дробилок, приемной камеры объединенной насосной станции.

Сточные воды с органическими загрязнениями производств аммиака, карбамида, метанола по самотечному коллектору поступают в аванкамеры. Работа аванкамер предусмотрена по аналогичной схеме: наполнение, лабораторный анализ, выпуск сточных вод.

Сточные воды, которые по результатам проведенного лабораторного анализа удовлетворяют требованиям биологической очистки, перепускаются из аванкамер в приемную камеру объединенной насосной станции.

Сточные воды с органическими загрязнениями при неудовлетворительных анализах с аванкамер перепускаются в резервуары-накопители: две аварийные емкости, а при их заполнении, насосами 1КН, 2КН перекачиваются из аварийных емкостей в промывные ёмкости.

Дождевые и талые воды с производственных площадок поступают в ливневую емкость. Из ливневой емкости стоки перепускаются в приемную камеру объединенной насосной станции.

Из приемной камеры дождевые воды вместе со сточными водами с органическими загрязнениями, поступающие из аванкамер и промывных емкостей (при соблюдении ПДК) перекачиваются центробежными насосами,

установленными в объединенной насосной станции, в приемную камеру очистных сооружений.

Откачка сточных вод из аварийных емкостей осуществляется насосами подкачки аварийных сточных вод 1КН, 2КН в приемную камеру объединенной насосной станции. Концентрация загрязнений контролируется отбором проб сточной воды в приемной камере по установленному графику и выполнением лабораторного анализа.

Хоз-фекальные стоки с площадок завода по самотечному трубопроводу поступают на решетки-дробилки для очистки от грубых включений. В приёмном резервуаре они смешиваются со стоками с органическими загрязнениями. Из приемного резервуара бытовые и аварийные стоки, смешиваясь в коллекторе со сточными водами с органическими и минеральными загрязнениями, насосами объединенной насосной станции откачиваются в приемную камеру очистных сооружений.

Хоз-фекальные сточные воды посёлка Поволжский подаются на решетки-дробилки. После очистки от крупных включений поступают в приемную камеру вместе с хоз-фекальным стоком ОАО «Тольяттиазот». Предусмотрено поступление части стока п. Поволжский приемный резервуар, минуя решётки-дробилки.

Сооружения механической очистки.

Сооружения механической очистки предназначены для очищения сточных вод от песка, нефтепродуктов, жиров, грубых примесей и взвешенных веществ.

В их состав входят:

- приемная камера;
- решетки-дробилки – 4 шт.;
- аэрируемые песколовки - 2 шт.;
- бункера для обезвоживания песка – 2 шт.;
- первичные радиальные отстойники – 4 шт.;
- насосная станция № 4.

Сточные воды из приемных камер объединенной насосной станции и сточные воды с Комсомольского района через камеру расходомеров подаются в приемную камеру очистных сооружений, откуда смешанный сток самотеком идет на решетки-барабаны с кольцевыми щелевыми прорезями шириной 16 мм. Измельчение грубых фракций происходит в потоке сточных вод. Далее сточные воды, очищенные от грубых примесей на решетках-дробилках, поступают в аэрируемые песколовки для удаления песка.

С целью повышения эффективности удаления песка из сточных вод и промывки песка от органики вдоль продольной разделительной перегородки песколовки на глубине 2,8 м проходят перфорированные трубы для подачи воздуха. Воздух подается от воздуходувных агрегатов.

Выпавшие из спирального потока под действием собственной силы тяжести и уменьшения скорости движения частицы песка, сползая по наклонному днищу песколовки попадают в пековой лоток. С помощью гидроэлеваторов скопившийся песок удаляется в бункера песка, которые предназначены для его обезвоживания. Обезвоженный песок по мере накопления выгружается из бункеров в автомашины и вывозится в отвал, а осветленная вода из бункеров по трубопроводу возвращается в песколовку или же в жироборник Ж-2.

После аэрируемых песколовки сточные воды через распределительные камеры направляются в первичные радиальные отстойники (4 шт.), выполненные в виде круглых железобетонных резервуаров диаметром 30 м. Первичные отстойники предназначены для извлечения из сточной воды взвешенных веществ, которые способны всплывать или оседать под действием силы тяжести. Время пребывания в первичном отстойнике сточных вод составляет 1,5-2 часа.

Осадок, выпавший на дно первичных отстойников, 2 раза в смену илоскребами отстойников собирается в центральный заглубленный приямок, откуда откачивается насосами на сооружения обработки осадка. Сырой осадок с первичных отстойников имеет 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;
- вторичные радиальные отстойники – 3 шт.;
- 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:

1) 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.

2) 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.

3) на третьей стадии процесса происходит нейтрализация аммонийных солей, снова возрастает на этом этапе скорость потребления растворённого кислорода.

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 потребление 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.

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.

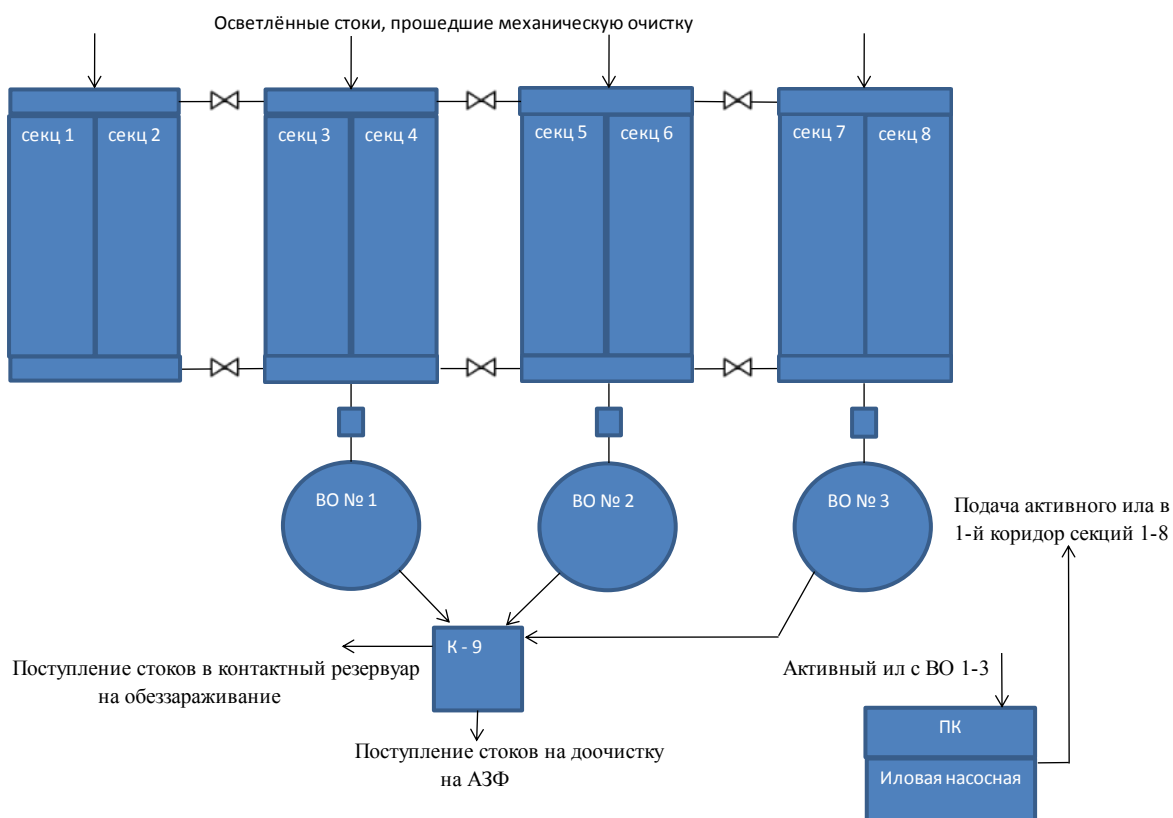


Рисунок 11 – Схема участка биологической очистки сточных вод

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.

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 приямков- 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:

- аэробные стабилизаторы – 8 шт.;
- илоуплотнители – 2 шт.;
- установка 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.

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 ОАО «Тольяттиазот» и соответствие нормам сброса

В соответствии с Правилами осуществления контроля состава и свойств сточных вод, утверждёнными Правительством РФ от 21 июня 2013 г № 525 «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» [38].

В 2016 году проектной компанией на основании технологических регламентов ОАО «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 ОАО «Тольяттиазот» и выдано Разрешение на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду (водный объект – Саратовское водохранилище). В соответствии с этим Разрешением 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 [39].

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

При разработке проекта ПДС следует руководствоваться пересмотру ранее установленных ПДС в сторону снижения вплоть до полного прекращения в перспективе сбросов загрязняющих веществ в водные объекты согласно «Методическим указаниям по рассмотрению проектов предельно допустимых сбросов (ПДС) 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 ОАО «Тольяттиазот» и фактические значения, полученные по результатам анализов, выполненные аккредитованной испытательной лабораторией цеха очистных сооружений ОАО «Тольяттиазот».

Таблица 4 - Качество сточных вод после БОС ОАО «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	0,043
Азот нитритный	0,15	0,02	0,016
Карбамид	28,65±7,16	44,94	16,91
Железо (общее)	6,83±0,68	1,4	0,59
Фосфаты (по фосфору)	1,08±0,17	1,15	0,98
БПК полный	288,89±26,0	19,5	2,12
БПК ₅	289,4	13,0	0,94

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Сульфаты	221,67±33,25	369,18	169,73
Хлориды	94,79±8,53	114,04	97,21
Нефтепродукты	0,83±0,2	0,394	0,084
Взвешенные вещества	434,74±43,47	9,2	8,3
АПАВ	0,443±0,089	0,093	<0,015
Ионы меди	0,041±0,008	0,001	0,0010
Ионы цинка	0,03±0,014	0,07	0,0095
Метанол	0,47±0,13	0,78	<0,1
Кальций	46,25±5,19	111,0	72,3
Магний	28±2,8	33,8	30,8
Свинец	0,0027±0,0003	0,006	0,0004
Хром шестивалентный	0,018±0,006	0,106	0,106
Никель	0,01	0,006	0,004
Фторид-анион	0,715±0,229	1,075	0,14
Капролактам	0,0	0,1	0,0
Алюминий	0,049±0,015	0,7144	0,024
Формальдегид	1,76±0,32	0,182	0,074
Бензол	0,01	0,016	0,005
Титан	0,001	0,01	0,001
Фенолы	0,038±0,024	0,0112	0,01
Сухой остаток	914,0±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 ОАО «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 ОАО «Тольяттиазот» соотношение $\text{БПК}_5:\text{N}:\text{P}$ в среднем составляет 289,4:30,75:1,08 [40]. 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

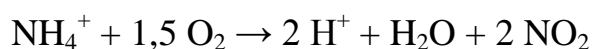
Перед сооружениями биологической очистки сточных вод стоит задача глубокого удаления всех форм азотсодержащих веществ, что происходит в сложных многостадийных процессах, требующих обеспечения определённых условий среды. Азот в сточных водах в основном представлен в виде минеральной (NH_4^+ , NO_2^- , 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 pH 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 *Nitrosospira* 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 pH, 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.

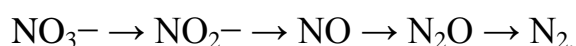
При недостатке растворённого кислорода в иловой смеси процесс нитрификации замедляется и угнетается. При этом требуется достаточно высокий уровень растворённого кислорода не только для поддержания дыхательной деятельности микроорганизмов активного ила, но и для тщательного перемешивания в аэротенках 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 исключающими обогащение кислородом воздуха иловой смеси.

Процесс нитрификации может потребовать большого количества органических соединений 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» [20]. 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 [41].

Выводы по главе 2

Технологический процесс очистки сточных вод на очистных сооружениях ОАО «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, такие как азот нитратный, взвешенные вещества находятся на верхнем пределе допустимых концентраций. Биологический метод очистки сточных вод, представленный в технологическом регламенте, обеспечивает глубокую нитрификацию и не предусматривает зону денитрификации – процесса удаления нитратов в

анаэробных условиях. Превышение норматива очищенных сточных вод по содержанию взвешенных веществ обусловлены: вспуханием ила и низкой скоростью осаждения из-за недостаточной аэрации в аэротенках.

Очистные сооружения ОАО «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.

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.

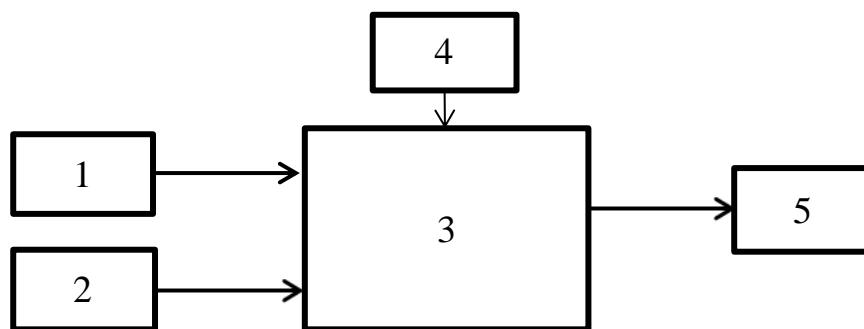
При внедрении данной технологии необходимо выдержать определённые условия удовлетворительного протекания процессов нитрификации-денитрификации. Многостадийные процессы глубокого удаления всех форм азотсодержащих веществ зависят от многих внешних факторов, таких как уровень pH, температура, концентрация 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.

ГЛАВА 3 Предложение усовершенствованного 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 ОАО «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.

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 ОАО «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.

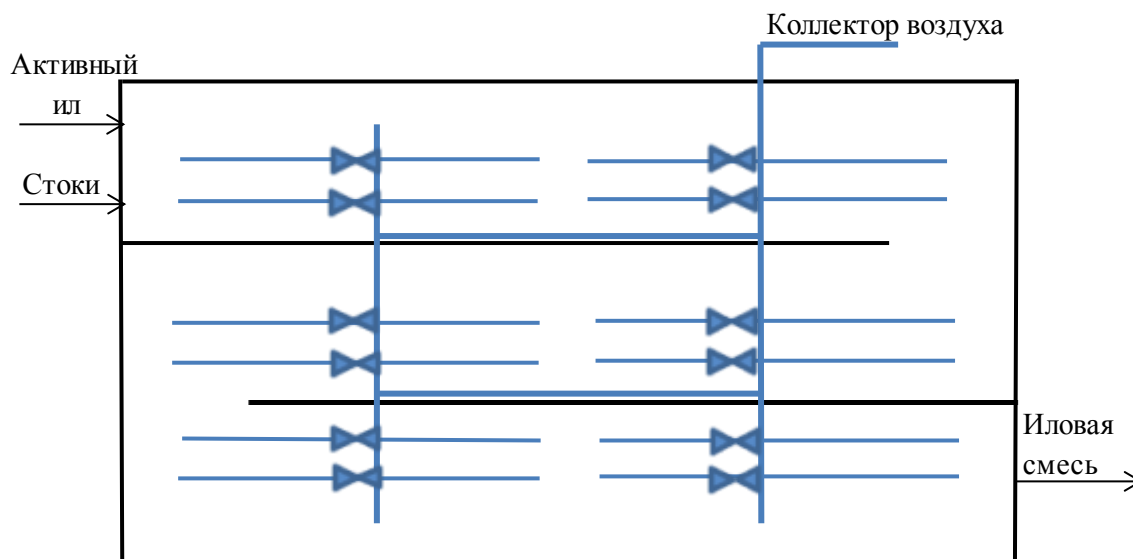


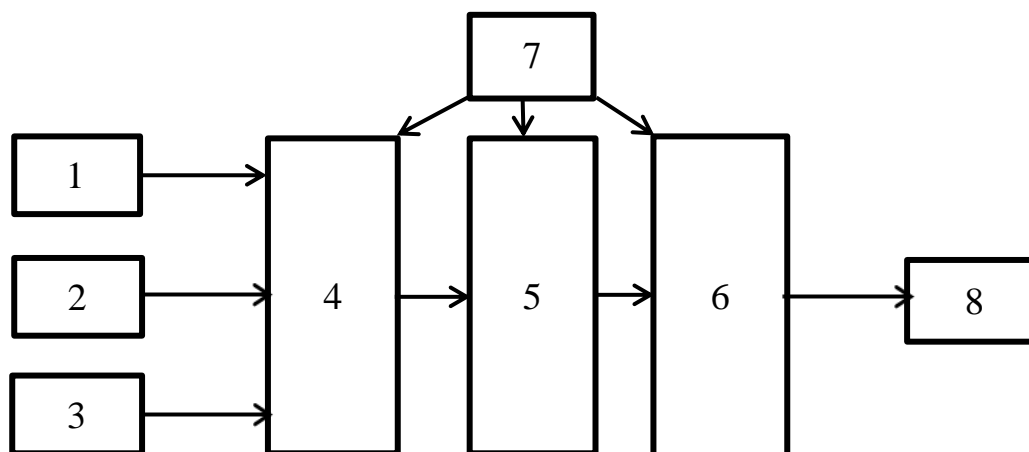
Рисунок 14 – Схема расположения аэрационных элементов и подачи воздуха в аэротенках на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот»

В аэротенках в качестве аэрирующих элементов используются пластиковые трубчатые аэраторы, смонтированные вдоль стен коридоров. Такие аэраторы относятся к типу незащищенных. При засорении 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.

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.

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.

Предлагается следующая организация аэробных и аноксидных зон.

Первый и третий коридор аэротенка выделяются для анаэробной зоны, где предложена замена трубчатых аэрационных систем на тарельчатые

аэраторы, обеспечивающие среднепузырчатое диспергирование воздуха в жидкости от воздухонагнетателей воздуходувной станции цеха. Принимая во внимание неудовлетворительное состояние участка механической очистки, предлагается использование диффузоров Vibrair компании Alfa Laval, предназначенные для работы в трудных условиях. Диффузор Vibrair, представленный на рисунке 16, состоит из полиэтиленового корпуса, к которому прикреплен вибрирующий клапан. Постоянные колебания клапана препятствуют забиванию диффузора. Это оригинальное устройство не требует большого расхода воздуха и способствует высокой эффективности насыщения кислородом и перемешивания иловой смеси. Долговечность таких аэраторов составляет более 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 азротенка, который имеет длину 90 м, целесообразно установить не менее 10 мешалок.



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 ОАО «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.

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.

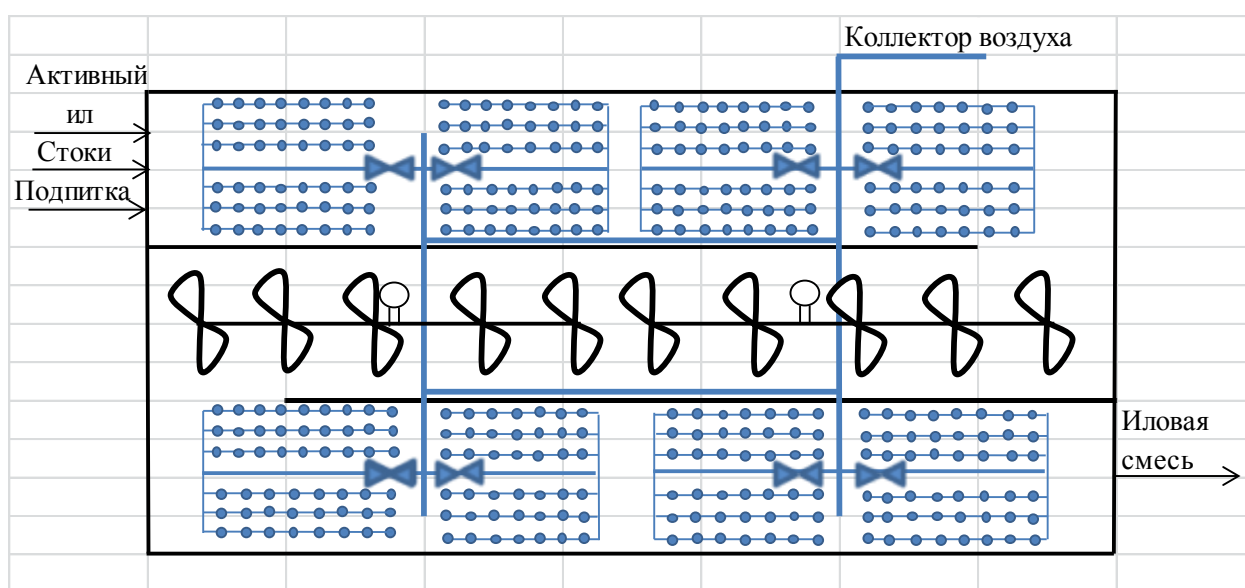


Рисунок 18 – Схема расположения новой аэрационной системы

Следует рекомендовать замену существующих воздухоудувных машин на управляемые воздухоудувки в соответствии с принципами воздействия, что приведёт к повышению энергоэффективности очистных сооружений водоотведения и поддержания необходимого кислородного режима в аэротенках. Данные воздухоудувки 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).

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

На процесс флокулообразования активного ила, то есть отсутствия диспергирования клеток после клеточного деления, влияет состав очищаемых стоков и прежде всего баланс присутствующих в них основных питательных веществ. Флокулообразование является необходимым процессом для эффективной очистки сточных вод активным илом. Необходимое количество

органических веществ и биогенных элементов и их оптимальное соотношение в сточных водах, которые поступают на биологическую очистку, - это непереносимое условие удовлетворительного функционирования активного ила и хорошей осаждаемости его хлопьев.

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 ОАО «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:

$$\text{Пр} = Q * 0,8V_{\text{осв}} + 0,3L_{\text{осв}}, \quad (1)$$

где Q – среднесуточный объём очищаемых сточных вод, м³/сут; V_{осв} – содержание взвешенных веществ после первичных отстойников, мг/дм³; L_{осв} – БПК_{полн} в осветлённых сточных водах после первичных отстойников во взболтанной пробе, мг/дм³.

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% [10]. 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 ОАО «Тольяттиазот» по БПК₅ 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:

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

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

$$213,54*0,06=12,81 \text{ г/м}^3.$$

Имеющееся содержание азота в осветлённых сточных водах значительно превышает расчётное.

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

$$213,54*0,015=3,2 \text{ г/м}^3.$$

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 ОАО "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 ведется 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 главе 3

На основании проведённого информационно-патентного исследования, опыта внедрения инновационных методов биологической очистки и проведённого анализа технологии очистки на очистных сооружениях ОАО «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.

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 благоприятствуют 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 ОАО «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.

Таблица 5 - Сравнительная характеристика полученных результатов, после внедрения технологии на БОС ОАО «Тольяттиазот»

Определяемый показатель	Вход на БОС, мг/дм ³	Осветлённые сточные воды перед входом в аэротенк, мг/дм ³	Выход после БОС до внедрения технологии, мг/дм ³	Выход после БОС после внедрения технологии, мг/дм ³	Допустимая концентрация, мг/дм ³
1	2	3	4	5	6
Азот аммонийный	30,75±4,59	30,75±4,59	0,24±0,08	0,11±0,03	8,75
Ион аммония	41,00	41,00	0,31	0,21	11,22
Нитрат-анион	1,70±0,51	1,70±0,51	74,69±11,30	14,35±1,27	74,69
Азот нитратный	0,39	0,39	17,18	3,74	17,18
Нитрит-ион	0,51±0,07	0,51±0,07	0,043	<0,02	0,08

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6
Азот нитритный	0,15	0,15	0,016	<0,006	0,02
Карбамид	28,65±7,16	28,65±7,16	16,91	5,47	44,94
Фосфаты (по фосфору)	1,08±0,17	5,83±0,9	0,98	0,84	1,15
БПК полный	632,5±31,0	608,5±32,0	2,12	1,52	19,5
БПК ₅	632,7	612,4	0,94	0,73	13,0
Взвешенные вещества	434,74 ±43,47	158,4	8,3±0,9	4,6±0,8	9,2
Метанол	5,85±0,13	4,93	<0,1	<0,1	0,78
Сухой остаток	914,0±82,26	883,32	1337,75	956,35	1337,75

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 ОАО «Тольяттиазот» на базе предложенного оборудования даёт следующие преимущества:

1. Обеспечение эффективной очистки по всем соединениям азота в соответствие нормам сброса;
2. Снижение негативного воздействия на окружающую среду;
3. Снижение платы за сброс биогенов;

4. Обеспечение равномерной аэрации, полного перемешивания иловой смеси и исключение образования «бурунов»;

5. Энергоэффективность за счёт использования механического перемешивания и высокой эффективности использования кислорода аэрирующего воздуха, что даёт возможность использования воздуходувки меньшей производительности;

6. Возможность работать в сложных условиях, обусловленных неудовлетворительным состоянием сооружений механической очистки;

7. Исключение возможности образования участков залежей и гниения ила, тем самым устраняется вынос взвешенных веществ с очищенными сточными водами.

Аэрация в аэротенке до замены аэрационных элементов и после замены представлена на рисунке 19.



а)

б)

Рисунок 19 – Аэрация в аэротенке: а) до замены аэрационной системы;

б) после замены аэрационной системы

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

Основные положения и сущность научно-исследовательской работы также отражены в докладе «Роль аэрационных систем в повышении эффективности биологической очистки сточных вод» на международной научно-практической конференции «Приоритетные научные направления: от теории к практике» (Новосибирск: издательство НГТУ, 2016). Вопросы по методам обеспечения легкоокисляемой органикой сточных вод для удовлетворительного протекания процесса биологической очистки рассмотрены в статье автора «Интенсификация анаэробной стадии биологической очистки сточных вод», опубликованной в научном журнале «Вестник магистратуры» (г. Йошкар-Ола, 2016).

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о правильном выборе технического решения для модернизации участка биологической очистки на очистных сооружениях ОАО «Тольяттиазот», что позволяет получить на выходе стабильные данные о качестве сточной воды в соответствии с критериями сброса сточных вод в водоём рыбохозяйственного назначения и проектом НДС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Веницианов, Е.В. Вода для жизни – в мире и в России [Текст] / Е.В. Веницианов, В.Г. Пряжинская, Е.А. Бондарчук, и др. // Экология и жизнь. – 2012. - №12. – с.72 – 77.
- 2 Постановление Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2012 года № 350 «О федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах" (с изменениями на 13 августа 2016 года)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.consultant.ru>
- 3 Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 28 ноября 2015 года) (редакция, действующая с 1 января 2016 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.consultant.ru>
- 4 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 25.09.2014) [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru>
- 5 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 2016 года)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.garant.ru>
- 6 Федеральный закон РФ № 7-ФЗ от 10.01.2003 г. «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 28 декабря 2016 года) (редакция, действующая с 1 марта 2017 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru>

- 7 Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст]: учебник для вузов / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев; под общ. ред. Ю.В. Воронова. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 – 704 с.
- 8 Проскуряков, В.А. Очистка сточных вод в химической промышленности [Текст] / В.А. Проскуряков, Л.И. Шмитд. – Л.: Химия, 1977 – 463 с.
- 9 Субботина, Ю.М. Методы биологической очистки сточных вод [Текст] // Учёные записки. - 2011. - №6. - с.385 – 389.
- 10 Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст]. – М.:АКВАРОС, 2003. – 512 с.
- 11 Терещук, М.Н. Технология SBR: новые перспективы [Текст] // Вода и экология: проблемы и решения. – 2011. – № 1, с. 3 – 16.
- 12 Технический справочник по обработке воды [Текст]: в 2т. Том 1: пер. с фр.-СПб.: Новый журнал,2007.– 878 с.
- 13 Мишуков, Б. Г. Биомембранная технология очистки сточных вод модулей [Текст] / Б. Г. Мишуков, Е. А. Соловьева, Т. П. Павлова и др. // Вода и экология: проблемы и решения. – 2011. – № 1. с. 17 – 22.
- 14 Small scale waste water treatment by anaerobic process at common effluent treatment plant [Text] // International Journal of Engineering sciences & research technology. – 2015. - № 4(7), - P. 1031 – 1035.
- 15 Treatability Studies of Dairy Wastewater by Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor [Text] // Civil and Environmental Research. – 2012. - Vol. 2, No 2. - P. 43 – 48.
- 16 Upgrading of a wastewater treatment plant with a hybrid moving bed biofilm reactor (MBBR) [Text] // AIMS Environmental Science. – 2014. - Volume 1, Issue 2.- P. 45 – 52.

- 17 Хаммер, М. Технология обработки природных и сточных вод. – М.: Стройиздат, 1979. – 400 с.
- 18 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) [Текст] // Водоснабжение и канализация. - 2010. - № 5-6. – с.31- 41.
- 19 Fate of Pathogen Indicators During Extended Aeration Wastewater Treatment [Text] // International Journal of Integrated Engineering. – 2015. - Vol. 7 No. 1. - P. 1 – 5.
- 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 01.01.2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru>
- 21 Технический справочник по обработке воды [Текст]: в 2т. Том 2: пер. с фр. - СПб.: Новый журнал, 2007. – 920 с.
- 22 Ширтанова, Ю.В. Роль аэрационных систем в повышении эффективности биологической очистки сточных вод [Текст] // Приоритетные научные направления: от теории к практике: сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова.- Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. – 306с.
- 23 Данилович, Д.А. Опыт совершенствования и оценки эффективности аэрационных систем [Текст] // Водоснабжение и санитарная техника – 2015. – № 1. – с. 38-50.
- 24 Ким, В.С. Внедрение энергоэффективной биотехнологии очистки городских сточных вод [Текст] / В.С. Ким, Н.Ю. Большаков // Водоочистка - 2015. – №4.- С. 34 – 38.

- 25 Пат.2264355 Российская Федерация МПК С2, С 02 F 3/30. Способ аэрации в аэротенке системы очистки сточных вод [Текст] / 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.
- 26 Пат. 2522336 Российская Федерация МПК С1, С02F 3/02, С02F 3/16, С02F 7/00. Устройство для аэрации и перемешивания сточных вод [Текст] / 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.
- 27 Пат. 2415086 Российская Федерация МПК С2, С02F 3/02. Способ повышения эффективности биологической очистки химически загрязнённых сточных вод [Текст] / 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.
- 28 Пат. 2418749 Российская Федерация МПК С2, С02F 3/30, С02F 3/12, С02F 3/02. Способ очистки аммонийсодержащей сточной воды посредством регулирования рН [Текст] / ВЕТТ Бернхард.; патентообладатель Университет Иннсбрук институт ФЮР Умвельттехник. - № 2008115428/05; заявл. 20.09.06; опубл. 20.05.11, Бюл. № 14. - 11 с.: ил.
- 29 Пат.2314864 Российская Федерация МПК С2, В01D 65/02, В01D 63/04, С02F 3/06, С02F 3/12. Фильтрующее устройство в виде полый волоконной мембраны и его применение при очистке сточных вод, а также мембранный биореактор [Текст] / ДЕМОУЛИН Гуннар.; патентообладатель СФЦ Умвельттехник ГМБХ. - № 2004136167/15; заявл. 23.04.03; опубл. 20.01.08, Бюл. № 2. - 15 с.: ил.

- 30 Stephen T.-L.T., Ivanov V., Wang X.-H., Tay J.-H. Bioaugmentation and enhanced formation of microbial granules used in aerobic wastewater treatment [Text] // Applied Microbiology and Biotechnology. –2006. – V.70. – Issue 3. – P.374 – 381.
- 31 Николаев, Ю.А. Использование технологии биоаугментации для улучшения качества очистки сточных вод [Текст] / Ю.А. Николаев, В.А. Грачев, Ю.В. Михайлова // Водоочистка. – 2015. - №5-6. - с. 13 – 22.
- 32 Пат. 2445275 Российская Федерация МПК C2, C02F 3/02, C02F 3/34. Способ интенсификации биологической очистки сточных вод [Текст] / 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.
- 33 Пат. 2472719 Российская Федерация МПК C2, C02F9/14, C02F 3/10, C02F 1/28. Способ повышения эффективности аэробной очистки сточных вод [Текст] / Серпокрылов Н.С., Смоляниченко А.С., Марочкин А. А. и др.; патентообладатель(и) Серпокрылов 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.
- 34 Очистные сооружения: современные технологии и оборудование [Текст] // Водоочистка. - 2015. - №8 – С.52 – 55.
- 35 Пат. 2587181 Российская Федерация МПК C02F 3/30. Способ биологической очистки сточных вод от соединений фосфора [Текст] / Платонова О.А., Захватаева Н.В., Шеломков А.С. и др.; патентообладатель АО «Институт МосводоканалНИИпроект». - № 2014151874/05; заявл. 22.12.14; опубл. 20.06.16, Бюл. № 17. - 9 с.: ил.

- 36 Пат. 2440306 Российская Федерация МПК C1, C02F 3/30, C02F 101/16, C02F 103/04. Способ обеспечения надёжности очистки сточных вод от соединений азота и фосфора [Текст] / 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.
- 37 The role of duckweed (*Lemna minor* L.) in secondary clarifier tanks [Text] // Sakarya University Journal of Science. – 2008. - Vol 12, No 1. - P. 28 – 31.
- 38 Постановление Правительства Российской Федерации от 21 июня 2013 года N 525 «Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод (с изменениями на 5 января 2015 года)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.consultant.ru>
- 39 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 года N 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.consultant.ru>
- 40 Технологический регламент «Цех нейтрализации и очистки сточных вод» [Текст]: ОАО «Тольяттиазот». – 2008 – 108с.
- 41 Ширтанова Ю.В. Интенсификация анаэробной стадии биологической очистки сточных вод [Текст] // Вестник магистратуры. – 2016 - № 11-1 (62) – с. 14- 16.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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 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}) ≤ 1	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

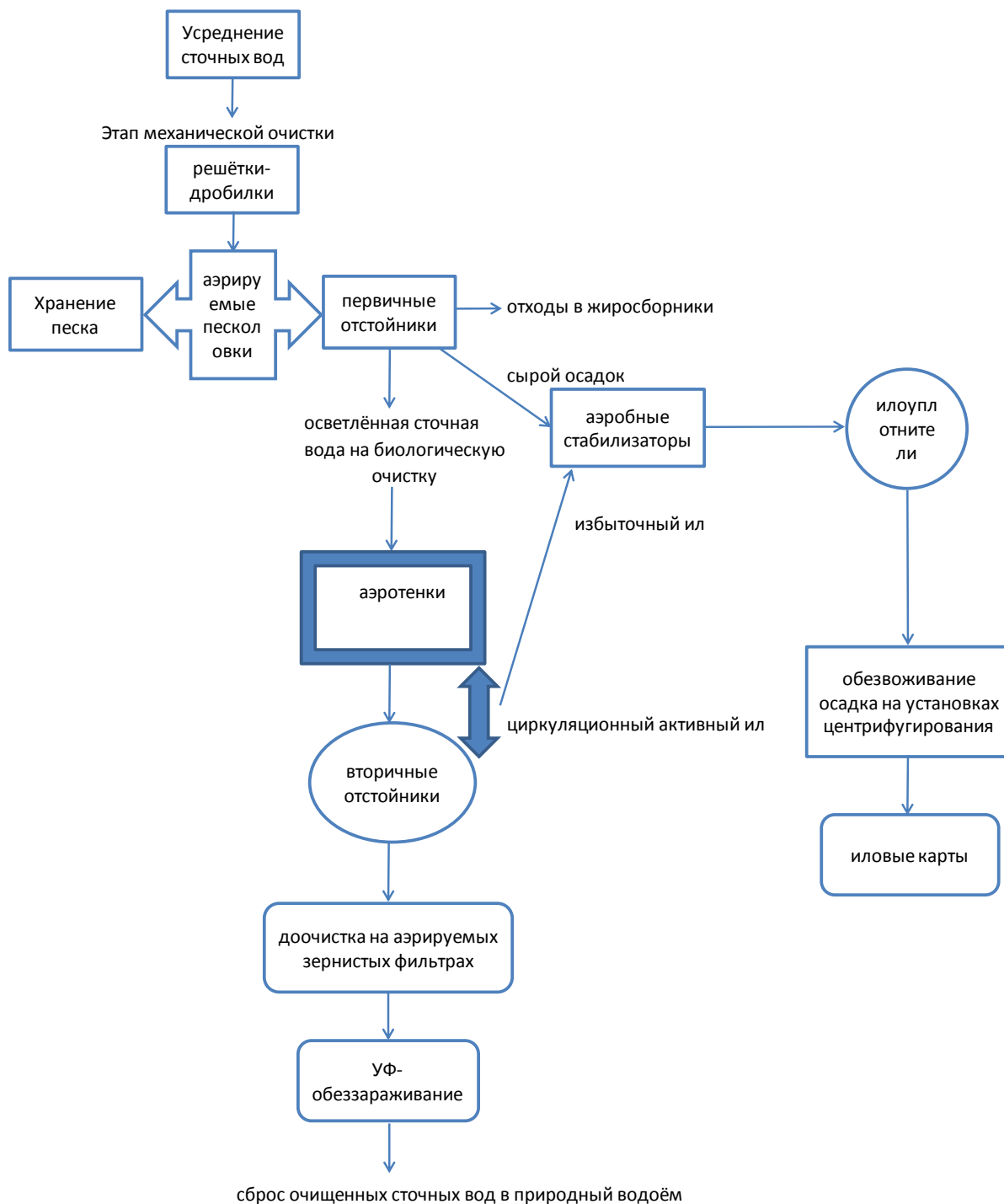


Рисунок Б.1 - Схема очистных сооружений