

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

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Совершенствование технологической схемы очистки городских
сточных вод от фосфорсодержащих загрязнений

Студент

В.Д. Сорочинская

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.А. Селезнёв

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы

к.п.н., доцент, М.В.

Кравцова

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.п.н., доцент, М.В.

Кравцова

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Литературный обзор по теме исследования	6
1.1 Сточные воды и их классификация.....	6
1.2 Общая характеристика структурных компонентов очистных сооружений 16	
1.3 Фосфор. Методы очистки сточных вод от фосфатов.....	26
2 Анализ существующей схемы очистки сточных вод от фосфатов на очистных сооружениях ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»	40
2.1 Краткая характеристика предприятия	40
2.2 Технологическая схема очистки сточных вод	41
2.3 Оценка эффективности очистки сточных вод от фосфатов на очистных сооружениях ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»	54
3 Разработка рекомендаций по совершенствованию очистки сточных вод от фосфорсодержащих загрязнений на очистных сооружениях ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»	57
3.1 Технологические решения повышения эффективности дефосфатизации.....	57
3.2 Модернизация работы очистных сооружений ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	71
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. В настоящее время, в условиях возрастающего антропогенного пресса на природные водоёмы, одной из важных задач является интенсификация очистки сточных вод от загрязнений. Из всех загрязняющих веществ именно фосфор представляет наибольшую опасность для водных экосистем, поскольку его накопление в воде усиливает процессы эвтрофикации. В результате эвтрофирования наблюдается нарушение процессов саморегуляции в биоценозах, происходит массовое размножение сине-зелёных водорослей, вызывая «цветение» воды. Это приводит к возникновению заморных явлений у рыб, обуславливает невозможность использования воды в качестве питьевой, создает помехи в водопользовании, способствует образованию биологических обрастаний в технологических аппаратах и коммуникациях. Затраты на очистку таких эвтрофированных вод резко возрастают.

«Почти во всех водоемах, подверженных антропогенной нагрузке, концентрации фосфатов значительно превышают значения предельно допустимого сброса (далее ПДС), что связано в первую очередь с тем, что не все очистные сооружения обладают достаточными технологиями по удалению фосфорсодержащих загрязнений из сточных вод. Большинство действующих в России сооружений очистки основано на применении устаревших технологий, дающих низкий процент очищения от фосфатов. В результате на многих объектах требования нормативных документов по сбросу фосфора не выполняются. Поэтому анализ причин недостаточного очищения сточных вод и разработка эффективных технологических решений по их очистке от фосфорсодержащих загрязнений являются актуальным направлением исследований» [1].

Цель и задачи исследования. Объектом исследования являются биологические очистные сооружения канализации предприятия ООО

«АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ» (далее ООО «АВК»), осуществляющего водоснабжение и водоотведение в Автозаводском районе г.о. Тольятти.

Целью настоящей работы является совершенствование существующей технологии очистки городских сточных вод для снижения концентрации фосфорсодержащих загрязнений:

1. Провести анализ отечественного и зарубежного опыта по очистке сточных вод от фосфатов на основании литературных данных;
2. Рассмотреть и проанализировать технологическую схему очистки сточных вод от фосфатов на очистных сооружениях ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»;
3. Разработать рекомендации по улучшению качества очистки городских сточных вод от фосфатов на изучаемом предприятии.

Научная новизна. Разработаны рекомендации по совершенствованию технологической схемы очистки сточных вод. Выявлена причина недостаточного удаления фосфора из сточных вод. Подготовлены предложения по реконструкции аэротенков. Обоснована необходимость введения инженерного контроля на этапе биологической очистки.

Теоретическая и практическая значимость работы. Изучен спектр технологических решений по повышению эффективности очистки сточных вод от фосфорсодержащих загрязнений. Полученные результаты могут быть использованы для повышения качества очистки сточных вод от фосфатов на очистных сооружениях ООО «АВК».

Защищаемые положения:

1. Эффективной схемой реконструкции аэротенков является вариант с чередованием анаэробного и аэробного этапов биологической очистки.
2. Одной из причин недостаточной очистки сточных вод от фосфорсодержащих загрязнений на этапе биологической очистки является нерегулируемость условий, влияющих на эффективность осаждения фосфора, таких как температура и уровень растворённого кислорода в воде.

3. Модернизация очистных сооружений, включающая реконструкцию аэротенков, введение инженерного контроля и метод химического осаждения, способна повысить эффективность удаления фосфора из сточных вод на изучаемом предприятии.

Структура магистерской диссертации: Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников, включающего 75 наименований, 16 из которых на иностранном языке. Объем работы составляет 80 страницы машинописного текста, содержит 11 рисунков и 3 таблицы.

1 Литературный обзор по теме исследования

1.1 Сточные воды и их классификация

Простое химическое соединение двух атомов водорода и одного атома кислорода – вода – является основой жизни на Земле, ее биологического разнообразия, здоровья отдельных особей и популяций в целом. В первую очередь это относится к пресной воде, общее количество которой по разным подсчетам составляет 2,5-3% от мировых запасов воды. Если учесть, что 75% пресной воды приходится на горные и полярные ледники, 24% - на подземные воды, около 0,5% представляет собой почвенную влагу и пар, то на долю легкодоступной пресной воды остается лишь чуть больше 0,01% от общего количества пресной воды на планете. И это жизненно важное количество ресурса ежедневно подвергается массивированному негативному воздействию со стороны человека.

«В течение всей истории своего развития человечество предпочитало образовывать поселения, а впоследствии и промышленные объекты вблизи источников пресной воды. Рост численности населения, развитие промышленности требовали постоянного увеличения количества используемой воды, что неизбежно вело к возрастанию антропогенной нагрузки на водоемы вследствие сброса в них сточных вод, то есть пресных вод, загрязненных веществами минерального и органического происхождения при использовании в быту и промышленности» [1].

Источники пресной воды на планете в настоящее время настолько стремительно утрачивают возможность обеспечивать растительный, животный мир и человечество, что если такая тенденция сохранится, то это приведет к массовой гибели животных и значительному сокращению численности населения. Усиливающийся с каждым годом хозяйственный пресс на водные экосистемы обуславливает необходимость проведения мероприятий, направленных на обеспечение качественного очищения

сточных вод антропогенного происхождения, что предусматривает разработку и совершенствование эффективных, технически и экономически выгодных методик по удалению вредных веществ из сточных вод.

«Водоотводящие системы и сооружения - это один из видов инженерного оборудования и благоустройства населенных пунктов, жилых, общественных и производственных зданий, обеспечивающих необходимые санитарно-гигиенические условия труда, быта и отдыха населения. Системы водоотведения и очистки состоят из комплекса оборудования, сетей и сооружений, предназначенных для приема и удаления по трубопроводам бытовых производственных и атмосферных сточных вод, а также для их очистки и обезвреживания перед сбросом в водоем или утилизацией» [1].

Объектами водоотведения являются здания различного назначения, а также вновь строящиеся, существующие и реконструируемые города, поселки, промышленные предприятия, санитарно-курортные комплексы и т.п.

«В зависимости от происхождения вида и состава сточные воды подразделяются на три основные категории: бытовые, производственные, атмосферные.

Бытовые сточные воды (от туалетных комнат, душевых, кухонь, бань, прачечных, столовых, больниц; они поступают от жилых и общественных зданий, а также от бытовых помещений) образуются в результате практической деятельности и жизнедеятельности людей. Концентрацию загрязняющих веществ бытовых сточных вод определяется исходя из удельного водоотведения на одного жителя» [1].

В сточных водах содержатся примеси минерального и органического происхождения. Можно принять, что минеральные загрязнения в бытовых сточных водах в виде нерастворенного вещества - 5 %, суспензии - 5 %, коллоиды - 2 % и растворимые вещества - 30 %. Для органических веществ эти проценты соответственно следующие: нерастворимые - 15 %, суспензии - 15 %, коллоиды - 8% и растворимые - 20 %.

«Минеральные соединения представлены солями аммония, фосфатами, хлоридами, гидрокарбонатами и другими соединениями. Бытовые сточные воды имеют обычно слабощелочную реакцию среды ($pH=7,2 - 7,8$). Органические вещества бытовых сточных вод можно разделить на две группы: безазотистые и азотосодержащие вещества. Основная часть безазотистых органических веществ представлена углеводами и жирами. Азотосодержащие органические соединения представлены белками и продуктами их гидролиза. Особую форму примеси бытовых сточных вод представляют микроорганизмы. Иногда могут присутствовать и болезнетворные формы микроорганизмов (бактерии и вирусы)» [1, 2].

Состав производственных сточных вод (воды, использованные в технологических процессах, не отвечающие более требованиям, предъявляемым к их качеству; к этой категории относят также воды, откачиваемые на поверхность земли при добыче полезных ископаемых) зависит от характера производственного процесса и отличается большим многообразием. В зависимости от состава примесей и специфичности их действия на водные объекты сточные воды могут быть разделены на следующие группы:

«Воды, содержащие неорганические примеси со специфичными токсичными свойствами. Сюда входят стоки металлургии, гальванических цехов, предприятия, машиностроительной, рудо- и угледобывающей промышленности, заводы по производству кислот, строительных изделий и материалов, минеральных удобрений и другие. Они могут вызвать изменение pH воды водоёмов. Соли тяжёлых металлов являются токсичными по отношению к водным организмам» [2,3,4].

Воды, в которых неорганические примеси не обладают токсичным действием. К этой группе относятся сточные воды рудообогатительных фабрик, цементных заводов и других. Примеси такого типа находятся во взвешенном состоянии. Для водоёма особой опасности эти воды не представляют.

Воды, содержащие нетоксичные органические вещества. Сюда входят сточные воды в основном предприятий пищевой промышленности (мясной, рыбной, молочной, пищевой, целлюлозно-бумажной, микробиологической, химической промышленности, заводы по производству каучука, пластмасс и другие). При попадании их в водоем возрастает окисляемость, БПК, снижается концентрация растворённого кислорода.

Воды, содержащие органические вещества со специфическими токсичными свойствами. К этой группе относятся сточные воды нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, текстильной, легкой, фармацевтической промышленности; заводы по производству сахара, консервов, продуктов органического синтеза и другие).

Кроме вышеуказанных групп загрязненных производственных сточных вод имеет место сброс нагретых вод в водоем, что является причиной так называемых тепловых загрязнений. Производственные сточные воды могут различаться по концентрации загрязняющих веществ, по степени агрессивности и т. д.

«Состав производственных сточных вод колеблется в значительных пределах, что вызывает необходимость тщательного обоснования выбора надежного и эффективного метода очистки в каждом конкретном случае. Получение расчетных параметров и технологических регламентов обработки сточных вод и осадка требуют весьма продолжительных научных исследований как в лабораторных, так и полупромышленных условиях. Количество производственных сточных вод определяется в зависимости от производительности предприятия по укрупненным нормам водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. Норма водопотребления - это целесообразное количество воды, необходимого для производственного процесса, установленная на основании научно обоснованного расчета или передового опыта. В укрупненную норму водопотребления входят все расходы воды на предприятии» [4]. Нормы расхода производственных сточных вод применяют при проектировании

вновь строящихся и реконструкции действующих систем водоотведения промышленных предприятий. Укрупненные нормы позволяют дать оценку рациональности использования воды на любом действующем предприятии.

«Степень загрязнённости атмосферных вод (дождевые и талые воды отводятся вместе с водами от полива улиц, фонтанов и дренажей) зависит от многих факторов, в том числе от общей санитарной обстановки населённого пункта. Принятая технология сухой уборки улиц не обеспечивает полного удаления загрязнений. Мусор с проезжей части дорог содержит значительное количество органики, биогенов, нефтепродуктов солей тяжёлых металлов. Загрязнённость дождевого стока зависит от его расхода. При расходе менее 25 л/с га сточные воды практически не смывают загрязнений и поэтому загрязнённость их минимальна. По мере увеличения расхода стока в нём растут концентрации взвешенных веществ, фосфора и азота, достигая максимума непосредственно перед пиком дождя. Основная часть загрязнённых дождевых вод поступает в канализацию в начале дождя» [4].

«Максимальная величина БПК воды наблюдается в летние месяцы, а осенью они снижаются почти в 2 раза. Для биогенных веществ характерен пик ранней весной и второй пик наблюдается осенью после листопада» [4,5].

В практике используется также понятие городские сточные воды, которые представляют собой смесь бытовых и производственных сточных вод. Бытовые, производственные и атмосферные сточные воды отводятся как совместно, так и отдельно. Наиболее широкое распространение получили общесплавные и отдельные системы водоотведения. При общесплавной системе все три категории сточных вод отводятся по одной общей сети труб и каналов за пределы городской территории на очистные сооружения. Отдельные системы состоят из нескольких сетей труб и каналов: по одной из них отводятся дождевые и незагрязнённые производственные сточные воды, а по другой или по нескольким сетям - бытовые и загрязнённые производственные сточные воды.

Сточные воды представляют собой сложные гетерогенные смеси, содержащие примеси органического и минерального происхождения, которые находятся в не растворенном, коллоидном и растворенном состоянии. Степень загрязнения сточных вод оценивается концентрацией, т. е. массой примесей в единицу объема мг/л или г/куб. м. Состав сточных вод регулярно анализируется. Проводятся санитарно-химические анализы по определению величины ХПК (общая концентрация органических веществ); БПК (концентрация органических соединений, окисляемых биологическим путем); концентрация взвешенных веществ; активной реакции среды; интенсивности окраски; степени минерализации; концентрации биогенных элементов (азота, фосфора, калия) и др. Для разработки рациональной схемы водоотведения и оценки возможности повторного использования сточных вод изучается состав и режим водоотведения не только общего стока промышленного предприятия, но также сточных вод от отдельных цехов и аппаратов. «Помимо определения основных санитарно-химических показателей в производственных сточных водах определяются концентрации специфических компонентов, содержание которых предопределяется технологическим регламентом производства и номенклатурой применяемых веществ» [4].

«В составе инженерных коммуникаций промышленного предприятия, как правило, имеется несколько водоотводящих сетей. Незагрязненные нагретые сточные воды поступают на охладительные установки (брызгальные бассейны, градирни, охладительные пруды), а затем возвращаются в систему оборотного водообеспечения. Загрязненные сточные воды поступают на очистные сооружения, а после очистки часть обработанных сточных вод подается в систему оборотного водообеспечения в те цеха, где ее состав удовлетворяет нормативным требованиям» [4,5,6].

Эффективность использования воды на промышленных предприятиях оценивается такими показателями, как количество использованной оборотной воды, коэффициентом ее использования и процентом ее потерь.

Для промышленных предприятий составляется баланс воды, включающий расходы на различные виды потерь, сбросы и добавление компенсирующих расходов воды в систему. Проектирование вновь строящихся и реконструируемых систем водоотведения населенных пунктов и промышленных предприятий должно осуществляться на основе утвержденных в установленном порядке схем развития и размещения отрасли народного хозяйства, отраслей промышленности и схем развития и размещения производительных сил по экономическим районам. При выборе систем и схем водоотведения должна учитываться техническая, экономическая и санитарная оценки существующих сетей и сооружений, предусматриваться возможность интенсификации их работы.

При выборе системы и схемы водоотведения промышленных предприятий необходимо учитывать:

- требования к качеству воды, используемой в различных технологических процессах;
- количество, состав и свойства сточных вод от дельных производственных цехов и предприятия в целом, а также режимы водоотведения;
- возможность сокращения количества загрязненных производственных сточных вод путем рационализации технологических процессов производства;
- возможность повторного использования производственных сточных вод в системе оборотного водообеспечения или для технологических нужд другого производства, где допустимо применять воды более низкого качества;
- целесообразность извлечения и использования веществ, содержащихся в сточных водах;
- возможность и целесообразность совместного отведения и очистки сточных вод нескольких близко расположенных промышленных

предприятий, а также возможность комплексного решения очистки сточных вод промышленных предприятий и населенных пунктов;

- возможность использования в технологическом процессе очищенных бытовых сточных вод;

- возможность и целесообразность использования бытовых и производственных сточных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур;

- целесообразность локальной очистки сточных вод отдельных цехов предприятия;

- само очищающую способность водоема, условия сброса в него сточных вод и необходимую степень их очистки;

При вариантном проектировании водоотводящих систем и очистных сооружений на основании технико-экономических показателей принимается оптимальный вариант.

«В зависимости от происхождения, сточные воды могут быть следующих видов: хозяйственно-бытовые, производственные и атмосферные» [2].

«Хозяйственно-бытовые сточные воды являются непосредственным результатом жизнедеятельности человека и образуются в жилых, административных и коммунальных зданиях, в бытовых помещениях промышленных предприятий. Такие воды поступают в очистные сооружения от санитарных приборов (умывальников, раковин, моек, ванн, унитазов, душевых и т.д.)» [1].

«Производственные сточные воды являются побочным продуктом работы производственных предприятий. К таким сточным водам относятся: отработавшие химические реактивы и растворы, воды после промывания промышленного оборудования и помещений, а так же мытья продукции и отходов производства, воды охладителей, воды шахт и карьеров» [1]. Сточные воды промышленного происхождения могут быть условно чистыми

(вода используется для охлаждения производственных агрегатов) и загрязненными.

Атмосферные сточные воды образуются в результате выпадения разнообразных осадков и таяния снега на территории населенных пунктов и промышленных предприятий. Такие воды так же называют дождевыми или ливневыми [3].

Все виды сточных вод содержат в себе различные загрязнения, которые можно разделить на три группы: органические, минеральные, биологические. Органические загрязнения представляют собой примеси растительного и животного происхождения, такие как гуминовые вещества, различные амины, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенолы, фосфорорганические соединения, способные изменять органолептические свойства воды. Минеральные загрязнения обычно представлены песком, глинистыми частицами, частицами руды, шлака, минеральных солей, растворами кислот, щелочей и другими веществами. Биологические и бактериальные загрязнения - это различные микроорганизмы (дрожжи, грибки, водоросли, паразиты, бактерии), включая болезнетворные [4].

В состав хозяйственно-бытовых сточных вод входят загрязняющие вещества минерального и органического происхождения, которые могут быть в растворенном, взвешенном, высокодисперсном состоянии. При этом содержание взвешенных органических веществ составляет около 100-300 мг/л; растворенные органические загрязнители, оценивающиеся по величине химической и биохимической потребности в кислороде (ХПК и БПК соответственно) содержатся в концентрациях ХПК 150-600 мг/л, БПК 100-400 мг/л, что позволяет отнести бытовые сточные воды к весьма загрязненным [1]. С точки зрения санитарии наибольшую опасность представляют органические загрязнители. В бытовых сточных водах обнаруживаются возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии, холеры, чумы, туляремии, полиомиелита и других заболеваний, а также яйца

гельминтов (глистов), поступающие в сточные воды с выделениями людей и животных.

Состав производственных сточных вод зависит от технологии производства, поставляющего сточную воду, и существенно различается по составу и концентрациям загрязняющих веществ. Загрязняющими веществами промышленного производства как правило являются фенолы, смолы, масла, целлюлоза, древесное волокно, различные взвешенные и органические вещества.

Основу сточных вод ливневого происхождения составляют нерастворенные минеральные вещества в значительном количестве, а также загрязнения органического происхождения. В состав таких вод входят кварцевый песок, глинистые частицы, мусор и нефтепродукты, которые смываются с улиц города. Смыв дождевой и талой воды с территорий предприятий привносит в состав сточных вод примеси, характерные для типа производства. Установлено, что ливневые сточные воды могут являться источниками загрязнения водоемов, поэтому, наряду с другими видами сточных вод, нуждаются в очистке [5].

Однако следует отметить, что в настоящее время не существует бытовых сточных вод в чистом виде. Поэтому более распространено понятие «городские сточные воды», представляющие собой смесь бытовых и производственных сточных вод, так как в сточных водах городов всегда присутствуют загрязнения характерные и для промышленных сточных вод (фенолы, нефтепродукты, кислоты, щелочи и т.д.).

Вне зависимости от происхождения все виды сточных вод перед сбросом в природные водоемы необходимо подвергать очистке. Условия сброса очищенных сточных вод регламентируются «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», утвержденными Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР, Министерством здравоохранения СССР и Министерством рыбного хозяйства СССР 16 мая 1974 г. (в 2001 году был заменен на СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические

требования к охране поверхностных вод»). В соответствии с документом все водные объекты по своему назначению подразделяются на рыбохозяйственные и на хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

«Водные объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения разделяются на две категории: а) используемые для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий; б) используемые для купания, спорта и отдыха населения, а также для водоемов в черте населенных мест. Водные объекты для рыбохозяйственных целей также подразделяются на две категории: а) используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду; б) используемые для всех других рыбохозяйственных целей» [6].

Большинство водоемов в Российской Федерации отнесено к водоемам рыбохозяйственного водопользования. При выпуске очищенных сточных вод в водоем необходимо учитывать категорию водного объекта и ПДК вредных загрязнений, а также природные особенности водных объектов.

1.2 Общая характеристика структурных компонентов очистных сооружений

В настоящее время большинство городов и промышленных предприятий имеют современный комплекс самотечных и напорных трубопроводов и других специальных сооружений, через которые реализуются отведение, очистка, обезвреживание и использование воды и образующихся осадков. Такой комплекс называется водоотводящей системой [1].

Водоотводящая система может быть полной раздельной и неполной раздельной. При полной раздельной системе промышленные и хозяйственно-

бытовые сточные воды по одной сети труб и каналов поступают на очистные сооружения, а атмосферные и условно чистые промышленные сточные воды по другой сети и каналов — по кратчайшему пути в ближайший водоток. Неполная раздельная система подразумевает отведение хозяйственно-бытовых, загрязненных промышленных и первичных атмосферных сточных вод в очистные сооружения, а вторичных атмосферных и условно чистых промышленных сточных вод — в ближайшие природные водоемы или водотоки без очистки.

Эффективные очистные сооружения представляют собой жестко регламентированный комплекс целого ряда механизмов, узлов и транспортных коммуникаций. Очистные сооружения, как компонент водоотводящей системы, в большинстве своем состоят из следующих структурных компонентов: сооружения механической очистки сточных вод, сооружения биологической очистки сточных вод, сооружения физико-химической очистки сточных вод, системы доочистки и обеззараживания очищенных вод в соответствии с рисунком 1 [3].

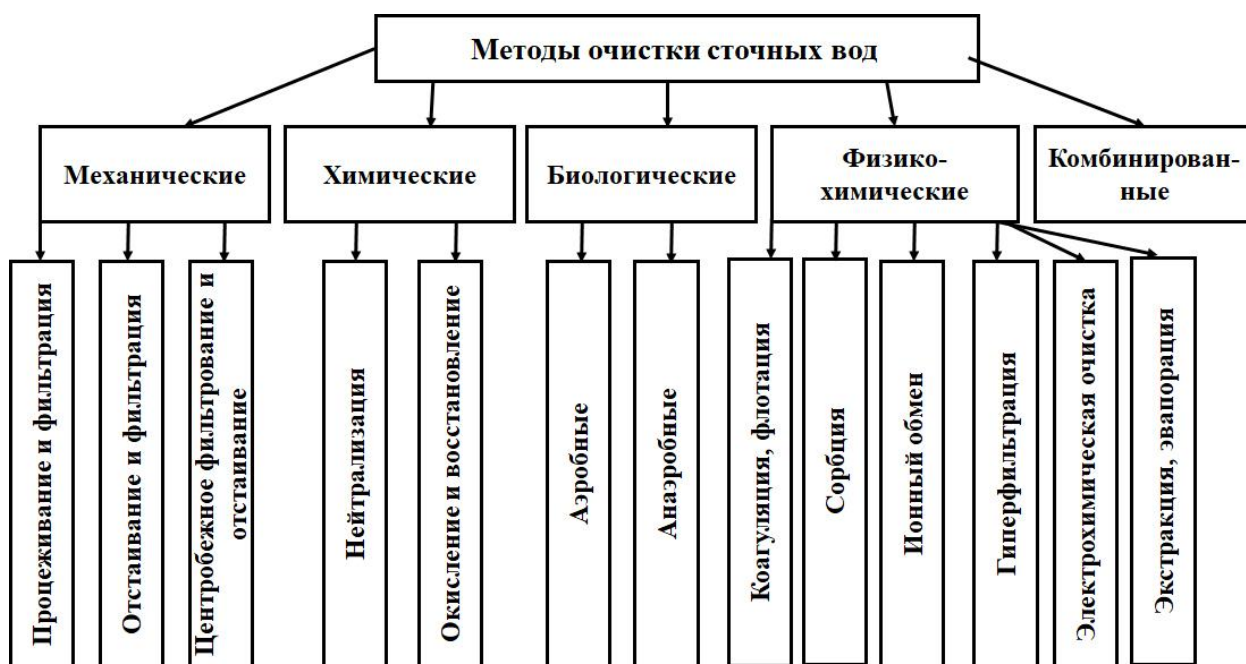


Рисунок 1 – Методы обработки сточных вод на очистных сооружениях [7]

Сооружения механической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных загрязнителей. К таким сооружениям относятся решетки, сита, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций.

«Содержащиеся в сточных водах крупноразмерные (более 1 см) отбросы, являющиеся отходами хозяйственно-бытовой и производственной деятельности, представляют собой остатки пищи, упаковочные материалы, бумагу, тряпье, санитарно-гигиенические, полимерные и волокнистые материалы. В процессе транспортирования по водоотводящим сетям крупноразмерные отбросы адсорбируют содержащиеся в сточных водах органические соединения, жиры. Образующийся на поверхности отбросов адгезионный слой способствует налипанию на них значительного количества песка, шлаков и других минеральных частиц. Таким образом, формируются многокомпонентные крупноразмерные органо-минеральные составляющие отбросов» [1].

Решетки и сита располагаются вначале всех технологических схем очистки сточных вод и используются для удержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. Они устанавливаются в уширенных каналах перед песколовками.

В песколовках под действием силы гравитации происходит осаждение из сточных вод нерастворенных твердых примесей, таких как песок, шлак, бой стекла и другие.

Как правило, после песколовки устанавливаются усреднители, которые усредняют потоки воды по объему и содержанию примесей. Перемешивание в них осуществляется барботажем воздуха или механическим перемешиванием [8].

Отстойники, являясь самым простым, наименее энергоемким и дешевым методом выделения из сточных вод крупных примесей, задерживают частицы загрязнений, под действием силы гравитации оседающие на дно или всплывающие на поверхность. К отстойным

сооружениям относятся первичные и вторичные отстойники, контактные резервуары, илоуплотнители, осадкоуплотнители [3].

При очистке сточных вод на стадиях отстаивания часто используется флокуляция. Она является разновидностью коагуляции и основана на образовании рыхлых хлопьевидных агрегатов (флокул) из мелких частиц дисперсной фазы, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой или газовой среде. В большинстве случаев флокуляция вызывается специальными добавками — флокулянтами и реагентами [9]. Механизм очищения водной среды флокуляцией основан на способности флокул адсорбировать на себя макромолекулы загрязняющих веществ. Скорость осаждения флокул зависит от их размера и концентрации. При малой концентрации осаждение происходит быстрее с увеличением их размера, что носит название диффузного отстаивания. Увеличение концентрации флокул влечет за собой массовое осаждение с образованием четкой границы между осадком и отстоянной жидкостью (поршневое отстаивание). Превышение определенного порога концентрации флокул ведет к замедлению процесса осаждения (заторможенное отстаивание) [10].

Первичные отстойники располагаются в системе очистки сточных вод непосредственно за песколовками и предназначены для выделения взвешенных веществ, механических примесей из сточных вод. В первичном отстойнике начинаются процессы биологической очистки сточных вод.

Для механической очистки производственных сточных вод, содержащих специфические загрязнения, применяют специальные сооружения, такие как жироловки, нефтеловушки, масло- и смолоуловители и другие.

В отличие от отстаивания процесс флотации направлен на выделение из сточной жидкости загрязняющих частиц, плотность которых ниже плотности содержащей их жидкости. В результате очищения такие частицы собираются на поверхности воды в виде пены [10]. Флотация может быть естественной, принудительной и спровоцированной.

При естественной флотации природная плотность частиц позволяет естественное разделение их и жидкой фазы, в которой они находятся. Принудительная флотация подразумевает использование различных технических средств для улучшения отделения загрязняющих частиц, обладающих природной флотируемостью. В качестве таких средств могут использоваться струи воздуха или воздуха с химическими реагентами. При спровоцированной флотации плотность загрязняющих частиц снижается искусственно, что улучшает флотацию. В процессе широко используется способность некоторых частиц прилипать к пузырькам воздуха, при этом комплекс «твердая частица-газ» имеет меньшую плотность, чем изначальная частица, облегчая процесс флотации.

Пузырьки воздуха классифицируются по их размеру: средние (2-4 мм), мелкие (от сотен микрометров до 1 мм) и микропузырьки (40-70 мкм) [10].

Флотация так же может быть напорной (обогащение сточных вод газом, растворенным в ней под давлением) и механической (с использованием воздуха или иного газа, диспергированного до состояния мелких пузырьков диаметром 0,2-2 мм [10].

Процессы коагуляции и флокуляции являются основными для корректировки свойств сточных вод и значительно облегчают удаление инертных примесей (таких как ил, глинистые вещества, коллоидные соединения) и загрязнений живыми организмами (водоросли, паразитические микроорганизмы и их цисты) [10].

Задержанные решетками и ситами загрязнения вывозятся с территорий очистных сооружений, либо измельчаются и обрабатываются совместно с осадками из отстойников. Песок из песколовков подвергается обезвоживанию на специальных площадках и вывозится, а также отмывается от органических загрязнений, высушивается и используется в земляных работах. Осадок из первичных и вторичных отстойников (активный ил) направляется в метантенки, где в анаэробных условиях под действием жизнедеятельности

микроорганизмов окисляются органические вещества. При отсутствии метантенков может применяться метод анаэробной стабилизации.

Механическая очистка сточных вод позволяет задерживать до 60% нерастворенных загрязнителей и подготовить воду для дальнейших этапов очистки.

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые используют растворенные органические соединения в качестве источников для своего питания и места обитания. Процесс биологической очистки может быть осуществлен в условиях, близких к естественным, на полях фильтрации и биологических прудах, либо в искусственных условиях – в аэротенках и на биофильтрах.

В искусственных условиях аэрационных сооружений биомасса микроорганизмов находится во взвешенном состоянии в толще воды в виде отдельных студенистых скоплений, в теле которых обитают различные бактерии, простейшие, черви, личинки насекомых, коловратки, грибы [3]. Такое сообщество микроорганизмов, обитающих в кислородных условиях и получающих энергию из загрязнений сточных вод, называется активным илом. «Активный ил является амфотерной коллоидной системой и по внешнему виду представляет собой комочки и хлопья размером от 3 до 150 мкм и высокой удельной поверхностью, порядка 1200 м² на 1 м³ ила» [11].

Ведущая роль в активном иле принадлежит различным группам бактерий, которые способны не только извлекать из воды растворенные и взвешенные органические вещества, но и образовывать колонии — хлопья, сравнительно легко отделимые затем от очищенной воды отстаиванием или флотацией.

Так как активный ил является примером биоценоза, эффективность его функционирования зависит от множества факторов, таких как: дисбаланс соотношения биогенных элементов в сточных водах, pH среды, освещенность, температура, содержание кислорода, колебание концентрации поверхностно активных веществ (ПАВ), соленость [12].

Например, превышение предельно допустимых концентраций по азоту и фосфору в 4 и более раз ведет к уменьшению общей численности микроорганизмов, сокращению биоразнообразия активного ила. Недостаточное же количество фосфора ведет к вспуханию активного ила из-за массового развития нитчатых бактерий [13].

Наиболее благоприятным для развития и функционирования микроорганизмов активного ила значением рН принято считать диапазон 6-8. При этом ощелачивание среды переносится более стойко, нежели окисление.

Отсутствие света приводит к исчезновению из системы активного ила представителей протозоофауны.

Оптимальной температурой для аэробной очистки сточных вод является 18-32°C, а содержание кислорода 2 мг/л [12].

В биологическом фильтре (биофильтре) колонии микроорганизмов закреплены на поверхности фильтрующего материала, образуя биопленку. В связи с тем, что активность бактериальной культуры зависит от контактной площади возможного обмена, фиксация колоний микроорганизмов на гранулированном носителе обеспечивает развитую удельную поверхность и значительно увеличивает площадь обмена, тогда как в активном иле эта площадь ограничена способностью микроорганизмов образовывать флоккулы. Например, материал Biolite с эффективным размером 2,7мм образует поверхность обмена, равную 700 м² на 1 м³ [10].

В результате жизнедеятельности микроорганизмов происходит окисление органических веществ сточной воды и преобразование их в простые химические соединения, энергию и биомассу. В процессе ферментативных реакций происходит очищение сточных вод от загрязнителей и увеличение количества колоний микроорганизмов. Отмершие части биопленки вымываются из биофильтра с током воды [1].

Кроме того, в настоящее время существуют комбинированные сооружения, сочетающие в себе признаки биофильтров и аэротенков, в которых сглаживаются недостатки обоих видов сооружений биологической

очистки сточных вод. Разработка таких технологий направлена на увеличение количества биомассы в аэротенке, которая не переносится во вторичный отстойник, и одновременно на повышение минимального возраста ила для нитрификации, а также на сохранение высокой скорости обменных процессов. Среди них можно выделить технологию со смешанными культурами, биологические диски и неподвижные погруженные контактные тела. Так, например, использование технологии мембранных биореакторов в разы увеличивает окислительную способность сооружений и позволяет отказаться от использования вторичных отстойников и сооружений доочистки в схеме [14].

Смесь сточной воды из активного ила из аэротенков или биофильтров поступает во вторичные отстойники, где происходит осаждение и уплотнение активного ила, который затем может быть снова использован в аэротенках. При использовании биофильтров при отстаивании во вторичных отстойниках происходит задержание биологической пленки, поступающей с водой из биофильтров.

Физико-химические методы очистки получили наибольшее распространение при очистке производственных сточных вод. На городских очистных сооружениях физико-химические методы применяют, как правило, на стадии доочистки сточных вод.

Очистные сооружения с физико-химическим принципом действия могут быть двух видов: разделительные и деструкторы. Разделительные очистные сооружения извлекают из воды загрязнения, которые после очистки выводятся в виде шламов, высококонцентрированных растворов, осадков. Деструкторы разрушают загрязнители непосредственно в сточной воде, оставляя получившиеся соединения в сточной жидкости. При втором типе сооружений вторичных отходов, требующих своей утилизации, не образуется [1]. В дальнейшем шламы, осадки могут быть использованы в качестве удобрений при выращивании сельскохозяйственных растений [15].

К методам физико-химической очистки производственных сточных вод относятся: реагентная очистка, сорбция, экстракция, эвапорация, дегазация, ионный обмен, озонирование, электрофлотация, хлорирование, электродиализ и др.

Более тщательная, глубокая очистка сточных вод может потребоваться после биологической очистки для снижения концентрации взвешенных веществ, значения показателей БПК и ХПК и др. При этом используются фильтры различных конструкций [16]. Фильтрация – это процесс разделения твердых частиц и жидкости, при котором их смесь пропускают через пористую среду (фильтрующую загрузку или фильтрующий материал), благодаря чему происходит задерживание частиц твердого вещества и пропускание очищенной жидкости. «Различают два основных типа фильтрации: фильтрация в глубину слоя (фильтрация на гранулированном слое) и фильтрация с образованием слоя осадка на фильтре (фильтрация на фильтрующей основе)» [10].

Процесс фильтрации основан на трех основных последовательных механизмах: задерживание, фиксирование и отделение.

Задерживание может быть двух основных типов:

1. Механическое процеживание, при котором задерживаются частицы, более крупные, чем отверстия фильтра или проходы, образованные уже осевшими на фильтр загрязнениями, которые в свою очередь так же образуют фильтрующую среду. Значение этого типа задерживания повышается с уменьшением размера отверстий фильтра и для фильтрации с применением тонкой основы (сито, фильтрующий патрон и др.) становится преобладающим;

2. Осаждение на фильтрующем материале имеет особую значимость при фильтровании в глубину слоя. При этом частицы загрязняющих веществ движутся в соответствии с потоками воды и многочисленные контакты со стенками фильтрующего материала, в которые они вступают, перемещаясь по извилистой траектории, обеспечивают их задерживание [10].

Низкая скорость течения воды способствует фиксированию частиц на поверхности фильтрующего материала. Процесс обеспечивается за счет физических сил, таких как сцепление, прилипание, заклинивание, либо сил адсорбции, в основном ван-дер-ваальсовыми силами.

По мере задерживания и закрепления частиц происходит уменьшение свободного пространства между гранулами фильтрующего материала и увеличение скорости движения воды. Это может привести к отрыву ранее задержанного осадка и вынесению его вглубь фильтрующего слоя или проникновению его в фильтрат.

При проведении процессов фильтрации воды необходимо учитывать характер взвешенных частиц, т.к. твердые частицы и сфлукулированные коллоидные частицы имеют абсолютно разные характеристики и в различной степени оказываются вовлеченными в процессы, механизмы которых рассматривались выше [10].

Глубокая очистка от растворенных органических веществ предусматривает использование таких установок, как сорбционные, биосорбционные, озонаторные, ионитовые и другие. Глубокая очистка сточных вод от соединений азота и фосфора может осуществляться с помощью физико-химических и биологических методов, например, методом флотации с флокуляцией, который основан на ослаблении флокулянтами гидрофильных свойств поверхности взвешенных частиц, вследствие чего облегчается их прилипание к воздушным пузырькам и последующее извлечение в процессе флотации.

Дезинфекция сточных вод проводится на заключительном этапе очистки перед сбросом сточных вод в водоем. Ее целью является уничтожение патогенных микроорганизмов, содержащихся в сточной воде. Для дезинфекции сточных вод применяются хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение, а также перманганат калия, известь, феррит натрия, гамма-облучение.

Для дополнительного насыщения очищенных сточных вод кислородом перед выпуском их в водоем предусматривают специальные устройства, например, многоступенчатые водосливы-аэраторы, быстротокки, барботажные сооружения [3].

Технологическая схема сооружений для очистки сточных вод промышленного происхождения зависит от типа производства и основных загрязняющих веществ, входящих в состав сточных вод. Очистение промышленных сточных вод, а также ливневых сточных вод с территорий предприятий, происходит при условии соблюдения максимально возможного возвратно-оборотного использования.

Сточные воды атмосферного происхождения очищаются механическими методами [3].

Таким образом, технологическая структура очистных сооружений зависит от множества факторов — количества и происхождения сточных вод, особенностей их состава и биохимических свойств, характеристик водоема, принимающего очищенные воды, степени необходимой очистки, рельефа местности, особенностей грунта, экономических факторов и др.

1.3 Фосфор. Методы очистки сточных вод от фосфатов

В 70-х годах XX века внимание ученых СССР привлекло увеличение темпов эвтрофирования водоемов. Как известно большинство малопроточных водоемов, таких как озера, водохранилища, каналы, в своем развитии проходят путь от олиготрофных и мезотрофных водоемов к эвтрофным. Это связано с накоплением питательных веществ, в первую очередь органических, или биогенных. Так, олиготрофные водоемы бедны биогенными элементами, имеют равномерное распределение кислорода по всей толще воды за счет жизнедеятельности бентосных организмов, имеют незначительную биомассу, богаты ценными видами рыб; вода, как правило, прозрачна, голубого цвета. В мезотрофных водоемах происходит

постепенное накопление органических веществ, уменьшается глубина водоема за счет нарастания донных отложений, хорошо развит фитопланктон, цвет воды становится зеленым или коричневым, уменьшается прозрачность.

Для эвтрофных водоемов характерно высокое содержание биогенных элементов, большое разнообразие фитопланктона наряду со скудностью бентосной растительности, в связи с чем падает концентрация кислорода от поверхности ко дну, уменьшается биоразнообразие, происходит постепенное заболачивание водоема.

В природных условиях процесс эволюции водоема занимает длительное время. Однако в условиях антропогенной нагрузки скорость старения водоемов существенно увеличивается. В первую очередь это связано с поступлением в природные водоемы большого количества биогенных веществ со сточными водами. Как правило, элементами, лимитирующими производство первичной продукции водоемов, являются азот, фосфор и их соединения, особенно фосфор.

Такие биогенные вещества как фосфор, азот, железо, попадающие в водоемы за счет промышленных и хозяйственных стоков, смыва воды с улиц, полей, сельхозугодий и так далее дождями, а также стока талой воды весной, в половодье, являются питательной средой для сине-зеленых водорослей, которые массово размножаются в летний период и вызывают «цветение» воды. В результате своей жизнедеятельности цианобактерии выделяют органические соединения и различные токсические вещества, влияющие на сердечно-сосудистую и иммунную системы, деятельность печени и других органов человека.

Фосфор используется для жизнедеятельности водных организмов в виде фосфатов, кроме того, он входит в состав молекул АТФ, полимеров бактериальных стенок и нуклеиновых кислот (ДНК, РНК). В некоторых особых случаях он накапливается в клетке и в других формах (биологическая дефосфатация). В целом удельный вес фосфора составляет 1,5-2,0% сухого

веса биомассы (за исключением случаев биологической дефосфотации) [10]. После отмирания клеток при распаде биомассы фосфор возвращается в окружающую среду в виде анионов фосфорной кислоты, образуя слой с повышенной концентрацией фосфора на поверхности донных осадков, откуда с диффузным потоком и конвекцией в последующем происходит вынос элемента и обратное вовлечение в круговорот [17]. При этом в условиях незагрязненных и слабозагрязненных поверхностных вод донные отложения не являются существенным источником фосфатов для водной толщи [18].

В результате реакции фосфора с катионами металлов (железа, кальция, алюминия) образуются плохо растворимые и нерастворимые в воде соединения, недоступные для живых организмов и выпадающие из круговорота фосфора.

Основным антропогенным источником фосфора и его соединений в водоемах, как правило, являются хозяйственно-бытовые сточные воды. Суточное поступление фосфора составляет 2,5-3 г на 1 жителя [10]. Бурное развитие производства моющих средств и практически повсеместное использование стиральных машин-автоматов в быту привело к увеличению в составе сточных вод концентрации биогенных веществ, в частности фосфатов. Соединения фосфора в сточных водах представлены «растворенным неорганическим ортофосфатом, растворенным неорганическим полифосфатом, растворенным органическим фосфором, органическим фосфором во взвешенных веществах» [19].

Содержание фосфатов в составе моющих средств может достигать 30-50%. В то время как в сточных водах содержание фосфатов, образованных в результате жизнедеятельности человека, достигает 30-50%, а соединений фосфора моющих средств — 70% [20].

Еще одним источником поступления в водоемы соединений фосфора является промышленность по производству минеральных удобрений, которая переводит фосфор из недоступных для микроорганизмов форм, таких как

апатиты, в доступные формы - фосфаты. Во многих регионах происходит смыв удобрений, содержащих значительное количество фосфатов, с посевных угодий дождями и талой водой. Но так как концентрация катионов металлов в водоемах невелика, биологически доступные фосфаты вызывают бурное развитие первичных продуцентов, что в конечном итоге вызывает снижение концентрации растворенного кислорода, насыщение воды токсичными соединениями, оскудение биологического разнообразия, мор промысловой рыбы [17].

«Основным нормативом сбросов загрязняющих веществ, установленным в Российской Федерации, является предельно допустимый сброс (ПДС) - масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте. ПДС - предел по расходу сточных вод и концентрации содержащихся в них примесей - устанавливается с учетом предельно допустимых концентраций веществ в местах водопользования (в зависимости от вида водопользования), ассимилирующей способности водного объекта, перспектив развития региона и оптимального распределения массы сбрасываемых веществ между водопользователями, сбрасывающими сточные воды» [21]. Однако некоторые ученые считают систему расчетов ПДС несовершенной и являющейся одной из причин экологического неблагополучия водоемов. В качестве решения проблемы авторы предлагают использовать показатель «бассейновые допустимые концентрации (БДК), полученные по данным мониторинга водных объектов и учитывающие природные особенности формирования качества вод на конкретной территории водосбора» [22].

В соответствии с действующим законодательством в Российской Федерации допустимые концентрации фосфатов «для водоемов различного уровня трофности составляют: 0,2; 0,15 и 0,05 мг P/l – для эвтрофных, мезотрофных и олиготрофных водоемов, соответственно» [23]. Однако, в

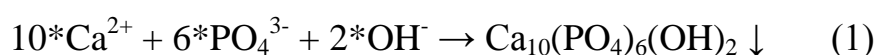
большинстве водоемов, подверженных антропогенной нагрузке, концентрации фосфатов значительно превышают указанные значения. Это, в первую очередь, связано с тем, что не все очистные сооружения обладают достаточными технологиями по удалению фосфатов из сточных вод. Сложность очистки состоит в том, что большинство соединений фосфора в сточных водах находятся в растворенной форме и не выводятся при отстаивании. При биологическом же очищении фосфор удаляется лишь на 20-30%, т.к. его концентрация в сточных водах значительно превышает необходимую для биохимических процессов микроорганизмов активного ила. Поэтому даже в очищенных водах содержание фосфора далеко не соответствует принятым нормам.

В настоящее время в сфере очистки сточных вод от соединений фосфора существует большое разнообразие методов, которые можно выделить в три основных группы [24; 25; 26]:

- химический и физико-химический;
- биологический;
- биолого-химический.

Химический метод удаления фосфатов из сточных вод основан на способности ионов фосфора образовывать нерастворимые соединения с некоторыми элементами, при этом выпадая в осадок. В качестве реагентов могут применяться оксид и гидроксид кальция, хлорид железа, сульфат железа, сульфат алюминия и др. [27]

Реакцию взаимодействия фосфора с гидроксидом кальция можно представить следующим образом [28]:



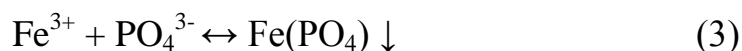
Однако этот метод эффективен при кислотности среды от 7,5 до 8,5 единиц. При значениях pH больше 9,0 увеличивается растворимость

фосфатных комплексов, что делает применение данного метода неэффективным.

Применение солей алюминия в качестве реагентов для химического удаления фосфора из городских сточных вод описывается следующей реакцией [28]:



В настоящее время широко используется метод химического удаления фосфора с помощью солей железа [28]:



При использовании соединений двухвалентного железа (железный купорос) оно сначала должно быть окислено до трехвалентного, затем реакция с фосфатами идет по схеме 3. При этом стехиометрическое соотношение железа и алюминия к фосфору составляет 1:1. Однако в реальных условиях соединения железа и алюминия подвергаются гидролизу с образованием гидроксидов, на поверхности хлопьев которых сорбируются фосфаты, СПАВ и другие загрязняющие вещества. Поэтому в действительности расход железа увеличивается в 3,5-5 раз, алюминия — 4,5-6,2 раз в зависимости от показателя рН среды, щелочности, ионного состава сточной воды [19].

В процессе очищения сточных вод от фосфатов кроме вида используемых реагентов имеет так же значение на каком этапе в технологической схеме очистных сооружений вводится реагент [29]. При введении реагента перед первичными отстойниками происходит снижение нагрузки на аэротенки, удаление тяжелых металлов, нефтепродуктов, повышается эффективность нитрификации. Однако при использовании этой технологии образуется большое количество осадка, что требует

дополнительных технологических решений по его извлечению из системы, а недостаточное содержание углерода тормозит процессы денитрификации. Кроме того, трудности вызывает подбор необходимой дозы реагента из-за отсутствия измерительных приборов для измерения содержания фосфора.

Добавление реагента непосредственно в аэротенк — симультанное осаждение — позволяет увеличить степень его использования благодаря циркуляции с активным илом. Фосфор в этой технологической схеме удаляется из сточной воды и химическим, и биологическим путем. Однако качество очищения воды от фосфатов будет зависеть от содержания в ней взвешенных веществ.

Введение реагента перед вторичными отстойниками позволяет сократить его количество на 30%, по сравнению с таковым в предыдущей схеме. Эффективность удаления соединений фосфора при этом составляет 80-85%. Однако при этом методе возникает вероятность вторичного загрязнения сточных вод соединениями железа, алюминия.

Использование реагентов непосредственно перед процессом фильтрования обеспечивает высокое качество очистки сточных вод, уменьшить количество реагента, но метод несет за собой дополнительные затраты на обустройство системы фильтрования и приготовление регенерационных растворов.

Применение извести в сочетании с флокулянтами для интенсификации процесса осаждения обеспечивает достаточно высокий эффект очистки от фосфатов, а требуемое количество реагента - меньше по сравнению с предыдущими схемами. Однако эта схема требует устройства отдельной стадии обработки [30].

К физико-химическим методам очистки сточных вод от фосфатов можно отнести следующие:

- 1) Адсорбционный метод, при котором соединения фосфора поглощаются поверхностью сорбента. «Сорбент может быть приготовлен из гранулированной окиси алюминия, активированной окисью алюминия и

сульфата алюминия, гидратированным диоксидом титана, активированными оксидами 3-ей и 4-ой групп металлов периодической системы элементов, нанесёнными на волокнистый материал» [1]. Отмечается так же высокая способность к адсорбции соединений фосфора у доломита.

2) Метод очистки от фосфатов в магнитном поле, при котором предварительно связанные в нерастворимые соединения фосфаты осаждаются под действием магнитного материала в магнитном поле.

3) Электро-коагуляционно-флотационный метод с использованием алюминиевых и железных электродов, которые, подвергаясь электролитическому растворению, обогащают сточные воды ионами алюминия и железа; при этом не происходит вторичного загрязнения сточных вод солями металлов.

4) Кристаллизационный метод состоит в выращивании на центрах кристаллизации (фосфат кальция, костяной уголь, шлак доменных печей и др.) кристаллов фосфатов на фильтрах или в толще сточных вод. Выращенные кристаллы удаляются из системы очистки.

В настоящее время удаление фосфора химическим и физико-химическим способами ограничено, т.к. методы имеют высокую экономически невыгодную ресурс- и энергоёмкость, а так же могут нести за собой вторичное загрязнение сточных вод. Тем не менее такие методы очистки сточных вод от фосфатов находят свое применение на стадии доочистки сточных вод.

Большое распространение на современном этапе получил биологический метод удаления фосфора, основанный на связывании фосфора микроорганизмами активного ила в результате их жизнедеятельности. Суть метода заключается в последовательном проведении сточной воды через три зоны: анаэробную, бескислородную и аэробную [31].

«В активном иле присутствуют аммонифицирующие, целлюлозоразлагающие, нитрифицирующие, жирорасщепляющие, денитрифицирующие бактерии, актиномицеты, грибы и многочисленные

простейшие, представленные в основном инфузориями и саркодовыми» [23]. Фосфаты для микроорганизмов являются необходимыми элементами для создания источников энергии в виде молекул АТФ (аденозинтрифосфат- $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$), а так же могут быть использованы некоторыми видами в качестве субстрата в анаэробных условиях.

Переработка фосфатов микроорганизмами может происходить как в аэробных, так и в анаэробных (в отсутствие растворенного в воде кислорода) условиях. «Процесс может осуществляться многими группами бактерий, например группами бактерий *Rhodocyclus*, *Candidatus "Accumulibacter phosphatis"*, *α-Proteobacteries*, *β-proteobacteries*, *Acinetobacter* и группой нитчатых "*Chloroflexi*" и *N. limicola*» [23]. Микроорганизмы, способные поглощать больше фосфора, чем это необходимо для жизнедеятельности, называют фосфораккумулирующими бактериями – ФАО или *Phosphorus accumulating organism*. Такие организмы подразделяются на две группы — ФАО и денитрифицирующий ФАО (DNPAO), который способен использовать регенерацию фосфатов в анаэробных условиях [23].

В системе биологического удаления фосфатов при ферментации органических веществ в анаэробных условиях происходит образование низкомолекулярных органических кислот (уксусная, пропионовая), которые являются субстратом для ФАО и аккумулируются в их клетках в виде полигидроксиалканатов (ПГА) и поли-β-гидроксibuтирата (ПГБ), а так же происходит выделение фосфора из клеток активного ила в раствор. В аэробных же условиях происходит накопление фосфора в клетках микроорганизмов.

Чередование анаэробных и аэробных условий происходит до тех пор, пока максимум фосфатов не будет извлечен из сточной воды с приростом биомассы. Соответственно чем больше низкомолекулярных жирных кислот присутствовало в воде в анаэробной зоне, тем больше прирост ФАО и, следовательно, эффективнее удаляются фосфаты [32].

Циклическая смена анаэробных и аэробных условий позволяет достичь стабильной повышенной концентрации фосфора в активном иле, микроорганизмы которого запасают биологическую энергию в виде АТФ в достаточном количестве для жизнедеятельности [23].

Процесс аккумуляции фосфора происходит эффективно при соблюдении двух важных требований:

- чередование анаэробно-аэробных условий для нормального развития фосфораккумулирующих организмов;
- полное отсутствие нитратов в анаэробных зонах, т. к. нитраты оказывают негативное воздействие в анаэробном периоде, разлагая органические кислоты, а так же подавляют процессы накопления полифосфатов в клетках ФАО.

Кроме того, на эффективность изъятия фосфатов из сточных вод влияет и возраст активного ила. Экспериментально доказано, что оптимальное значение возраста активного ила лежит в диапазоне 6–11 суток [33].

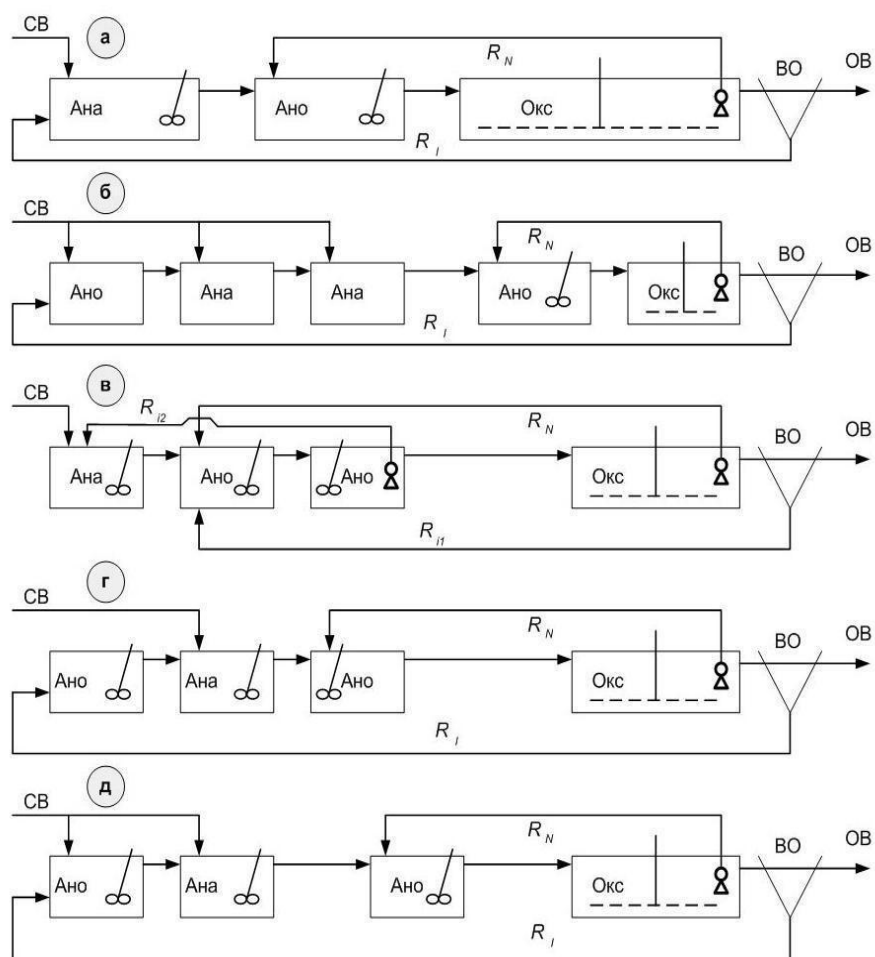
На основании вышеизложенных закономерностей в настоящее время разработан целый ряд технологий биологической очистки сточных вод от фосфатов. К ним относятся такие зарубежные технологические схемы как: «Phostrip», A/O (Anaerobic-Oxic), EASC (Extended Anaerobic Sludge Contact process), технология МУСТ [1; 34, 35].

В технологии A/O, изображенной на рисунке 2 а, эффективность удаления соединений фосфора достигает 70%. При использовании такой схемы поочередной аэробной и анаэробной обработке подвергается иловая вода, а фосфор из системы выводится с избыточным илом [23].

Основным методом биологического изъятия фосфора является «метод с анаэробной обработкой возвратного рециркулирующего активного ила, применение такой технологии позволяет извлекать фосфаты с эффективностью до 90%. В данной системе удаление фосфора происходит с избыточным илом и иловой водой, образующейся в сооружении для анаэробной обработки ила» [32].

При использовании технологии Phoredox, изображённой на рисунке 2 б, в классическую схему нитрификации-денитрификации добавляется анаэробная зона вначале сооружения, таким образом, активный ил из вторичного отстойника помещается в анаэробные условия, а смесь воды и ила из аэробной зоны возвращается в первую бескислородную. Такая схема часто используется на очистных сооружениях Франции [36]. Недостатком технологии является сложность в поддержании достаточно низкой остаточной концентрации нитратов.

Технология «УСТ», изображенная на рисунке 2 в, использует для анаоксидной зоны отдельную камеру, при этом сточные воды обрабатываются в другой камере. Показатель этой схемы основывается на экспериментальной остаточной концентрации нитратов. В то же время низкая концентрация активного ила в анаэробной зоне, по сравнению с таковой в зоне аэрации, влечет за собой необходимость увеличения объема анаэробной зоны для сохранения эффективной массы активного ила. В модифицированном виде данная технология используется на Люберецких и Курьяновских очистных сооружениях (г. Москва), однако в схеме присутствует стадия предварительной денитрификации иловой смеси, подаваемой в анаэробную зону реактора [37, 38]. Подобная же схема используется в составе биоблока Юго-Западных очистных сооружений Санкт-Петербурга [39].



а – А/О; б - Phoredox modification; в - UCT; г – JNB; д – JNB modification. Ана – анаэробная часть; Ано – аноксидная часть; Окс – оксидная часть; ВО – вторичный отстойник; СВ – подача сточных вод; ОВ – очищенная вода; R_i – рециркуляция активного ила; R_N – рециркуляция нитратсодержащей иловой смеси

Рисунок 2 – Наиболее эффективные технологические схемы блоков биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод [40]

Схема «JNB», изображённая на рисунке 2 г, д, впервые была использована в Йоханнесбурге для нейтрализации отрицательного воздействия нитратов. Удаление нитратов происходит в резервуаре, расположенном перед анаэробной зоной, благодаря эндогенным процессам. Данная схема требует тщательного контроля обеспечения полной нитрификации [36].

Циркуляция активного ила между анаэробной и аноксидной зонами, используемая в технологии «ISAH», позволяет при недостаточном количестве углерода обеспечивать дополнительный субстрат для оптимизации обменных процессов, а при отсутствии нитратов увеличивать объем активного ила при анаэробно-анаэробном процессе. Такие схемы используются на очистных сооружениях таких городов как Льеж (Бельгия) и Брно (Чехия) [36].

В настоящее время на практике зачастую используются гибридные технологии, включающие в себя характерные черты нескольких указанных выше схем. К примеру, на очистных сооружениях г. Набережные Челны в 2013 году была внедрена схема, представляющая собой гибридную технологию A/O, «JNB» и «MISAH» [41].

Современные биологические технологии, «которые уже используются на производствах (UCT, MUCT, JNB и др.) или разрабатываются (Anammox, CANON, OLAND, SHARON), позволяют эффективно (87-98%) удалять соединения азота, но характеризуются рядом недостатков, которые приводят к высоким энерго- и материалозатратам, сложностям в строительстве и эксплуатации» [42].

Однако в большинстве случаев, применяя только биологические методы, не удается достичь такого уровня нормативных требований ПДК по содержанию фосфатов в сточной воде для водоёмов рыбохозяйственного значения. Поэтому на практике распространены различные схемы, сочетающие в себе биологическое очищение и химическое осаждение - VIP процесс (Virginia Initiative Process) (например, на Центральной станции аэрации (ЦСА) в Санкт-Петербурге) [43; 44, 45]. Такое совмещение методов позволяет добиться более высокого качества очищения воды, чем при применении каждого из них [46].

Так же происходит и совершенствование реагентов, применяемых для биохимической очистки сточных вод от фосфатов. Перспективным является использование реагентов, состоящих из отходов производств, например

осадки водопроводных станций, экстракты золы бурого угля, отходы производства железа и т. д. Так, известна технология очистки промышленных и бытовых стоков от соединений фосфора с использованием белого шлама (БШ) - оборотного продукта глиноземного производства в виде порошка [47].

Неплохие результаты показала методика очистки фосфатсодержащих водных сред при помощи отхода электросталеплавильного производства, основанная на осаждении образующегося в результате реакции фосфата кальция [48].

Исследования зарубежных авторов [49] показывают эффективное очищение слабозагрязненных сточных вод от фосфатов с помощью гранул оксида лантана. Кроме того, в некоторых регионах предлагается использовать в качестве наполнителя фильтров для очистки сточных вод, в том числе, и от фосфатов не песок, а биочар – продукт из твердых отходов переработки оливкового масла, известный так же как джифт [50].

В настоящее время проблема очищения сточных вод от фосфатов не имеет оптимального решения и требует дополнительных исследований и разработок. Как видно из вышеизложенного, применяющиеся биологические методы не позволяют достичь требуемой санитарным законодательством степени очистки от соединений фосфора, а физико-химические методы, не смотря на довольно хорошие результаты по степени очистки, требуют значительных экономических затрат и создают дополнительную проблему в виде необходимости обработки осадков, образующихся при реагентной обработке [42].

2 Анализ существующей схемы очистки сточных вод от фосфатов на очистных сооружениях ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»

2.1 Краткая характеристика предприятия

Предприятие ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ» (далее - ООО «АВК») осуществляет водоснабжение и водоотведение жилой зоны Автозаводского района г.о. Тольятти и предприятий промышленно-коммунальной зоны – «ТЭЦ ВАЗа», ОАО «АВТОВАЗ» и Самарского филиала ОАО «Волжская ТГК». Хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в приемный резервуар районной насосной станции (РНС). Также на эту насосную станцию подаются загрязненные дождевые сточные воды из прудонакопителя ливневых сооружений ООО «АВК». Далее стоки перекачиваются по 3-м напорным коллекторам протяженностью 17 км на биологические очистные сооружения, расположенные в 20 км от площадки Автозавода в районе с. Васильевка.

Заявленная проектная производительность очистных сооружений ООО «АВК» - 290 000 м³/сут. Проектом предусмотрено поступление на ОСК смешанного состава сточных вод, который подразделяется на бытовые и производственные. Бытовые сточные воды (объем до 211000 м³/сут.) содержат минеральные, органические и бактериальные загрязнения. Источниками образования бытовых сточных вод являются жилой район, а также санитарные узлы служебных и производственных зданий промышленно-коммунальной зоны. Производственные сточные воды (объем до 79000 м³/сут.) включают в себя ливневые загрязненные стоки с внутренних дорог, корпусов Автозавода, загрязненные стоки с ТЭЦ ВАЗа через пруд загрязненных стоков.

Очистные сооружения канализации ООО «АВК» (далее ОСК) предназначены для приёма и очистки сточных вод канализации

Автозаводского района до норм ПДК, с дальнейшим сбросом в Саратовское водохранилище. Места сброса очищенных сточных вод представляют собой рассеивающий выпуск протяженностью 400 м, уложенный на глубину 5-6 м. Он расположен в районе п. Федоровка на п/о Копылова, в 10км ниже плотины Волжской ГЭС, на несудоходном участке реки.

2.2 Технологическая схема очистки сточных вод

Технологический процесс очистки сточных вод на очистных сооружениях ООО «АВК» включает в себя следующие стадии, изображённые на рисунке 3:

1. Механическая очистка сточных вод.
2. Биологическая очистка сточных вод.
3. Доочистка сточных вод.
4. Обеззараживание сточных вод.
5. Обработка осадка.

2.2.1 Механическая очистка сточных вод

На первой стадии осуществляется механическая очистка сточных вод. Сущность данного метода заключается в механическом удалении нерастворенных примесей из загрязненных вод посредством прохождения ими решеток, песколовков и отстойников.

Сточные воды Автозаводского района собираются в главный хозяйственный коллектор, откуда поступают в приёмные резервуары двух районных насосных станций (далее РНС-1, РНС-2). РНС-1 оборудована механизированными решётками, установленные в количестве трех штук, с прозорами 16мм. Их основная задача заключается в удалении из поступающих в них сточных вод предметов достаточной величины.

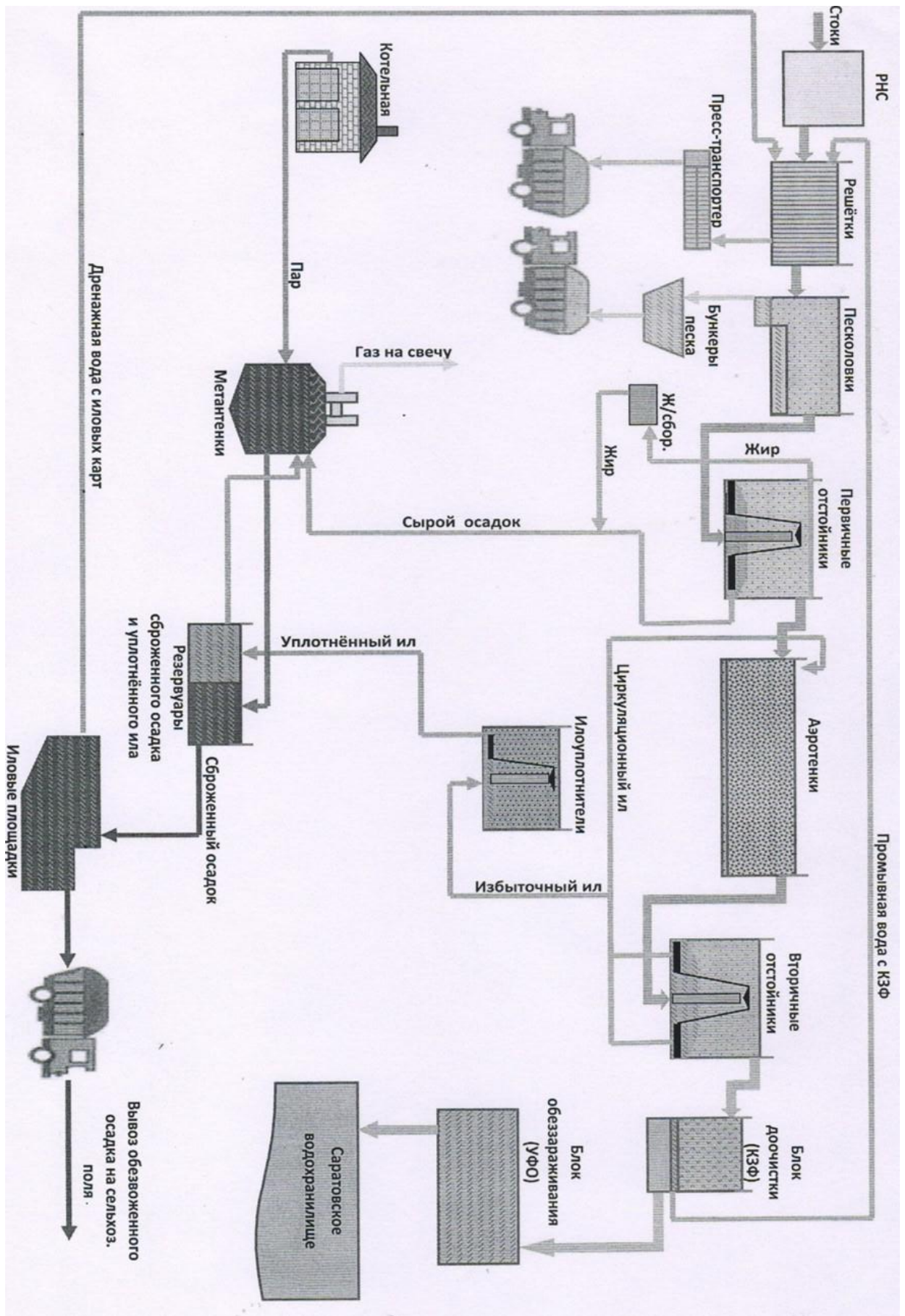


Рисунок 3 – Технологическая схема очистки сточных вод ООО «АВК» [51]

Остающиеся на данных механизированных преградах отбросы, с помощью механических граблей перемещаются в устройство, предназначенное для их транспортировки – шнековый транспортер. Здесь они проходят процесс обезвоживания шнековым пресс-транспортером и подаются в контейнер для дальнейшей утилизации. При хранении в ёмкости контейнера в жаркие сезоны, извлеченные из сточных вод отходы посыпаются хлорной известью. Отходы выгружаются из в самосвал и по графику вывозятся на захоронение.

Насосами РНС, по трём напорным коллекторам диаметром 1200 мм, сточные воды перекачиваются на биологические очистные сооружения. На подводящих каналах, где расположены горизонтальные песколовки первой очереди, установлены наклонные решётки типа МГ12-Т, установленные в количестве трёх штук, имеющие прозоры диаметром 16 мм. Остающиеся на данных механизированных преградах отбросы, с помощью механических граблей перемещаются в шнековый транспортер, после чего проходят процесс обезвоживания и подвергаются последующей утилизации.

К аэрируемым песколовкам подведены каналы, оборудованные решётками с прозорами (16 мм). Остающиеся на данных механизированных преградах отбросы, с помощью ручных граблей и перемещаются в закрытый контейнер. При хранении в ёмкости контейнера в тёплый сезон, извлеченные из сточных вод отходы также посыпаются хлорной известью. Все отходы механической очистки ежедневно выгружаются в самосвал и вывозятся на захоронение.

Далее, очищенные от крупных поверхностных объектов сточные воды, проходят песколовки, основная цель которых заключается в удалении тяжелых примесей минерального происхождения с размером частиц 0,09-0,5мм и более. Скорость перемещения воды при прямом горизонтальном прохождении песколовок варьирует от 0,15 до 0,3 м/с. Песок и другие минеральные загрязнения, оседающие в ходе прохождения песколовок на дне, сгребаются в приямок специализированным скребком, откуда

гидроэлеватором перемещаются в песковые бункера, где проходят дальнейшую промывку и подвергаются обезвоживанию.

По аэрируемым песколовкам сточные воды движутся со скоростью 0,08-0,12 м/с. Каждая аэрируемая песколовка имеет дырчатую трубу, которая расположена таким образом, чтобы подающийся через неё воздух инициировал потоковую циркуляцию по типу спирали. В результате этого коллоидные органические вещества отрываются от песчинок. Песок и другие минеральные загрязнения, оседающие на дне, смываются в приямок гидросмывом, откуда гидроэлеватором перемещаются в песковые бункера, где проходят дальнейшую промывку и подвергаются обезвоживанию. При корректной работе песколовок влажность осевшего песка равна 40-60%, его плотность равна 1,2-1,8 г/см³, зольность от 70 до 95%.

Очищенные путем прохождения песколовок сточные воды, попадают в радиальные первичные отстойники, установленные в количестве четырех штук, ёмкость которых равна 5000 м³. Здесь происходит задержка взвеси меньшего размера. Отстаивание заключается в том, что под влиянием силы гравитации нерастворённые грубодисперсные взвеси оседают на дно, а под влиянием силы архимеда всплывают. С помощью специализированного механического скребка полученный влажный осадок со дна отстойника перемещается к центральному приямку. Отсюда поршневым (плунжерным) насосом насосной станции №1 он перекачивается в метантенки для сбраживания.

При нормально протекающем отстаивании взвешенные вещества из сточных вод удаляются в объёме 45%, сырой осадок имеет влажность от 92 до 95%, средняя зольность равна 25%, а остаточная часть песка в осадке варьирует от 5 до 8%. Объём сырого осадка составляет 200-250 м³/сут.

Механические примеси и жиры, всплывшие на поверхность отстаиваемой воды, собираются полупогружной доской, подвешенной на ферме скребкового механизма, и переносятся в жиросборники. Из

жироборников при накоплении они перекачиваются плунжерным насосом в метантенки для сбраживания.

Полученные после механической очистки осветлённые сточные воды путём прохождения кругового водослива по окружности отстойника попадают в сборный контейнер, откуда подаются для биологической очистки.

2.2.2 Биологическая очистка сточных вод

«На второй стадии осуществляется очистка сточных вод биологическим путем. Сущность данного метода заключается в следующем. Путём интенсивной аэрации и введения активного ила происходит окисление и выделение взвешенных в осветленной после механической очистки сточной воде веществ, таких как суспензии, коллоидные и растворенные органические вещества и т.п.» [53–59].

В начале осветленные воды стоком направляются через смеситель в аэротенки-вытеснители по сборному каналу. Для поддержания удовлетворительных условий синтеза биомассы активного ила при дефиците в сточных водах азота и фосфора вводятся биогенные добавки, такие как аммиачная селитра и суперфосфат. Для смешения сточных вод с биогенными добавками используется смеситель двухкоридорный.

Осветлённая сточная вода и циркуляционный активный ил сосредоточенно подаются из сборного канала в первоначальные коридоры аэротенков-вытеснителей. В среднем объём циркуляционного активного ила равен 50% от такого в сточных водах для очистки.

Существующие аэротенки-вытеснители, установленные в количестве семи штук, представляют собой ёмкости с тремя коридорами прямоугольного сечения. Продольные направляющие перегородки, не примыкающие в плотную к одной торцевой стене, служат для отделения коридоров друг от друга. Всё дно аэротенков оборудовано равномерной мелкопузырчатой

системой пневматической аэрации. Поступление воздуха в неё осуществляется нагнетателями центробежного типа, с заявленной производительностью, равной 750 м³/мин.

К основной задаче в эксплуатации аэротенков относится культивирование микроорганизменного сообщества в активном иле, за счет чего обеспечивается окисление и изъятие имеющихся загрязнений органического типа. Показателем удовлетворительного протекания процессов очистки служит уровень развития микроорганизмов около 30 и более. Высокое качество очистки и удовлетворительную нитрификацию обеспечивает стабильное наличие таких микроорганизмов, как сосущие инфузории, хищные коловратки, черви рода *Chaetogaster* и периодическое присутствие тихоходок.

Диапазоны удельных нагрузок на активный ил по уровню органических загрязняющих веществ варьирует от 80 до 200 мг/г. В заключительных этапах очистки необходимо поддержание следующих условий: уровень растворённого кислорода должен быть не менее 3-4 мг/дм³, а концентрация активного ила от 2 до 3 г/дм³. Кроме того, должен обеспечиваться контакт загрязнённых сточных вод с активным илом в течение не менее 6 часов.

Полученные воды, представляющие собой смесь ила и осветлённых вод, самотёком попадают во вторичные радиальные отстойники, установленные в количестве шести штук, с ёмкостью по 5000м³. В процессе отстаивания происходит разделение активного ила и очищенной сточной воды, продолжительность данного процесса – не более двух с половиной часов. Вторичные отстойники считаются нормально функционирующими при следующих показателях: менее 10 мг/дм³ по взвешенным веществам в отстаивной воде; не менее 2 мг/дм³ растворённого кислорода. Влажность удаляемого из них ила варьирует от 99,4 до 99,7 %, высота слоя стояния ила от 0,5 до 1,0 м. Продолжительность нахождения ила в данных отстойниках не должна превышать по времени 30-40 минут.

Осевший на дне в процессе отстаивания активный ил, круглосуточно удаляется системами илососов и самотечным трубопроводом переносится в резервуар для ила на центральной насосной станции (далее ЦНС). Превалирующая доля ила насосами ЦНС возвращается в аэротенки. Такой ил носит название циркуляционного.

Под избыточным активным илом понимают непрерывно увеличивающуюся под влиянием деятельности микроорганизмов массу. Его отделяют от циркуляционного и направляют для дальнейшей переработки в иловые уплотнители, а в объёме от 20 до 25% от общего, имеющегося объёма - в первичные отстойники.

После вторичных отстойников очищенные сточные воды самотёком направляются на сооружения доочистки.

2.2.3 Доочистка сточных вод

На третьем этапе осуществляется доочистка сточных вод [60, 61]. С целью осуществления доочистки сточных вод используют скорые фильтры каркасно-засыпного высокой грязеемкости, установленные в количестве 16 штук. Данные устройства представляют собой железобетонные резервуары прямоугольной формы с двумя равными секциями. В качестве фильтрата используется раздробленный керамзит.

К фильтрующему слою загрузки фильтров каркасно-засыпного типа подаются очищенные во вторичных отстойниках сточные воды. Имеющиеся в сточных водах загрязнения в процессе фильтрации задерживаются на поверхностях зерна керамзита и в пространстве между зёрнами. Данный фильтрат собирается системой распределения, установленной внутри поддерживающего гравийного слоя, откуда самотёком поступает в резервуары доочищенных сточных вод насосной станции доочистки (далее НСД).

Скорость фильтрования составляет 7 м/ч, а цикл между периодами фильтрации равен 12 ч. По всем взвешенным веществам эффект доочистки составляет от 70 до 75 %, по полному биохимическому потреблению кислорода - 60-70 %.

Для восстановления фильтрующей способности загрузки производится водо-воздушное промывание, осуществляемое восходящими потоками фильтрованных вод. Её подача осуществляется с помощью насосов НСД из резервуаров с доочищенными сточными водами. Образующиеся в результате этого загрязнённые воды перекачиваются в специальный резервуар, откуда насосами передаются на сооружения механической очистки.

Такой процесс, как биологическое обрастание фильтров, крайне нежелателен в ходе их эксплуатации. Для его предотвращения еженедельно поступающие на фильтры каркасно-засыпного типа сточные воды, хлорируются дозой 2 мг/л и два или три раза в год обрабатываются хлорной водой, где содержание хлора доходит до 150 мг/л (согласно СНиП 2.04.03.-85). Продолжительность контакта при этом составляет 24 часа.

Воды после этапа доочистки насосами высокого напора НСД передаются в станцию для последующего ультрафиолетового излучения (далее УФО), откуда поступают в реку Волга. Низконапорными насосами НСД через станцию УФО, доочищенные сточные воды подаются на всасы насосов ЦНС.

2.2.4 Обеззараживание сточных вод

Для обеззараживания очищенных сточных вод, на биологических очистных сооружениях (далее БОС) применяется УФО. Станция УФО включает в себя 14 установок УДВ-1000/432, девять из которых низконапорные с рабочим давлением 0,06 Мпа и пять высоконапорных с рабочим давлением 0,8 МПа. На каждой установке имеется камера для

облучения, с расположенными в ней бактерицидными лампами, помещёнными в кварцевые чехлы, в количестве 432 штук.

Очищенные сточные воды по двум трубопроводам от НСД попадают в станцию для обеззараживания ультрафиолетом. К низконапорным установкам они подаются по трубопроводу, составляющему в диаметре 1400 мм, а к высоконапорным установкам – 1200 мм.

Обеззараживание очищенных сточных вод осуществляется при их попадании в камеру облучения, под воздействием УФ-излучения, где воды обтекают чехлы из кварца и расположенные в них лампы. Суть бактерицидного действия УФО основана на преимущественном повреждении в структурах РНК и ДНК микробных клеток.

Отведение обеззараженной воды осуществляется тремя трубопроводами, диаметр которых составляет 1200мм: от установок высоконапорного типа по третьему коллектору отведения в напорный коллектор ЦНС или в реку Волга; от установок низконапорного типа на всасы насосов ЦНС, откуда насосами отводным в разные стороны коллекторам в реку Волга.

Предусмотрена также дезинфекция сточных вод в ершовом смесителе хлорной водой при аварийном отключении. Ершовый смеситель представляет собой лоток с четырьмя вертикальными перегородками, поставленными под углом 45° против течения воды. Смешение сточных вод с хлорной водой осуществляется благодаря вихреобразным движениям, которое обеспечивается благодаря наличию суживающих сечение перегородок.

Предусмотренная для изготовления хлорной воды хлораторная установка имеет производительность 100 кг/час. Она совмещена со складом для хранения хлора, при общей вместимости 15 тонн. Для доставки жидкого (сжиженного) хлора используются металлические контейнеры. При ёмкости 800 л в них вмещается примерно 1000 кг жидкого хлора. Из-за плохой

растворимости в воде, перед использованием жидкий хлор превращают в газ путём испарения.

Процесс испарения хлора осуществляется под воздействием окружающего тепла в специальных контейнерах. По хлоропроводу газообразный хлор подаётся в баллон-грязевик с целью освобождения от механических примесей и капель хлора. Специальным устройством – эжектором – засасывающийся хлор перемешивается с производственными водами и подаётся в ершовой смеситель с очищенными сточными водами. Полученная водная смесь подаётся из смесителя в резервуары ЦНС, для последующей перекачки насосами в реку Волга.

2.2.5 Обработка осадка сточных вод

К методам обработки осадков, применяемым на сооружениях БОС, относятся уплотнение (сгущение), анаэробная стабилизация (предотвращение загнивания осадков) [62, 63], термическое обеззараживание и обезвоживание.

Вид осадков определяет способ используемой обработки. Осадки по своему происхождению классифицируются на следующие группы:

1. Задержанный в песколовках песок и аналогичные ему минеральные загрязнения;
2. Оставшийся в первичных отстойниках сырой осадок;
3. Полученный во вторичных отстойниках избыточный активный ил;
4. Образующийся в метантенках сброженный осадок;
5. Получаемый на иловых площадках обезвоженный осадок.

Песковые бункера служат для обработки песка и аналогичных ему минеральных загрязнений. В них происходит промывка осадка от органических примесей и его последующее обезвоживание.

Песковые бункера в количестве четырех штук представляют собой объёмные конструкции, содержащие следующие структурные компоненты: трубопроводы для подачи пескопульпы и последующего слива воды;

трубопроводы водоподачи для промывки, служащие как для отвода прошедшей дренаж воды в канализации, так и щитовым затвором, необходимым для выгрузки промываемого и обезвоживаемого песка к автотранспорту. Бункер работает по принципу гидроциклона: под давлением в него поступает пескопульпа, в результате чего обеспечивается большая скорость вращения частиц поступившей пульпы. Весомые частицы крупного размера и под воздействием центробежных сил концентрируются вдоль стенок бункера, откуда перемещаются в форме сгущенного песка вниз, тогда как преобладающая доля воды, содержащая мелкие и легкие частицы, выносятся назад в песколовки через сливное отверстие бункера. Полученный сгущенный песок промывается производственной водой, а образующиеся после обезвоживания её остатки стекают в канализацию. Весь образующийся песок ежедневно выгружается из бункеров и увозится автотранспортом для последующего захоронения.

Для обработки избыточного активного ила и образуемого сырого осадка используют метод анаэробной стабилизации, осуществляемый в термофильном режиме в метантенках. Полученный в первичных отстойниках осадок имеет зарегистрированную влажность от 93 до 95%. Полученный во вторичных отстойниках избыточный активный ил имеет зарегистрированную влажность от 99,4 до 99,7%. Поскольку при влажности осадка более 97% нарушаются процессы анаэробного сбраживания, полученный во вторичных отстойниках избыточный активный ил отправляется в гравитационный радиальный уплотнитель, где осуществляется его уплотнение до минимальной допустимой влажности 97%.

В качестве илоуплотнителей применяются типовые радиальные отстойники, установленные в количестве двух штук, диаметром 20 м, ёмкостью 880 м³. Осадок подаётся в резервуар округлого типа, который оснащён вращающимся с медленной скоростью скребковым механизмом, разрушающим связи между частицами в осадке, увеличивая при этом уплотнение ила и его осаждаемость. Данный процесс занимает от 9 до 12

часов. Образующаяся осветлённая вода подаётся в аэротенки, а полученный уплотнённый ил попадает в соответствующий резервуар насосной станции №2, откуда перекачивается центробежным насосом для дальнейшего сбраживания непосредственно в метантенки.

Процесса брожения метана осуществляется за счет способности сложных комплексов микроорганизмов в анаэробных условиях окислять органическое вещество осадка. В ходе данного процесса наблюдается распад органических веществ с образованием воды, биогаза из основы метана и углекислого газа, биологически стабилизированных осадков. При температуре от 52 до 55°C при термофильном режиме сбраживания обеспечивается полная гибель патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Метантенки в количестве двух штук являются цилиндрическими резервуарами, состоящими из монолитного железобетона. Днище имеет конусную форму, купол жесткий, сферической формы, на вершине которого расположен газосборный колпак. Размещённая между метантенками четырёхуровневая камера управления имеет загрузочные и выгрузочные бункера, насосы, трубопроводы и паровые инжекторы. Для утепления боковой поверхности цилиндра она обсыпана грунтом почти доверху. С помощью насыщенного пара из котельной ОСК инжектором осуществляется подогрев осадка. Через загрузочный бункер в верхнюю часть метантенков насосами подаются уплотнённый ил и сырой осадок. Из нижних частей резервуаров сброженный осадок опускается через выгрузочные бункеры в объёме, равном объёму загружаемого осадка, далее отправляется в резервуары для сброженного осадка насосной станции №2, откуда перекачивается насосом на иловые площадки. В ходе данного процесса выделяется биогаз, который отводится для последующего сжигания "на свечу". Объём одного метантенка варен 2500 м³, диаметр одного метатенка – 17,5м.

Удовлетворительное протекание метанового брожения обеспечивают следующие показатели: реакция среды должна быть слабощелочная, $\text{pH} \leq 7,6$; содержание жирных кислот низкое, от 5 до 10 мг·экв/л; щелочность иловой воды высокая, от 65 до 90 мг·экв/л. Аммонийный азот в иловой воде должен достигать от 500 до 800 мг/л.

С целью дальнейшего использования полученного осадка в сельском хозяйстве в качестве азотно-фосфорного удобрения, производится его обезвоживание. Для обезвоживания и подсушки сброженного осадка применяются иловые площадки каскадного типа, спроектированные на искусственном (железобетонном) основании с дренажом и поверхностным отводом воды через колодцы-водосливы. Иловые площадки, установленные в количестве 21 штуки, общей полезной площадью 130000м², спроектированы в виде четырёх самостоятельно работающих каскадов. Каждый каскад состоит из четырех-девяти ступенчато расположенных карт.

Подача сброженного осадка на вышележащую (верхнюю) карту производится ежедневно: осадок, разливаясь по карте, отстаивается, осветленная жидкость через специальные лотки-перепуски сливается на следующие карты, где оседают мелкие взвешенные вещества, а иловая жидкость подвергается дальнейшему осветлению. Осветленная иловая вода системой дренажных трубопроводов отводится с нижней карты каскада в резервуар насосной станции №3, откуда насосами перекачивается в голову сооружений. Верхняя карта, по окончании её заполнения осадком, отключается для обезвоживания и подсушки. При этом отвод воды с карты происходит одновременно через водослив и дренирующий слой в основании площадки. подача сброженного осадка продолжается на нижележащую карту. Осадок с верхней карты илового каскада, подсушенный до влажности 90-92%, после согласования с органами Госсанэпиднадзора, вывозится на сельскохозяйственных полях в качестве удобрения.

2.3 Оценка эффективности очистки сточных вод от фосфатов на очистных сооружениях ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»

При удовлетворительной эксплуатации очистных сооружений, основные показатели поступающих на обеззараживание сточных вод не превышают значений, приведённых в таблице 1.

На очистных сооружениях ООО «АВК» непосредственно фосфаты из сточных вод удаляются вместе с активным илом, проходя через аэротенки на этапе биологической очистки. Уровень содержания фосфатов в поступающих загрязнённых сточных водах до прохождения через БОС ООО «АВК» и в очищенной воде на выходе приведен в таблице 2 и на рисунке 4. Как видно из таблицы 2, минимальные значения фосфора на входе в сточных водах варьируют от 1,58 до 2,28 мг/дм³ и в среднем составляют 2,04 мг/дм³, максимальные значения – от 2,97 до 3,52, мг/дм³ в среднем 3,20 мг/дм³.

Таблица 1 – Показатели эффективности обеззараживания

Показатели	Метод обеззараживания
	УФО
Взвешенные вещества мг/л	10
ХПК (мгО ₂ /л)	50
БПК ₅ (мгО ₂ /л)	10

Средняя концентрация на входе изменяется в пределах от 2,37 до 2,73 мг/дм³ и в среднем равна 2,57 мг/дм³. В воде, прошедшей биологическую очистку, минимальные значения фосфора на выходе варьируют от 1,80 до 2,14 мг/дм³ и в среднем составляют 1,93 мг/дм³, максимальные значения – от 2,20 до 3,07 мг/дм³ в среднем 2,59 мг/дм³. Для расчётов эффективности очистки сточных вод от фосфатов по средним показателям на БОС ООО «АВК» использованы данные за 12 отчётных периодов, каждый из которых формируется в течение квартала. Процент удаленного фосфора варьирует от 8,27 до 19,69%, и в среднем составляет 13,62%.

Таблица 2 – Концентрация фосфатов на входе и на выходе

Отчётный период	Концентрация фосфатов (по Р), мг/дм ³			ПДС
	Вход, <i>min-max</i> , <i>m</i>	Выход, <i>min-max</i> , <i>m</i>	Эффективность очистки по средней, %	
1 кв. 2015 г.	2,27-3,15 2,73	2,00-3,07 2,5042	8,27	1,96
2 кв. 2015 г.	2,15-3,22 2,69	2,14-2,91 2,3919	10,97	
3 кв. 2015 г.	2,21-3,01 2,54	1,83-2,57 2,1993	13,41	
4 кв. 2015 г.	1,88-3,22 2,46	1,80-2,20 2,0536	16,52	
1 кв. 2016 г.	1,95-3,52 2,37	1,89-2,72 2,0738	12,50	
2 кв. 2016 г.	2,14-2,97 2,63	2,07-2,80 2,2455	14,62	
3 кв. 2016 г.	2,12-2,80 2,52	1,98-2,41 2,1766	13,63	
4 кв. 2016 г.	2,17-3,40 2,63	2,11-2,71 2,2567	14,19	
1 кв. 2017 г.	1,95-3,50 2,69	1,68-2,40 2,1688	19,38	2,27
2 кв. 2017 г.	2,06-3,10 2,51	1,99-2,50 2,2773	9,27	
3 кв. 2017 г.	2,03-3,0 2,43	1,86-2,50 2,162	11,03	
4 кв. 2017 г.	1,58-3,50 2,67	1,82-2,29 2,1442	19,69	

Как наглядно демонстрируют диаграммы на рисунке 5, фактическое среднее содержание фосфатов в сточных водах, прошедших через очистные сооружения ООО «АВК», до конца 2016 года превышает значения ПДС на 0,09–0,54 (в среднем 0,28) мг/дм³. С начала 2017 года в трёх случаях кроме одного, незначительного превышения, фактическое среднее содержание фосфатов в очищенных сточных водах стало меньше ПДС. К сожалению, данный факт связан с изменением норм ПДС с 1,96 до 2,27 мг/дм³, а не с повышением эффективности очистки сточных вод. Разрешение на выброс

большого количества фосфатов в природные воды не решает проблему загрязнения окружающей среды, а только усугубляет её, снижая мотивацию организаций совершенствовать системы очистки воды. Невысокие показатели уровня требуют принятия мер по повышению их эффективности.

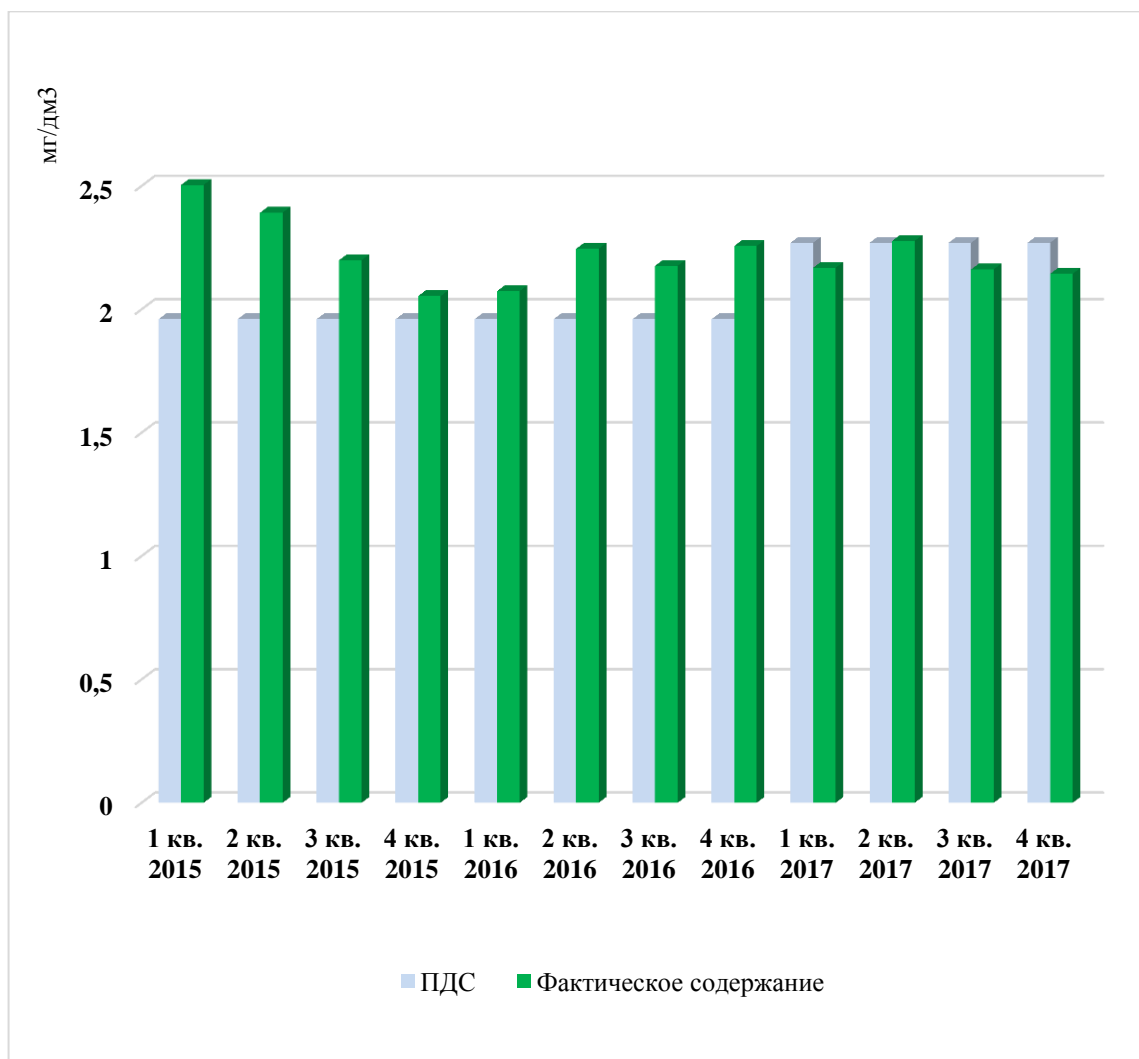


Рисунок 4 – Концентрация фосфатов в сточных водах, прошедших через очистные сооружения ООО «АВК»

3 Разработка рекомендаций по совершенствованию очистки сточных вод от фосфорсодержащих загрязнений на очистных сооружениях ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»

Согласно Регламенту по эксплуатации оборудования и сооружений цеха очистных сооружений канализации ООО «АВК», технологически удаление фосфатов из сточных вод осуществляется на этапе биологической очистки, когда фосфор осаждается вместе с образующимся активным илом и иловой водой. Оценка эффективности используемого подхода показала, что содержание фосфора на выходе остаётся высоким, а удалению подвергается от 8,27 до 19,69% (в среднем 13,62%) от изначального содержания фосфатов. Также в очищенных водах неоднократно отмечалось превышение ПДС по фосфору. Таким образом, необходимо рассмотреть возможные пути по совершенствованию применяющихся технологий очистки городских сточных вод от фосфатов на очистных сооружениях ООО «АВК» и выработать рекомендации по повышению эффективности дефосфатизации.

3.1 Технологические решения повышения эффективности дефосфатизации

Используемый на изучаемом предприятии биологический метод удаления фосфатов из сточных вод имеет ряд преимуществ и широко распространен на современном этапе. По сравнению с химическим и физико-химическим методами, он не требует высоких затрат на приобретение реагентов и не приводит к образованию вторичных загрязнений, образующихся при вводе данных веществ. Кроме того, согласно литературным данным, технология изъятия фосфора из

сточных вод методом анаэробной обработки возвратного рециркулирующего активного ила позволяет извлекать фосфаты с эффективностью от 70 до 90% [21]. Следовательно, одним из простых и эффективных технологических решений по повышению показателей дефосфатизации является анализ применяемой ООО «АВК» технологии биологической очистки и выявление недочётов в ней с помощью сравнения с подходами, применяемыми на других предприятиях.

Так, важным аспектом, влияющим на эффективность удаления фосфатов из сточных вод на этапе биологической очистки, является управление и инженерный контроль развития и сохранения полезного биоценоза. Поддержание надлежащих условий по существованию каждой группы бактерий, осуществляющих удаление азота и фосфора, является неотъемлемой частью такого контроля. Успешное проведение дефосфатирования путем вытеснения в анаэробных и последующего поглощения фосфатов в аэробных условиях возможно в условиях жесткого анаэробноза при полном отсутствии растворенного кислорода, минимальном присутствии нитритов и нитратов в поступающих потоках сточных вод и в циркулирующем активном иле, достаточном количестве биологически усваиваемых органических веществ [41].

«Ещё одним из возможных технологических решений для повышения эффективности дефосфатизации является совмещение биологического процесса и химического осаждения. Совершенствование подобных технологических схем по глубокому

удалению соединений фосфора в настоящее время продолжается. Основными направлениями выполняемых работ являются: изыскание способов повышения эффективности применения реагентов; испытание новых и более дешевых реагентов, в том числе отходов промышленности; определение влияния введения реагента на биологические процессы очистки сточных вод» [65, 66].

Существует множество готовых схем для биологической очистки сточных вод: технологическая схема Кейптаунского университета (УСТ-процесс), Йоханесбургского университета (JNB-процесс), «Креал», гибкая адаптивная схема расположения блоков под названием «*Uni*» и т.п. [41, 46, 67–75]. Каждая из данных схем обладает своими плюсами и минусами, но внедрение цельной технологической последовательности в схему уже функционирующих очистных сооружений, как в случае с ООО «АВК», требует больших финансовых и энерго затрат и должно быть экономически оправдано. В связи с этим предлагается рассмотреть реальный опыт по модернизации очистных сооружений ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

3.1.1 Опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»

В городе Санкт-Петербург проживает более пяти миллионов человек. 98,6% от всех образующихся городских стоков подвергаются очистке, составляя объём около 2,2 млн. м³/сутки.

Услуги по водоснабжению жителей и канализированию организаций города предоставляются Государственным унитарным предприятием «Водоканал Санкт-Петербурга». Поскольку город Санкт-Петербург входит в состав стран Балтийского региона, первоочередная задача его водоочистительных предприятий – недопущение загрязнения акватории

Балтийского моря и борьба с эвтрофикацией. Последняя приводит к ухудшению качества воды, выражается в её цветении воды и вызывается избыточным поступлением таких биогенных веществ, как азот и фосфор.

Одной из целей ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» является поддержка инициатив Хельсинской комиссии (далее ХЕЛКОМ) по реализации экологической политики региона. Так, по рекомендациям ХЕЛКОМ содержание общего фосфора в очищенных стоках должно составлять не более 0,5 мг/л. С этой целью на очистных сооружениях данного предприятия были проведены следующие мероприятия:

- прекращение сброса неочищенных сточных вод;
- внедрение химического подхода к удалению фосфора фосфатов;
- установка технологий глубокого удаления биогенов и модернизация сооружений биологической очистки.

Устранение сброса недостаточно очищенных сточных вод стало возможным, благодаря переключению малых канализационных очистных сооружений на одно из трёх крупнейших в городе сооружений очистки – Северную станцию аэрации. Данный подход можно классифицировать как «централизация». Он применяется в случаях, когда небольшие предприятия не справляются с требованиями по очистке поступающих загрязнённых вод, а крупные обладают необходимыми технологиями и способны выдержать увеличение объёмов очистки без потери эффективности.

Химический подход к удалению фосфатов отображен на рисунке 5 заключается в установке на очистных сооружениях стационарной системы дозирования химического реагента (сульфата железа или сульфата алюминия), который подаётся в сточные воды, прежде чем они поступают в первичные отстойники. Данный подход с использованием этого коагулянта широко используется в США, Канаде и большинстве европейских стран. Например, в Финляндии такая технология по реагентному удалению соединений фосфора применяется с 80-х годов 20 века. Благодаря тому, что

дозировка определяется автоматическим образом, это позволяет при оптимальных расходах реагента достигать наилучшего эффекта по удалению фосфатов.

Основной принцип работы названной системы заключается в том, что при обработке стоков любым из перечисленных реагентов происходит химическая реакция, в результате которой фосфаты образуют с алюминием или железом нерастворимое соединение, которое в дальнейшем можно вывести из системы вместе с осадком. Схема образования изображена на рисунке 6. В дополнение к биологическому методу, химический метод способствует более глубокому удалению биогенов и даёт стабильные результаты по содержанию фосфора в очищенной воде в соответствии с нормативными требованиями соответствующей документации.

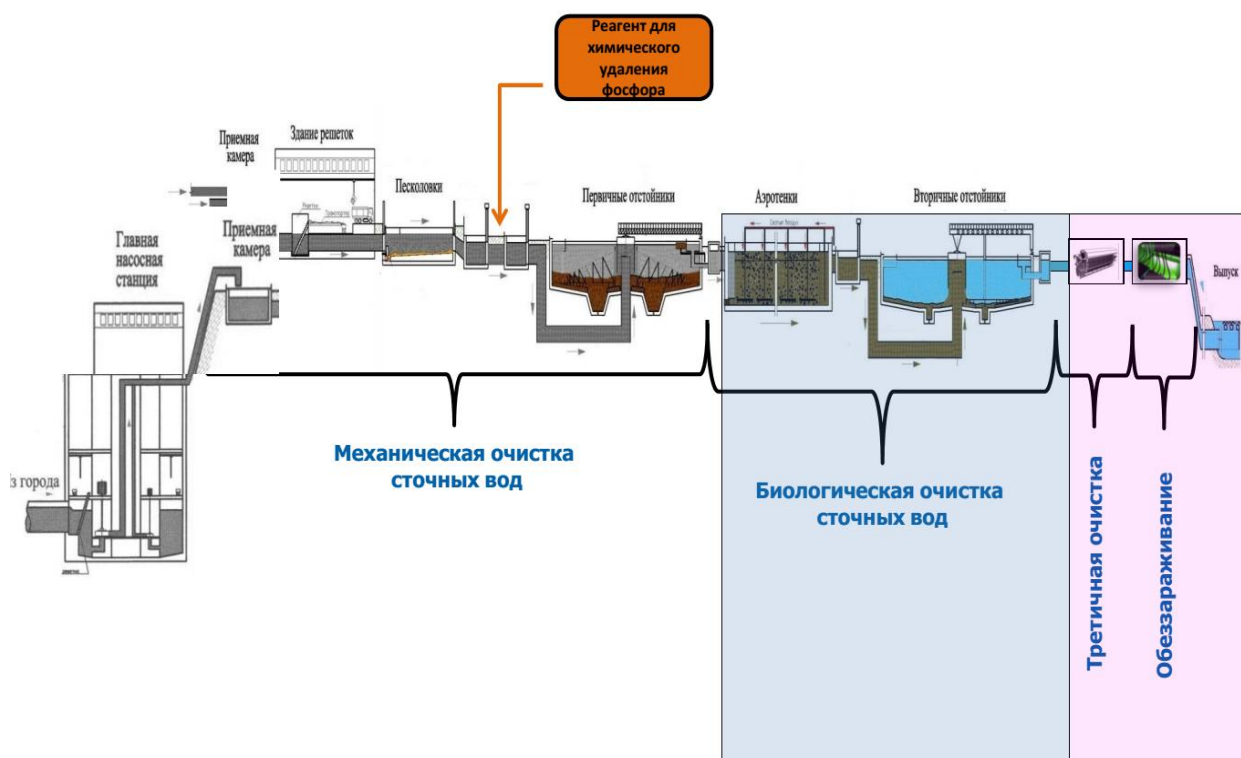


Рисунок 5 – Технологическая схема очистки хозяйственно-бытовых сточных вод на очистных сооружениях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»

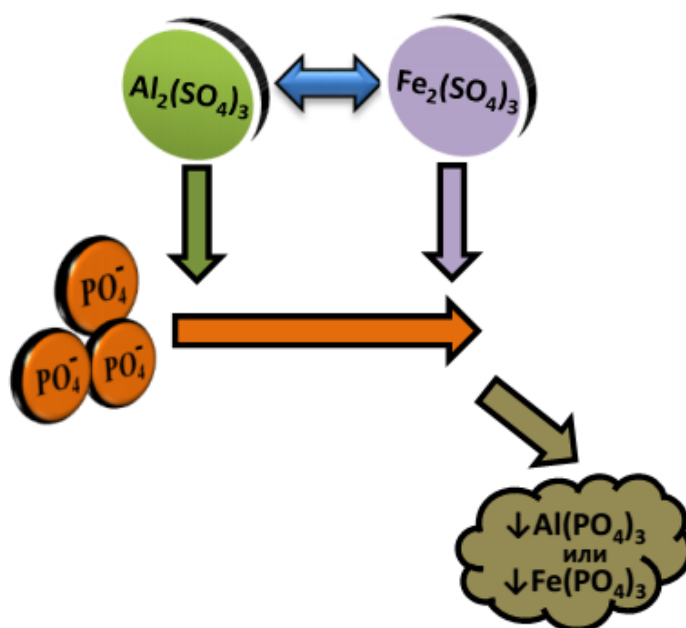


Рисунок 6 – Схема образования нерастворимого соединения при взаимодействии фосфора с вводимыми реагентами

Целью модернизации системы очистки было достижение установленных нормативов по удалению биогенов, согласно рекомендациям ХЕЛКОМ и оптимизация работы системы в целом. Модернизация сооружений биологической очистки включала строительство Главного тоннельного канализационного коллектора, а также апробацию таких современных технологий очистки сточных вод, как «Креал», технологическая схема Кейптаунского университета (УСТ-процесс) Йоханесбургского университета (JNB-процесс).

В результате всех модернизации на очистных сооружениях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» удалось значительно снизить содержание биогенных веществ в очищенных сточных водах, что наглядно отражено на рисунке 7.



Рисунок 7 – Результаты модернизации очистных сооружений ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»

3.2 Модернизация работы очистных сооружений ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ»

После прохождения очистных сооружений ООО «АВК» сброс полученных сточных вод осуществляется в Саратовское водохранилище, которое является одним из крупнейших водоёмов искусственного происхождения на реке Волга. Река Волга – одна из крупнейших рек на Земле и самая большая по водности и длине в Европе, а также крупнейшая в мире река, впадающая в бессточный водоём. Длина реки составляет 3530 км, а площадь её водосборного бассейна — 1360 тыс. км². Загрязнение её акватории плохо очищенными сточными водами, в которых наблюдается превышение ПДС, можно приравнять к экологическому преступлению. Необходимость защиты реки Волга от недоочищенных городских вод должна

быть регламентирована в нормативной документации по экологической политике всех регионов Волжского бассейна и не вызывает сомнения.

Предлагается внести изменения в технологическую схему ООО «АВК», а именно провести реконструкцию аэротенков, как на рисунке 8. К основной задаче в эксплуатации аэротенков относится культивирование микроорганизменного сообщества в активном иле, за счет чего обеспечивается окисление и изъятие имеющихся загрязнений биогенного типа, таких как фосфор. В настоящее время аэротенк работает только в аэробном режиме, что схематично отражено на рисунке 9. В него подаётся смесь осветлённых после механической очистки сточных вод, ила и биогенных добавок. С помощью системы пневматической аэрации, расположенной по всему дну аэротенка, происходит насыщение вод растворенным кислородом. Далее смесь воды и ила поступает во вторичные отстойники, где под действием силы тяжести происходит осаждение ила, после чего он удаляется в илоуплотнители. воды и ила в ней.

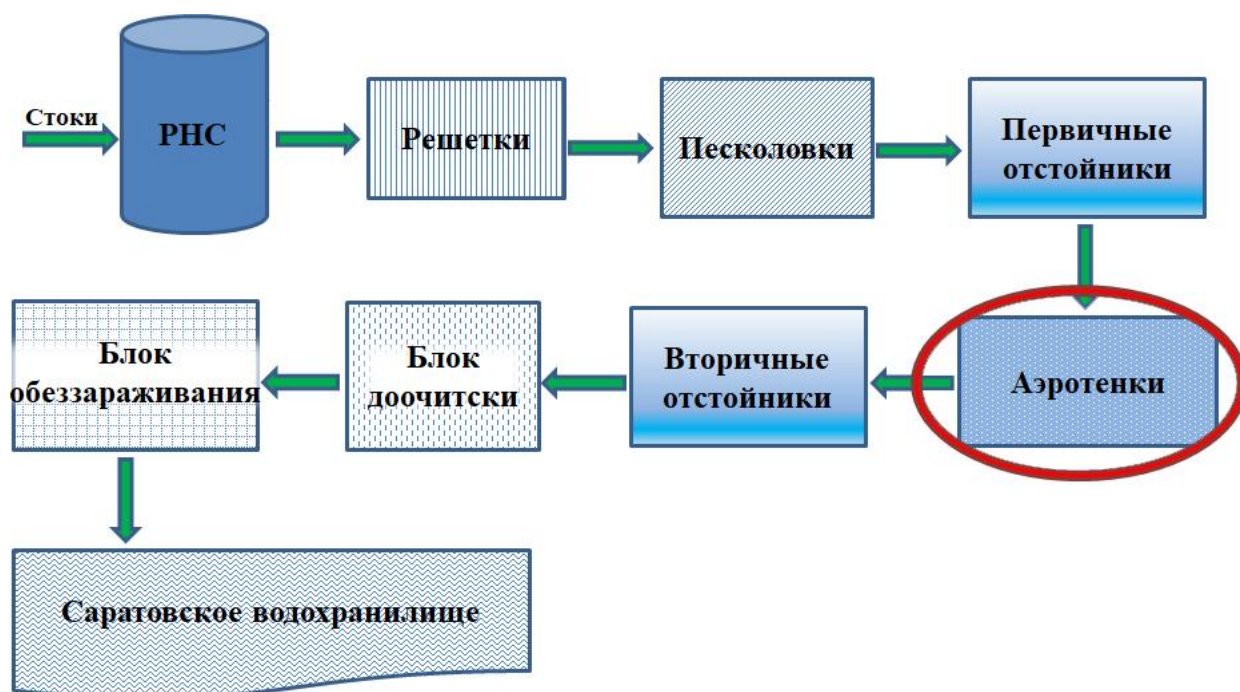
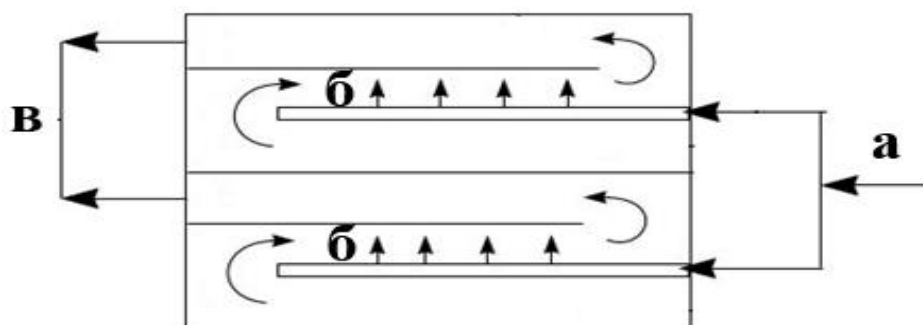


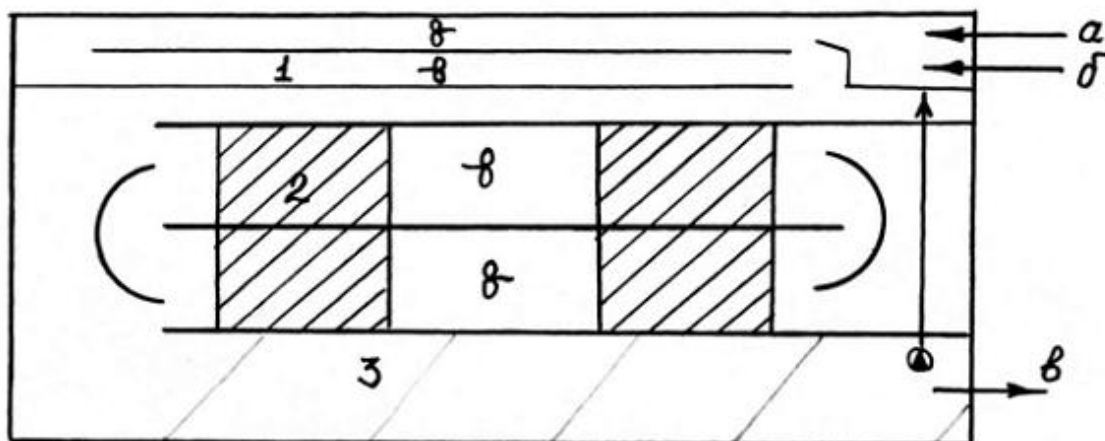
Рисунок 8 – Технологическая схема очистки сточных вод ООО «АВК». Красным выделена зона, требующая конструктивных изменений

Причиной недостаточно эффективного удаления фосфора на биологическом этапе очистки (в среднем 14%) является отсутствие анаэробной зоны в аэротенках ООО «АВК», поскольку микроорганизмы полифосфатной группы активно разрастаются именно в бескислородных условиях. При поочередном использовании аэробной и анаэробной обработок воды и ила, микроорганизмы накапливают избыточное количество фосфора в клетках, и доля удалённых фосфозагрязнений может достигать 70–90% [21]. При этом ил необходимо выводить в момент наибольшего поглощения фосфора, а именно в конце аэробной зоны. Таким образом, рекомендуется разделить существующие аэротенки на две части – бескислородную и кислородную зоны (рисунок 11).



1- зона постоянной аэрации; а - осветленная сточная вода с возвратным илом;
б – система аэрации; в – иловая смесь на вторичные отстойники

Рисунок 9 – Действующая схема аэротенка



1 – зона без аэрации; 2 – зона переменной аэрации; 3 – зона постоянной аэрации; а – осветленная сточная вода; б – возвратный ил; в – иловая смесь на вторичные отстойники

Рисунок 10 – Предлагаемая схема аэротенка (разработка – Дания, применение – МГП «Мосводоканал»)

Перейдём к возможному использованию реагентов для повышения эффективности очистки сточных вод от фосфора на очистных сооружениях ООО «АВК». Совмещение процессов биологической очистки и химического осаждения дополняют друг друга и позволяют добиваться лучших результатов, чем применение одного из них. При реагентной обработке происходят различные физикохимические процессы, среди которых наибольшее значение имеют коагуляционные, сорбционные и осадительные [21]. Дело в том, что при очистке сточных вод легко удаляемыми являются именно крупные частицы, тогда как с мелкодисперсными всё обстоит сложнее. Такие системы достаточно устойчивы и в этих случаях применяют методы коагуляции, нарушающие агрегативную устойчивость сточных вод, в результате чего происходит слипание мелкодисперсных частиц в результате их столкновения при тепловом движении или перемешивании.

В качестве коагулянтов как правило используются различные соли металлов. Самыми распространёнными видами реагентов, с которыми фосфор образует нерастворимые соединения и выпадает в осадок, являются сульфат трёхвалентного железа и сульфат алюминия. Следует отметить, что часть коагулянта может расходоваться на осаждение других загрязнений, поэтому для получения точных цифр необходимы экспериментальные исследования непосредственно на предприятии.

Для предварительных расчетов дозы реагентов использованы данные о концентрации фосфатов на входе в очистные сооружения за период с 2015 по 2017 года и учтено стехиометрическое соотношение фосфора к сульфату алюминия и сульфату железа. В таблице 3 приведено предполагаемое количество реагента для удаления 60% фосфатов. Как видно из таблицы 3, сульфата алюминия требуется меньше, чем солей железа.

Удаление фосфора из сточных вод осуществляется на этапе биологической очистки на ООО «АВК», при его изъятии вместе с образующимся илом и иловой водой. Поскольку эффективность данного подхода на изучаемом предприятии составляет от 8,27 до 19,69%, в среднем 13,62%, а по литературным данным может достигать 70-90% [21], то именно на этом этапе необходимо ввести инженерный контроль за циклами илообразования и выявить корреляцию между уровнем удаленного фосфора и условиями, устанавливающимися в аэротенках после введения активного ила, интенсивной аэрации, а также добавления аммиачной селитры и суперфосфата.

Обратимся еще раз к теории. Несмотря на то, что работа посвящена теме удаления фосфора из сточных вод, нельзя не сказать про азот, ведь удаление одного элемента и другого элемента тесно взаимосвязаны. Глубокое удаление из сточных вод азота, осуществляемое для снижения нагрузок на ил, сказывается также на приросте этого ила и приводит к снижению содержания фосфора в клетках. Следовательно, верно и обратное – при повышении нагрузки на ил удаление фосфора интенсифицируется. То есть при выборе режима работы аэротенков следует уделить внимание приоритетному виду удаляемого загрязнения, в рассматриваемом нами варианте – фосфору.

Таблица 3 – Примерные дозы реагента для удаления 60% фосфора, мг/дм

Концентрация фосфатов на входе	Предполагаемое количество реагента		Ожидаемая концентрация фосфатов на выходе
	Сульфат железа	Сульфат алюминия	
2,73	5,73	3,28	1,64
2,69	5,65	3,23	1,61
2,54	5,33	3,05	1,52
2,46	5,17	2,95	1,48
2,37	4,98	2,84	1,42
2,63	5,52	3,16	1,58
2,52	5,29	3,02	1,51
2,63	5,52	3,16	1,58
2,69	5,65	3,23	1,61
2,51	5,27	3,01	1,51
2,43	5,10	2,92	1,46
2,67	5,61	3,20	1,60

Согласно отчётам цеха очистных сооружений канализации ООО«АВК» за каждый квартал с 2015 по 2017 гг., содержание нитрита и нитрат-иона на входе значительно меньше, чем его содержание на выходе, и почти всегда превышает ПДС. Очевидно, что это повышение связано с добавлением аммиачной селитры, что способствует синтезу биомассы активного ила, но приводит к увеличению содержания азота на выпуске. Согласно литературной информации, увеличение уровня нитратов может быть обусловлено

тем, что при ночной рециркуляции возвратного ила, в случае малого расхода сточных вод и их низкой концентрации на определённых участках цепи может наблюдаться накопление азота.

Далее следует обратить внимание на температуру воды на этапе биологической очистки. Дело в том, что в условиях пониженной температуры наблюдается высокая растворимость кислорода, он сложно удаляется из воды и при отстаивании ингибирует процессы дефосфатизации. Как мы помним из регламента ООО «АВК», по всему дну аэротентов расположены отверстия, обеспечивающие пневматическую мелкопузырчатую аэрацию, где подача воздуха осуществляется за счёт центробежных нагнетателей. Кислород необходим для успешного роста ила, но в дальнейшем при отстаивании во вторичных отстойниках радиального типа необходимы анаэробные условия для формирования фосфораккумулялирующих организмов и успешного выделения фосфатов. Зависимость выделения фосфора фосфатов от температуры по опыту ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» изображена на рисунке 11.

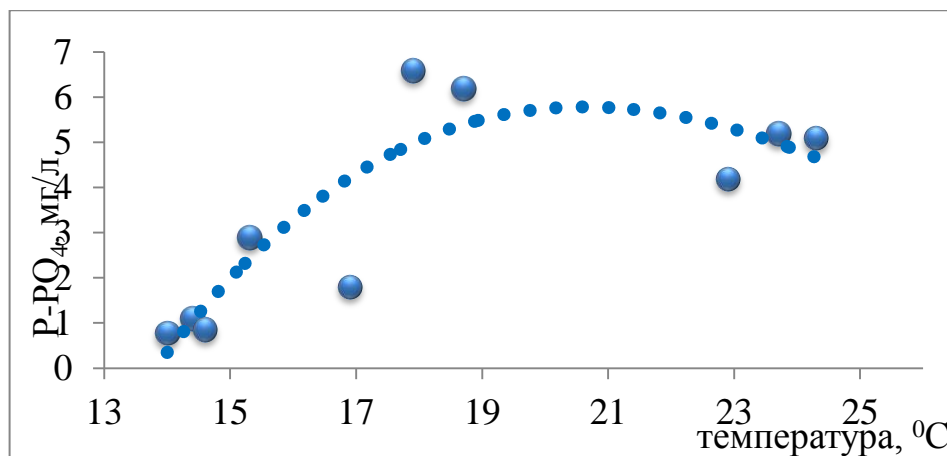


Рисунок 11 – Зависимость выделения фосфора фосфатов от температуры сточной воды (опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»)

Как видно из рисунка 11, наивысшая эффективность удаления фосфора из сточных вод наблюдается при температуре 17,9–18,7⁰С, и падает при ее меньших и больших значениях. Таким образом, на ООО «АВК» необходимо ввести обязательный контроль за этим параметром, так как он влияет на долю содержания фосфора при сбросе в реку Волга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение спектра технологических решений по повышению эффективности очистки сточных вод от фосфатов показало, что существует множество работающих схем, применение которых способно повысить показатели уровня дефосфотизации на очистных сооружениях «ООО АВК». Из них отобраны реальные варианты, подходящие для изучаемого предприятия. Полная реконструкция очистных сооружений не рассматривалась, поскольку требует капитальных материальных и энергетических затрат и может привести к экономическим издержкам на этапе внедрения.

1. Изучен отечественный и зарубежный опыт по очистке сточных вод от фосфатов на основании литературных данных. Выявлены теоретические основы, применение которых способно повысить показатели уровня очистки городских сточных вод от фосфатов.

2. Из содержащихся в сточных водах загрязнений именно фосфор представляет наибольшую опасность для природных водоемов, вызывая антропогенную эвтрофикацию водоёмов, что приводит к ухудшению качества воды.

3. Анализ технологической схемы очистки сточных вод на очистных сооружениях ООО «АВК» показал, что удаление фосфора фосфатов осуществляется на биологическом этапе очистки в составе образующегося ила, после его осаждения в отстойниках.

4. Разработаны рекомендации по улучшению качества очистки городских сточных вод от фосфатов на изучаемом предприятии. Отобраны реальные варианты, подходящие для изучаемого предприятия. Полная реконструкция очистных сооружений не рассматривается, поскольку требует капитальных материальных и энергетических затрат и может привести к экономическим издержкам на этапе внедрения.

5. Одной из причин недостаточной очистки сточных вод от фосфатов является отсутствие анаэробной зоны в аэротенках. Совершенствование технологической схемы включает в себя разделение аэротенков на две части – бескислородную и кислородную зоны.

6. Показано добавление на биологическом этапе метода химического осаждения с использованием проверенных реагентов.

7. Предложено ввести инженерный контроль на этапе биологической очистки сточных вод с целью отслеживания и создания условий для развития активного ила.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. - М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 - 704 с.
2. ИТС 10-2015. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов. – введ. 2016-07-01. – Москва: Бюро НДТ, 2015. – 377 с.
3. Воронов, Ю.В. Водоотведение: Учебник / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев, В.П. Саломеев, Е.А. Пугачев. - М. : ИНФРА - М, 2007. – 415 с.
4. Штриплинг, Л.О. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов. Учеб. пособие. Л.О. Штриплинг, Ф.П. Туренко – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 192 с.
5. Соколов, М.П. Очистка сточных вод. Учебное пособие / Набережные Челны: КамПИ, 2005, 213 с
6. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. - введ. 2001.01.01. - М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 2000. - 14 с.
7. Технология очистки сточных вод: современные очистные системы. – [Электронный ресурс]. - URL: <https://1pokanalizacii.ru/ustrojstvo/texnologiya-ochistki-stochnyx-vod.html>.
8. Селиванова, Н.В. Очистка сточных вод : метод. указания к курсовому и дипломному проектированию / Владим. гос. ун-т ; сост. : Н.В. Селиванова, Н.А. Андрианов. – 2-е изд., перераб. и доп.– Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 44 с.
9. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е.А. Козловский. М. : Советская энциклопедия, Т. 5. 1991 г. – 541 стр. – С. 318-319.
10. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. Т. 1 : пер. с фр. — СПб. : Новый журнал, 2007.

11. Липунов, И.Н. Очистка сточных вод в биологических реакторах с биопленкой и активным илом (расчет биофильтров и аэротенков): учебное пособие / И.Н. Липунов– Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. университет, 2015. 110 с.
12. Вторушина, А.Н. Биологическая очистка и автоматизация контроля качества хозяйственно-бытовых сточных вод / А.Н. Вторушина, А.Ю. Башарова // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 2-х томах. Том 1 / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 337-341.
13. Биологическая очистка городских сточных вод : Учебное пособие .– Вологда : ВоГТУ, 2002. – 127 с.
14. Харькин, С.В. Реконструкция очистных сооружений под технологии удаления азота и фосфора - мифы и реальность / С.В. Харькин // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». - Изд-во: ООО "Издательский дом "Орион". - № 1. - 2014 - С. 22-31.
15. Raptopoulou, C. Phosphate Removal from Effluent of Secondary Wastewater Treatment: Characterization of Recovered Precipitates and Potential Re-use as Fertilizer. Waste Biomass Valor / C. Raptopoulou, K. Kalaitzidou, A. Tolkou, P.-A. Palasantza, M. Mitrakas, A. Zouboulis – 2016. – P. 851-860.
16. Сайфуллин, В.Р. Обоснование необходимости доочистки стоков от фосфатов на очистных сооружениях / В.Р. Сайфуллин // Научно-технический журнал «Теория. Практика. Инновации». - Февраль, 2017. - С. 73-80.
17. Чернобережский, Ю.М. Теоретические основы очистки и обезвреживания выбросов и сбросов. Часть 1: учебное пособие / Ю.М. Чернобережский, Ю.Л. Морева, А.Н. Николаев // СПб ГТУ РП. - СПб., 2012.- 100 с.

18. Выхристюк, Л.А. Донные отложения и их роль в экосистеме Куйбышевского водохранилища / Л.А. Выхристюк, О.Е. Варламова – Самара, 2003. – С. 139-152.
19. Залётова, Н.А. Особенности химического удаления фосфора при биологической очистке сточных вод / Н.А. Залётова // Журнал «Водоснабжение и санитарная техника» №11. - Изд-во ВСТ, 2011. С. 40-46.
20. Долина, Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: Монография / Л.Ф. Долина –Днепропетровск. : Континент. 2011. - 198 с.
21. Зейфман, Е.А., Лебедева Е.А., Тихановская Г.А. Интенсификация процессов очистки сточных вод от биогенных элементов: Учебное пособие. / Е.А. Лебедева, Г.А. Тихановская - Вологда: ВоГТУ, 2003. - 121 с.
22. Селезнева, А.В. Экологическое нормирование антропогенной нагрузки на водные объекты. / А.В. Селезнева – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2007. – 107 с.
23. Гогина, Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод: Монография / Е.С. Гогина. – М. : МГСУ, 2010. – 120 с.
24. Sengupta, S. and Phosphorus Recovery from Wastewater. Current Pollution Reports 1:3. S.S engupta, T. Nawaz, J. Beaudry - 2015. - S. 155-166.
25. Харькина, О.В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. / О.В. Харькина. - Волгоград: изд-во «Панорама», 2015. – 433 с.
26. Разумовский, Э.С. Современные технологии очистки сточных вод / Э.С. Разумовский // Жилищное и коммунальное хозяйство. – 1994. – №3. – С. 30-34.
27. Richard, A. Phosphorus Removal Mechanisms in a Facultative Wastewater Stabilization Pond. Water Air Soil Pollut. / A. Richard, A. Vendramelli, V. Saloni, Y. Qiuyan – 2016. – P. 417-426.

28. Харькин, С.В. Организация процессов удаления фосфора из сточных вод / С.В. Харькин // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». - Изд-во: ООО "Издательский дом "Орион". - № 11. - 2013 - Стр. 52-58.
29. Гандурина, Л.В. Реагентный способ удаления соединений фосфора из сточных вод / Л.В. Гандурина, Л.Н. Буцева, В.С. Штондина // Водоснабжение и санитарная техника. – М., 2001.– №6. – С. 18–20.
30. Душкин, С.С. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод. / С.С. Душкин, А.Н. Коваленко, М.В. Дегтярь, Т.А. Шевченко - Харьк. нац. акад. гор. хоз–ва. – Х. : ХНАГХ, 2011. – 146 с.
31. Yandong, Y. Enhanced nutrients removal from municipal wastewater through biological phosphorus removal followed by partial nitrification / Y. Yandong, Zh. Liang, Sh. Hedong, Zh. Shujun, G. Pengchao, P. Yongzhen. // *anammox. Front. Environ. Sci. Eng.*, 11(2) – 2017. – S. 1-6.
32. Душкин, С.С. Интенсификация реагентных методов очистки воды. Уч. пособие. / С.С. Душкин, – К. : Вища школа, 1990. – 168 с.
33. Большаков, Н.Ю. Оптимизация биологической дефосфотации. Эффективное удаление фосфатов на очистных сооружениях / Н.Ю. Большаков, // Всероссийский журнал для специалистов «СтройПРОФИ» - Изд-во: ООО «ВСК». - №7(16). - 2013. - Стр. 48-50.
34. Соловьева, Е.А. Технология очистки сточных вод и обработки осадков при глубоком удалении азота и фосфора из сточных вод / Е.А. Соловьева // Известия Петербургского университета путей сообщения. - том 13, выпуск 1(46). - 2016. - Стр. 93-99.
35. Непогодин, А.М. Обзор современных технологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод / А.М. Непогодин, Е.В. Пластинина, М.Ю. Дягелев // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 206-211.

36. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. Т. 2 : пер. с фр. — СПб. : Новый журнал, 2007.
37. Данилович, Д.А. Блок удаления биогенных элементов Люберецких очистных сооружений г. Москвы – этапы внедрения современных технологий / Д.А. Данилович // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2014. -№ 2 (апрель). – С. 20-37.
38. Пахомов, А.Н. Опыт эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора / А.Н. Пахомов, С.А. Стрельцов, М.Н. Козлов // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10. С. 35–41.
39. Беляев, А.Н. Удаление азота и фосфора на канализационных очистных сооружениях / А.Н. Беляев, Б.В. Васильев, С.Е. Маскалева, Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева // Водоснабжение и санитарная техника. – № 9. – 2008. – Стр. 38-43.
40. Соловьева, Е.А. Совершенствование технологии удаления азота и фосфора в комплексе по очистке сточных вод и обработке осадка : автореф. дис. ...д-ра техн. наук : 05.23.04 / Е.А. Соловьева ; С.-Петербург. гос. архитектурно-строительный ун-т. – СПб, 2009. – 39 с.
41. Родионов, А.А. Ретехнологизация аэротенков для достижения глубокого удаления биогенных элементов: опыт очистных сооружений г. Набережные Челны / А.А. Родионов, Л.П. Озерова, М.А. Есин // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2015. - № 2 (апрель). – С. 26-33.
42. Саблий, Л.А. Удаления соединений азота и фосфора: проблемы и их решения / Л.А. Саблий, В.С. Жукова, М.Ю. Козарь // Сборник статей 5ой Восточно-Европейской конференции «Опыт и молодость в решении водных проблем» IWA. Часть 2. (Русскоязычная версия). - Киев, 26-28 июня 2013г. - Стр. 351-358.

43. Крючихин, Е.М. Эффективная очистка городских сточных вод от биогенных элементов на ЦСА Санкт-Петербурга / Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев, Н.А. Жильникова, О.Н. Рублевская, Г.А. Панкова, Г.Н. Рафалович // Водоснабжение и санитарная техника. – М., 2009. - №12 — Стр. 59-62.
44. Васильев, Б.В. Реагентное удаление фосфора из городских сточных вод / Б.В. Васильев, Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева // Водоснабжение и санитарная техника. - 2009. - N 2. - С. 58-60.
45. Кинебас, А.К. Опыт внедрения технологии химического осаждения фосфора: от лабораторных тестов до промышленной эксплуатации / А.К. Кинебас, Е.Д. Нефедова, О.Н. Рублевская, Г.А. Панкова // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. №1. - С. 46-54.
46. Большаков, Н.Ю. Биотехнологии на страже экосистемы / Н.Ю. Большаков // Журнал «СтройПРОФИ». – № 11. – 2013.
47. Свергузова, С.В. Василенко Т.А. Очистка сточных вод от фосфатов с помощью шлаков Оскольского электрометаллургического комбината. / С.В. Свергузова, Т.А. Василенко // Наука производству. – 2001, № 3. - с. 13-17.
48. Zuo, Y. Phosphorus removal from wastewater using a lanthanum oxide-loaded ceramic adsorbent. Adsorption. / Y. Zuo, X. Fu, Y. Chen, G. Cui, M. Liu – 2016. – S. 1091-1098.
49. Hanandeh, A.El. Phosphorus removal efficiency from wastewater under different loading conditions using sand biofilters augmented with biochar. / A.El. Hanandeh, M. Gharaibeh, A.A. Albalasmeh // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2017. – S. 1-8.
50. Регламент по эксплуатации оборудования и сооружений цеха очистных сооружений канализации ООО «АВК». – 63 с.
51. Анисимов, Д.В. Удаление фосфора из сточных вод / Д.В. Анисимов // Экология производства. – 2012. – № 5. – С. 84–87.

52. Иванов, А.В. Опыт внедрения способа биологического обеззараживания сточных вод / А.В. Иванов // Гигиена и санитария. – 2010. – № 5. – С. 85–88.
53. Максимов, С.П. Обзор методов биологической очистки сточных вод / С.П. Максимов, И.А. Алексеев // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. ХLI междунар. науч.-практ. конф. № 12(37). – Новосибирск: СибАК, 2014.
54. Биологическая очистка сточных вод. [Электронный ресурс] — URL: http://www.o8ode.ru/article/planetwa/oprecnenie/biologi4eckaa_o4ictka_sto4nyh_vod.htm (дата обращения 02.04.2019).
55. Нюансы очистки сточных вод [Электронный ресурс] — URL: <http://kanalizaciya-expert.ru/naruzhnaya/stochnye-vody/ochistnye-sooruzheniya-kanalizacii-99> (дата обращения 02.04.2019).
56. Прикладная экобиотехнология: в двух томах. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – Т.1. – 629 с.
57. Хенце, М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. – М. Мир, 2004. – 480 с.
58. Смирнов, А.М. Инновационная технология доочистки стоков / А.М. Смирнов, Ю.Г. Смирнов // Экология производства. – 2009. – № 6. – С. 80–85.
59. Ксенофонтов, Б.С. Возможности доочистки сточных вод с использованием комбинированных флотомашин с фильтрующими элементами / Б.С. Ксенофонтов, С.Н. Капитонова, А.С. Козодаев // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 9. – С. 32–37.
60. Рублевская, О.Н., Краснопеев А.Л. Опыт внедрения современных технологий и методов обработки осадка сточных вод / О.Н. Рублевская, А.Л. Краснопеев // Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ). – 2011. – № 4. – С. 65–69.

61. Фомин, А.А. Анаэробная технология очистки сточных вод / А.А. Фомин, Т.В. Перепелкина // Экология производства. – 2011. – № 4.– С. 60–62.
62. Пантюков, М.Е. Интенсификация биологической очистки сточных вод стимуляторами процесса / М.Е. Пантюков // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 3.– С. 31–34.
63. Шевченко, Т.А. Ресурсосберегающие технологии при очистке сточных вод / Т.А. Шевченко // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. - 2009. - №84. - с. 119-122.
64. Разумовский, Э.С. Удаление биогенных элементов из городских сточных вод / Э.С. Разумовский, Н.А. Залетова // ВСТ. - 1991. - №6. - С. 28-30.
65. Соловьева, Е.А. Современные схемы очистки городских сточных вод / Е.А. Соловьева // Вестник гражданских инженеров. - 2007. - № 4 (13). - С. 61-66.
66. Мишуков, Б.Г. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации СПб. Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева: Водопроект-Гипрокоммунводоканал. - 2004. - 72 с.
67. Kuba, T. Occurrence of denitrifying phosphorus removing bacteria in modified UCT-type wastewater treatment plants / T. Kuba, M.C.M. van Loosdrecht, F.A. Brandse, J.J. Heijnen // Water Research. - 1997. - No31. – P. 777-786.
68. Barnard, J. Requirements for achieving effluent phosphorus of less than 0.1 mg/L. / J. Barnard. // Session P1 in WERF. – 2006. – P, 49-51.

69. Zeng, L. Adsorptive removal of phosphate from aqueous solutions using iron oxide tailings / L. Zeng, X. Li, J. Liu // *Water Research*. - 2004. - No38. – P. 1318-1327.
70. Akin, B.S. Biological removal of carbon, nitrogen and phosphorus in a sequencing batch reactor / B.S. Akin, A. Ugurlu // *Journal of Environmental Science and Health*. - 2003. - No 38. – P. 1479-1489.
71. Li, J. Technique for biological phosphorus removal / J. Li, H. Ren, X. Wang, Q. Liu, Q. Xie // *Pollution Engineering*. - 2005. - No37. – P. 14-17.
72. Oguz, E. Removal of phosphate from wastewaters / E. Oguz, A. Gurses, N. Canpolat // *Cement & Concrete Research*. - 2003. - No33. – P. 1109-1113.
73. Mino, T. Review paper: Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process / T. Mino, M.C.M. van Loosdrecht, J.J. Heijnen // *Water Research*. - 1998. - 32. – P. 3193-3207.
74. Dabert, P., Delgenes J.P., Godon J.J. Monitoring the impact of bioaugmentation on the start up of biological phosphorus removal in a laboratory scale activated sludge ecosystem / P. Dabert, J.P. Delgenes, J.J. Godon // *Applied Microbiology & Biotechnology*. - 2005. - No66. – P 575-588.
75. Дедков, Ю.М. Методы доочистки сточных вод от фосфатов / Ю.М. Дедков, М.А. Коницев, С.Ю. Кельина // *ВСТ*. - 2003. - №11. - С. 25-31.