

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

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»  
(наименование)

18.03.02 Энерго– и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии  
и биотехнологии  
(код и наименование направления подготовки / специальности)

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

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Оптимизация процесса очистки сточных вод Юго-Западных очистных  
сооружений г. Санкт-Петербурга

Обучающийся

А.Г. Федосеев

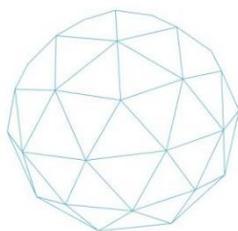
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.В. Чариков

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



Тольятти 2023



**Росдистант**

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

## Аннотация

Название выпускной квалификационной работы: «Оптимизация процесса очистки сточных вод Юго-Западных очистных сооружений г. Санкт-Петербурга».

Выпускная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, 10 таблиц, 3 рисунка, списка используемых источников.

В выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос очистки сточных вод от взвешенных веществ.

Целью работы является в снижении содержания взвешенных веществ в сточных водах.

Объектом исследования Юго-Западные очистные сооружения г. Санкт-Петербурга»

Во введении ставится цель и формулируются задачи работы.

В первом разделе рассмотрены способы очистки сточных вод, проанализированы особенности процессов, лежащих в их основе.

Во втором разделе проанализирована технологическая схема существующей установки

В третьем разделе выбран и обоснован способ оптимизации технологии

В четвертом разделе произведены технологические расчеты оборудования

В заключении делаются выводы о техническом эффекте оптимизации.

## Содержание

Введение.....	4
1 Аналитический обзор литературы.....	5
1.1 Классификация сточных вод.....	5
1.2 Источники и виды загрязнений.....	6
1.3 Роль микроорганизмов при очистке сточных вод.....	8
1.4 Влияние на биоценоз различных факторов.....	10
1.5 Механизмы реакций окисления органических соединений с помощью микроорганизмов.....	11
1.6 Обоснование выбора способа биологической очистки промышленно сточных вод.....	13
2 Описание объекта исследования.....	17
2.1 Существующее состояние технологического объекта.....	17
2.2 Описание технологического процесса.....	20
2.3 Обоснование оптимизации оборудования.....	37
3 Оптимизация технологического оборудования объекта.....	42
3.1 Выбор и обоснование технологического оборудования.....	42
3.2 Описание конструкции и принципа работы оборудования.....	46
4 Технологические расчеты основного оборудования.....	51
4.1 Расчет решеток.....	51
4.2 Расчет песколовков.....	54
4.3 Расчет песковых площадок.....	56
4.4 Расчет первичных отстойников.....	57
4.5 Расчет эффективности очистки.....	57
Заключение.....	64
Список используемых источников.....	64

## Введение

В современном обществе проблема обработки сточных вод является одной из наиболее актуальных задач, требующих комплексного и эффективного подхода для обеспечения экологической безопасности. Особое значение приобретает анализ и оптимизация работы установок очистки сточных вод, осуществляемых на промышленных предприятиях.

В ходе анализа работы установки очистки сточных вод Юго-Западных очистных сооружений ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» были выявлены серьезные технологические проблемы, обусловленные превышением поступления взвешенных веществ на биологическую очистку, что приводит к недостаточной степени очистки сточных вод от азотсодержащих соединений. Эти проблемы негативно влияют на качество очищенной воды и, соответственно, на экологическую обстановку.

Однако, путем анализа и обобщения существующих научных данных были выработаны и предложены практические пути решения данной проблемы. Реагентная обработка потока сточных вод и установка нового оборудования для дозирования реагента представляют собой меры, способные эффективно снизить содержание взвешенных веществ в сточных водах, улучшив тем самым показатели очистки.

Цель работы заключается в снижении содержания взвешенных веществ в сточных водах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ состояния установки очистки сточных вод Юго-Западных очистных сооружений ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»;
- выявить технологические проблемы и предложить пути их решения;
- обеспечить снижение взвешенных веществ потоке сточной воды;
- рассчитать основные характеристики оборудования для очистки поступающих промышленно-сточных вод от взвешенных веществ.

# 1 Аналитический обзор литературы

## 1.1 Классификация сточных вод

«Сточные воды, образующиеся на промышленных предприятиях, а также отводимые с их территории по химическому составу условно подразделяют на три категории:

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

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

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

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

Производственные сточные воды различают по процессам их образования и подразделяется на следующие виды» [1]:

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

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

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

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

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

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

– промышленно-ливневые сточные воды. К этим сточным водам относят атмосферные осадки с территории, загрязненные различными химическими веществами» [5].

## **1.2 Источники и виды загрязнений**

«Загрязняющие вещества, поступающие в водные объекты со сточными водами химических предприятий, подразделяют на минеральные, органические и биологические.

Минеральные загрязняющие вещества. К минеральным загрязнениям относятся песок, глина, зола и шлаки, растворы солей, кислот, щелочей и минеральных масел, другие неорганические соединения. Они ухудшают

физико-химические и органолептические свойства воды, отравляют фауну водоемов.

Менее опасны минеральные загрязнения без специфического токсического действия: взвешенные частицы песка, глины, других пород, но и они ухудшают свойства воды и способствуют заиливанию водоемов.

Неблагоприятное воздействие на водоемы и водотоки оказывают сточные воды, содержащие токсичные соединения и соли тяжелых металлов. Такие сточные воды поступают с химических предприятий, производящих токсичные вещества или имеющих в их своем обороте. Многие компоненты промышленных стоков не поддаются биологическому разложению, протекающему в водоемах, и накапливаются в придонных илах, вызывая изменение состава и свойств природных вод, а нерастворимые в воде отходы ряда химических производств легко проникают в биологические системы по трофическим цепям и накапливаются в живых организмах и растениях» [4].

Среди органических загрязнений выделяют смолы, фенолы, красители, спирты, альдегиды, нафтеновые кислоты, серо- и хлорсодержащие органические соединения, различные пестициды, смываемые в водоемы с сельскохозяйственных угодий, синтетические поверхностно-активные вещества и др.

«Большую опасность представляют фенольные соединения, содержащиеся в сточных водах предприятий лесохимической, коксохимической, сланцевой, анилиноокрасочной промышленности и пр. Фенолы – антисептики, нарушают биологические процессы в водоемах; вода приобретает резкий неприятный запах, ухудшаются условия для воспроизводства рыбы.

Загрязнение природных вод синтетическими поверхностно-активными веществами (ПАВ) – еще одна проблема, связанная с ростом потребления и использования бытовой химии, ПАВ содержатся в сточных водах некоторых производств. ПАВ придают воде привкус и запах, образуют стойкие

скопления пены, снижают способность воды к биохимической очистке [3].

Биологические загрязнения. К биологическим загрязнениям относят различные болезнетворные бактерии и вирусы, являющиеся возбудителями инфекций. В водоемы они попадают вместе с плохо очищенными бытовыми сточными водами, со сточными водами медицинских учреждений, биологических и химических производств и животноводческих ферм. Попадание такой воды в питьевое водоснабжение и для бытовых нужд способствует распространению серьезных заболеваний и даже эпидемий, таких как холера, инфекционный гепатит, дизентерия, брюшной тиф, заражение различными видами гельминтов (гельминтозов) и т.д.

Другие виды загрязнений. Выпуск в природные водоемы теплых вод от энергетических установок увеличивает испарение с зеркала воды, и способствует увеличению минерализации воды, что приводит к снижению растворенного кислорода в воде, и в свою очередь, оказывает отрицательное влияние на гидробионты» [6].

### **1.3 Роль микроорганизмов при очистке сточных вод**

«Минерализация загрязняющих веществ при очистке сточных вод происходит за счет жизнедеятельности микроорганизмов: бактерий, простейших и грибов. Процессы минерализации органических веществ (превращения в простые неорганические вещества) в зависимости от условий и вида микроорганизмов разделяются на две большие группы - аэробные и анаэробные. Промышленное применение микроорганизмов основано на управлении процессом биохимического превращения органических веществ при участии микроорганизмов и ферментов.

Органические и неорганические вещества, содержащиеся в бытовых и промышленных сточных водах - питательная среда для микроорганизмов, которые в ней размножаются, используют часть веществ для синтеза новых

клеток, а другую перерабатывая в простые минеральные продукты -  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др. Этот процесс, протекает в присутствии кислорода из воздуха, называется «биохимическим» окислением.

Перед ступенью биохимического окисления сточные воды подвергаются механической очистке: процеживанием и осаждением. В осадках, образующихся в результате механического и биохимического очищения сточных вод, органические вещества минерализуются за счет протекания анаэробных биохимических процессов.

Механизм окисления органических веществ в сточных водах, и их переработка микроорганизмами сложен, но уже хорошо изучен. Согласно современным теориям его описывают следующими стадиями» [7]:

- сорбция вещества на поверхности микроорганизмов;
- диффузия вещества через клеточную мембрану микроорганизмов;
- метаболизм вещества в клетках;
- вывод продуктов окисления и метаболитов из клетки в субстрат.

«При очистке сточных вод огромное значение играют процессы превращения вещества, происходящие в клетках микроорганизмов, а именно окисление вещества, сопровождающееся выделением энергии, и синтез новых белковых веществ - протоплазмы, протекающий с затратой энергии. При протекании этих процессов микроорганизмы потребляет кислород, растворенный в сточной воде. Микроорганизмы образуют колонии, называемые активным илом. Скорость потребления кислорода активным илом зависит от следующих факторов: концентрации микроорганизмов и простейших в активном иле, скорости их роста и физиологической активности; концентрации и состава питательных веществ, поступающих с загрязненным потоком, а также от содержания кислорода в среде и условий аэрации в аэротенке.

Для очистки сточных вод широко используются два типа биологических процессов: аэробные и анаэробные. В аэробных процессах

микроорганизмы используют растворенный в сточных водах кислород для окисления загрязнителей, в анаэробных – для окисления загрязнителей используют растворенный кислород нитритов и нитратов для денитрификации, и кислород сульфатов при сульфат-редукции.

Процесс биологической очистки представляет собой непосредственный контакт загрязнений с оптимальным количеством микроорганизмов активного ила в течение необходимого периода времени с последующим эффективным отделением активного ила от очищенной воды» [8].

#### **1.4 Влияние на биоценоз различных факторов**

«Биологическое окисление осуществляется сообществом микроорганизмов (биоценозом), включающим множество различных бактерий, простейших и высокоорганизованных организмов (водорослей, грибов, колероваток, червей, клещей и т.д.), связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениями (метабиоза, симбиоза и антагонизма).

Окисление органических веществ происходит с различной скоростью, и скорость окисления зависит от строения вещества, наличия функциональных групп и кратных связей; вначале окисляются легкоокисляемые соединения. Находящиеся в растворенном состоянии органические вещества сточных вод окисляются раньше адсорбированных.

Эффективность очистки зависит от структуры и биологических свойств активного ила. Структура хлопьев ила – это компактность, плотность, размер и флокулирующие свойства. Биологические свойства ила – это количество и качества жизни в нем, ферментативная активность, типы организмов, видовое разнообразие и т.д..

Среди бактерий в аэротенках очистных сооружений сосуществуют гетеротрофы и автотрофы, причем преимущественное развитие та или иная группа получает в зависимости от условий работы системы. Эти две группы

бактерий различаются по своему отношению к источнику углеродного питания.

Гетеротрофы используют в качестве источника углерода готовые органические вещества и перерабатывают их для получения энергии и построение нового клеточного вещества (прирост ила).

Автотрофы потребляют для синтеза клетки неорганический углерод, а энергию получают за счет фотосинтеза, используя энергию света, либо хемосинтеза путем окисления некоторых неорганических соединений.

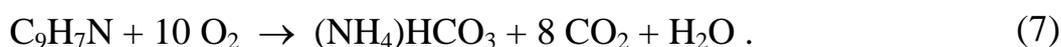
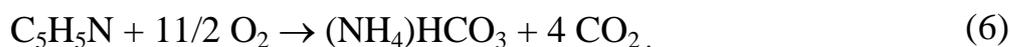
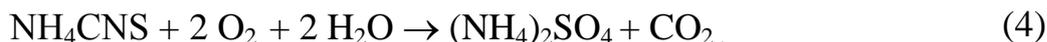
На развитие в активном иле отдельных групп микроорганизмов и в связи с этим на направленность процесса очистки решающее влияние оказывает состав промышленных сточных вод.

Искусственно культивируемые микроорганизмы освобождают воду от загрязнений, а метаболизм этих загрязнений в клетках обеспечивает их энергетические потребности, прирост биомассы и восстановление распавшихся веществ клетки. Биологическим путем обрабатываются сложные и разнообразные органические вещества. Переработке подвергаются также некоторые не окисленные неорганические соединения – сероводород, нитриты и т.п.» [11].

### **1.5 Механизмы реакций окисления органических соединений с помощью микроорганизмов**

Механизм биологического окисления в аэробных условиях (в присутствии растворенного кислорода) гетеротрофными бактериями может быть представлен следующими реакциями (компоненты промышленных сточных вод):

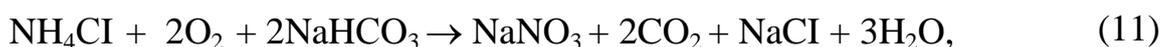




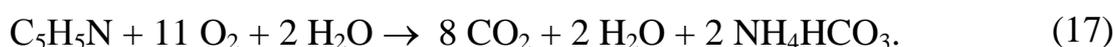
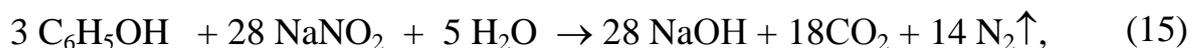
Процесс образования клеточного вещества активного ила, который происходит после использования внешнего источника питания, описывают реакции (8 и 9):



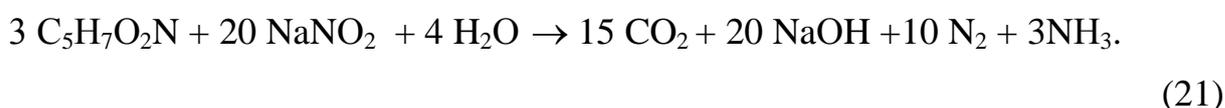
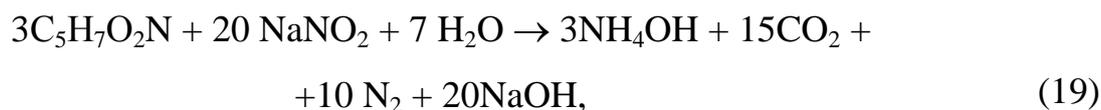
Нитрификация протекает в соответствии со следующими уравнениями реакций:



Денитрификация протекает в соответствии со следующими уравнениями реакций:



Формула активного ила очистных сооружений выражается формулой:  $C_5H_7O_2N$ . При протекании нитри-денитрификации одновременно протекает окисление избыточного ила (реакции 1.18–1.21) как кислородом воздуха, так и связанным кислородом нитритов и нитратов, которое можно описать формулами:



Как видим из приведенных уравнений в процессе биологической очистки протекают реакции окисления загрязняющих веществ.

Наряду с этими реакциями – происходит синтез вещества ила. Вещество ила – это условная формула, которой пользуются для облегчения расчетов.

## **1.6 Обоснование выбора способа биологической очистки промышленно сточных вод**

Промышленно-сточные воды (ПСВ) очищать можно разными способами, как физико-химическими, так и биологическими способами на разных стадиях. «Выбор метода очистки сточных вод и конструктивного оформления процесса производится с учетом следующих факторов:

- санитарные и технологические требования, предъявляемые к качеству очищенных вод с учетом дальнейшего их использования;
- количества сточных вод;

– наличия у предприятия необходимых для процесса обезвреживания энергетических и материальных ресурсов (пар, топливо, сжатый воздух, реагенты, сорбенты), а также необходимой площади для очистных установок; – эффективности процесса обезвреживания» [15].

Очистка промышленно-сточных вод – процесс уже хорошо изученный, отработанный и освоенный за более чем столетнюю историю эксплуатации очистных сооружений.

В 2021 году [9] были сформулированы и опубликованы общие требования, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Обобщенное описание процесса очистки сточных вод [9]

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток
1	2	3
Поступающая сточная вода	№1. Процеживание (обязательный подпроцесс)	1. Неочищенная сточная вода 2. Отбросы
Неочищенная процеженная сточная вода	№2. Удаление грубодисперсных механических примесей, оседающих (песок, частицы грунта)	1. Неосветленная сточная вода, без грубых минеральных примесей. 2. Минеральный осадок, пескопulpа.
Неосветленная сточная вода, без грубых минеральных примесей	№3. Аккумуляирование сточных вод с целью регулирования расхода и усреднения состава. Может быть совмещено с отстаиванием. Обязательный процесс для ОС ПСВ накопительного типа.	1. Неосветленная сточная вода, без грубых минеральных примесей, усредненная по составу и расходу, либо (при применении отстаивания) – осветленная сточная вода. 2. Минеральный осадок.
Неосветленная сточная вода	№4. Выделение взвешенных веществ (осветление) и пленочных загрязнений (свободных нефтепродуктов). Обязательный процесс. Как правило производится методом безреагентного отстаивания, может быть с аккумуляирование (накоплением) стоков. Может быть совмещен с подпроцессом №3 аккумулялирующих резервуаров-отстойников. Может быть реализован на тонкослойных отстойниках. Может быть применен в варианте флотационной очистки. Реагентное отстаивание.	1. Осветленная сточная вода. 2. Минеральный осадок. 3. Пленка нефтепродуктов.

Продолжение таблицы 1

Неосветленная сточная вода	№4. Выделение взвешенных веществ (осветление) и пленочных загрязнений (свободных нефтепродуктов). Обязательный процесс. Как правило производится методом безреагентного отстаивания, может быть с аккумуляцией (накоплением) стоков. Может быть совмещен с подпроцессом №3 аккумулярующих резервуаров-отстойников. Может быть реализован на тонкослойных отстойниках. Может быть применен в варианте флотационной очистки. Реагентное отстаивание.	1. Осветленная сточная вода. 2. Минеральный осадок. 3. Пленка нефтепродуктов.
Неосветленная процеженная сточная вода	№5. Обработка в резервуаре-биопруде с высшей водной растительностью (эйхорния). Необязательный подпроцесс. Не применим в условиях в северных и северо-западных регионах РФ.	1. Очищенная вода. 2. Использованные растения.
Осветленная вода или вода после фильтрации	№6. Биологическая очистка в биоплато (биопрудах). Необязательный подпроцесс.	1. Очищенная вода. 2. Отмершая биомасса, отработанный грунт.
Осветленная вода (вариант – неосветленная). Вариантно: растворы реагентов из подпроцесса №8.	№7. Дополнительное выделение мелкодисперсных взвешенных веществ и нефтепродуктов фильтрованием. Напорная или безнапорная фильтрация, либо контактная фильтрация через слой зернистой загрузки. Необязательный процесс.	1. Вода, доочищенная от взвешенных веществ и нефтепродуктов, в том числе эмульгированных. 2. Промывная вода. 3. Отработанная загрузка фильтров.
Товарные реагенты соли железа или алюминия (коагулянты); Полиэлектролиты (флокулянты); Техническая вода	№8. Приготовление и дозирование растворов реагентов. Комплексный подпроцесс, может осуществляться на нескольких различных потоках. Необязательный подпроцесс.	Рабочие растворы реагентов для применения.
Вода после фильтрации	№9. Сорбционная обработка для доочистки от эмульгированных и растворенных нефтепродуктов, а также других органических соединений. Необязательный подпроцесс.	1. Очищенная вода. 2. Периодически – отработанный сорбент.
Очищенная вода	№10. Обеззараживание. Обязательный по требованиям СанПиН. Фактически на практике применяется редко.	Очищенная обеззараженная вода.
Осадок из отстойников (резервуаров)	№11А. Уплотнение и подсушка на песковых площадках.	1. Подсушенный осадок. 2. Сливная вода.

Продолжение таблицы 1

Также раствор флокулянта из подпроцесса №9. Техническая вода.	№11Б. Обезвоживание в геоконтейнерах (геотубах)	1. Обезвоженный осадок (кек) 2. Фильтрат.
Также раствор флокулянта из подпроцесса №9. Техническая вода.	№11В. Механическое обезвоживание	1. Обезвоженный осадок (кек) 2. Фильтрат.
Обезвоженный осадок	№12. Приготовление почвогрунтов.	1. Почвогрунт 2. Отходы от просеивания.

Наиболее технологически доступным и экономически выгодным способом удаления соединений азота из хозяйственно-бытовых сточных вод является биологическая очистка с применением многовидового сообщества микроорганизмов (активного ила) [10]. Несмотря на экономическую целесообразность применения данного способа по сравнению с другими способами очистки сточных вод от различных форм азота, себестоимость очистки сточных биохимическим способом достаточно высока, что обусловлено строительством большого объема биологических сооружений.

В связи с этим, в настоящее время все большее распространение находят биохимические способы, позволяющие вести процесс очистки в бескислородных условиях, позволяющих не только снизить энергозатраты на аэрацию сточных вод, но и объем сооружений.

Вывод по разделу: С учетом специфического состава сточных вод, применение только анаэробного процесса очистки не представляется возможным, так как биологическая дезазотизация – нитрификация может осуществляться только облигатной (строгими аэробами) микрофлорой. В связи с этим, в качестве оптимального варианта, представляется возможным сочетание в технологии очистки сточных вод аэробного и анаэробного процессов очистки. Все эти процессы реализуются на современных очистных сооружениях.

## 2 Описание объекта исследования

### 2.1 Существующее состояние технологического объекта

При выполнении работы объектом исследования являются городские очистные сооружения (ГОС), которые находятся в г. Санкт-Петербурга. Полное наименование: цех водоснабжения и водоотведения (ВиВ) отделение по очистке промышленно-сточных вод (ПСВ) [12].

Сооружения введены в эксплуатацию в 1984 году.

Проектная мощность производства – 31620 м<sup>3</sup>/сут.

Достигнутая мощность производства – 14400 м<sup>3</sup>/сут.

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

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

В таблице 2 [12] представлена характеристика производимой продукции. Техническое наименование продукции – очищенные, обеззараженные сточные воды.

Таблица 2 – Сведения о качестве очищенной сточной воды

Наименование загрязнений	Класс опасности	Допустимая концентрация утверждённого норматива допустимого сброса (НДС) веществ в составе очищенных сточных вод в реку Нева (выпуск №1), мг/дм <sup>3</sup>			
		2014	2015	2016	2017
1	2	3	4	5	6
ХПК	–	46,24	43,38	43,38	43,38
БПК полное	–	3,00	5,82	5,82	5,82

Продолжение таблицы 2

Взвешенные вещества	–	13,6	11,878	11,878	11,878
Сухой остаток	–	460,4	402,48	402,48	402,48
Метанол	4	0,32	0,27	0,27	0,27
Формальдегид	4	0,513	0,573	0,573	0,573
Хлорид-анион	4	22,87	20,77	20,77	20,77
Сульфат-анион	4	114,08	99,07	99,07	99,07
Фосфаты (по фосфору)	4	0,42	0,42	0,42	0,42
Нефтепродукты	3	0,05	0,041	0,041	0,041
СПАВа/а	4	0,09	0,08	0,08	0,08
Нитрит-анион		0,339	0,34	0,34	0,34
Нитрат-анион		75,20	62,73	62,73	62,73
Аммоний-ион	4	0,5	2,16	2,16	2,16
Карбамид	4	--	80,0	80,0	80,0
pH	–	–	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Растворенный кислород	–	–	6	6	6

На основании условий Разрешения на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду, выданного Федеральной службой по надзору в сфере природопользования, максимальное содержание веществ в сточных водах (нормативно-очищенных) не должно превышать нормативов допустимого сброса.

Сточные воды поступают двумя потоками, один поток - смешанный производственный, ливневый и хозяйственно-фекальный сток от предприятия и жилой застройки поступающий с КНС-2 и второй поток - хозяйственно-фекальный сток от города Санкт-Петербурга. Качество поступающих потоков представлено в таблице 3 [12].

Таблица 3 – Качество сточной воды, поступающей на установку

Наименование показателя	Ед.изм.	Поток 1	Поток 2
ХПК (химическое потребление кислорода)	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	не более 600	не более 300

Продолжение таблицы 3

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

За последние несколько лет требования к качеству поступающих сточных вод увеличились, особенно по потоку 1. Ужесточение касается, в основном, на сброс взвешенных веществ. В связи с этим возникает проблема обеспечения очистки сточной воды от взвешенных веществ. В таблице 4 приведены сведения об загрязнителях в очищенной сточной воде.

Таблица 4 - Качество сточной воды после биологической очистки

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

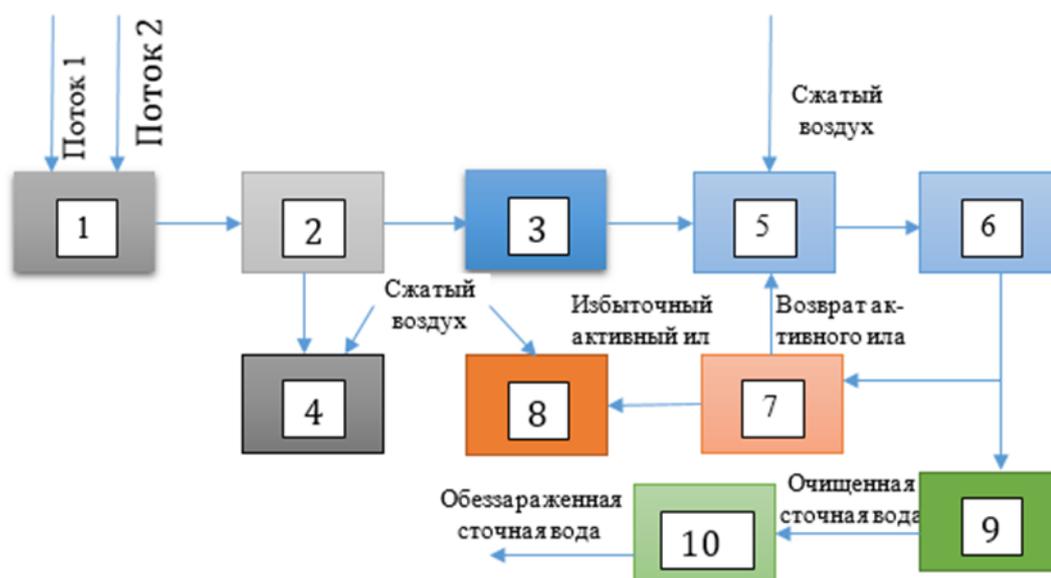
#### Продолжение таблицы 4

Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	11,878	5
Метанол	мг/дм <sup>3</sup>	0,27	0,1
Формальдегид	мг/дм <sup>3</sup>	0,573	0,1
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	402,48	–
Хлорид-анион	мг/дм <sup>3</sup>	20,77	300
Сульфат-анион	мг/дм <sup>3</sup>	99,07	100
Фосфаты (по фосфору)	мг/дм <sup>3</sup>	0,42	–
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,041	0,05
СПАВа/а	мг/дм <sup>3</sup>	0,08	–
Нитрит-анион	мг/дм <sup>3</sup>	0,34	0,08
Нитрат-анион	мг/дм <sup>3</sup>	62,73	40
Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	2,16	0,5
Карбамид	мг/дм <sup>3</sup>	80,0	80,0
Растворенный кислород	мг/дм <sup>3</sup>	6	–
Активный хлор	мг/дм <sup>3</sup>	2,0	–

Как видим из таблицы 4, очищенная сточная вода по нескольким показателям превышает установленное ПДК для сброса в водный объект. Среди таких показателей: взвешенные вещества, метанол, формальдегид, нитрит-ион, нитрат-ион и аммоний-ион. В источнике [8] приведены сведения о том, что при глубоком удалении взвешенных веществ в поступающей сточной воде, повышается глубина очистки всего потока сточной воды. Поэтому, в данной работе акцент сделан на снижение взвешенных веществ в поступающей сточной воде.

## 2.2 Описание технологического процесса

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



- 1 – отделение приема сточных вод; 2 – механическая очистка сточных вод; 2 – усреднение; 4 – обработка и утилизация осадков с механической очистки; 5 – биологическая очистка; 6 – отстаивание;  
 7 – возврат активного ила; 8 – минерализация и последующее обезвоживание избыточного ила; 9 – фильтрация очищенной воды;  
 10 – обеззараживание

Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема очистки ПСВ

### 2.2.1 Канализационные очистные сооружения

Канализационные очистные сооружения в отделении по очистке промышленно-сточных вод (ПСВ) проектной мощностью 31620 м<sup>3</sup>/сутки (1317,5 м<sup>3</sup>/ч) предназначены для приёма, дифференцирования, механической и полной биохимической очистки с доочисткой на каркасно-засыпных фильтрах примеси хозяйственно-бытовых, промышленных и ливневых сточных вод [14]. Сточные воды распределяются в отделение ПСВ двумя потоками.

Первый поток хозяйственно-фекального стока от города по коллектору К-13 самотеку поступает в приёмную камеру (сооружение 1, 1/1) отделения

ПСВ. Часть потока по трубопроводу поступает в усреднитель промышленных стоков (сооружение 23).

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

### **2.2.2 Канализационная насосная станция**

Хозяйственно-бытовые, промышленные, ливневые сточные воды поступают на КНС-2 в количестве от 8400 до 24000 м<sup>3</sup>/сутки (от 350 до 1000 м<sup>3</sup>/ч), очищаются от крупных примесей на агрегатах очистки сточных вод поз.7, поз.8. После очистки на агрегатах очистки сточных вод непрерывного действия, сточные воды поступают в приёмный резервуар поз.11 КНС-2 [14].

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

### **2.2.3 Усреднитель промышленных стоков**

Промышленно-сточные воды с КНС-2 по левому коллектору подаются в усреднитель промышленных стоков (сооружение 23) [14]. Усреднитель предназначен для выравнивания пиковых расходов и концентраций загрязняющих веществ сточных вод. Равномерная гидравлическая нагрузка и постоянная нагрузка по загрязнениям на очистные сооружения (ХПК не более 600 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> и рН в пределах от 6 до 9) позволяет эффективно вести технологический режим очистки сточных вод.

Усреднитель промышленных стоков - железобетонное сооружение объёмом 8 тыс. м<sup>3</sup>, которое состоит из трёх секций, в каждой секции - по три коридора. Промышленные сточные воды через систему задвижек поз.23/1÷5; 12 от КНС-2 по левому коллектору подаются в первый коридор каждой

секции усреднителя для перемешивания и усреднения. Количество подаваемого стока от 8400 до 24000 м<sup>3</sup>/сутки (от 350 до 1000 м<sup>3</sup>/ч) [14].

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

- с высоким общим содержанием загрязнений, т.е. ХПК, превышающим – 1200 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;
- с высоким (сверх регламентного значения) содержанием индивидуальных загрязнений;
- с активной реакцией среды (рН) ниже 5 и выше 10.

По мере накопления и по результатам аналитического контроля стоки из аварийной секции подаются в канал усреднителя через систему щитовых затворов поз.Щ-23/1÷3 сначала в I канал усреднителя, затем - во II канал, где дополнительно смешиваются с усредненными стоками третьей секции и далее поступают в резервуар V=100 м<sup>3</sup> [14].

В усреднителе по дну каждого коридора проложены трубы аэрационной системы, через которые турбовоздуходувками ТВ-80-1,4 поз.3÷5 из машинного зала (корпус 19) нагнетается воздух для перемешивания, отдувки легколетучих соединений и первоначального окисления органических загрязнителей (преаэрация). Нагнетаемый воздух распределяется по секциям усреднителя промышленных стоков задвижками поз.23/7÷9 [14].

## **2.2.4 Механическая очистка сточных вод**

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

В приёмные камеры (сооружения 1; 1/1) из резервуара грязных промывных вод (сооружение 6) также подаются по линии напорного трубопровода К-23 насосами поз.42, поз.43 грязные промывные воды от промывки каркасно-засыпных фильтров поз.1,11 и барабанно-сетчатых фильтров поз.49,51 корпуса 5. После смешения в приёмной камере сточные воды по бетонным лоткам через систему щитовых затворов поз.Щ-1/1, поз.Щ-2/1, поз.Щ-3/1 самотеком поступают в здание решёток (корпус 2), где проходят последовательную очистку на решётках предварительной очистки поз.1.1.1-3.1.1, агрегатах очистки сточных вод поз.1.1-3.1 и решётках РМУ-2 поз.1,3. Решётки типа РМУ-2, решётки предварительной очистки и агрегаты очистки сточных вод.

Решётки предварительной очистки предназначены для улавливания волокнистых материалов за счёт налипания их на оси и последующим уплотнением в комок в процессе подъёма подвижной решётки и сбрасывания их в канал. Подъем и опускание решётки осуществляется с помощью привода через передачу «винт-гайка» [14].

Решётка непрерывного действия, движущая решётка используется для окончательной очистки решётки от задержанных отбросов. Нижняя захватывающая часть решётки опускается опорной частью на дно канала, по которому протекает сточная вода. При включении решётки в работу приходит в движение, движущая часть, состоящая из пластинчатой цепи, осей и пластмассовых ловителей, с помощью которых отбросы извлекаются из сточной воды. Очистка стержней решёток от задержанных ими взвесей производится механическими граблями [14].

Первичными называются отстойники, входящие в состав сооружений механической очистки, они задерживают гораздо более мелкие взвеси, чем песколовки. Первичные отстойники поз. I/1.1-2; поз. I/2.1-2 относятся к вертикальному типу. Подача сточных вод на осветление осуществляется снизу через трубы, снабжённые отражателями для успокоения и распределения потока («грибки»). Осадок собирается в конические приямки. Для интенсификации осаждения, отстойники оснащены тонкослойными модулями из полимерного материала, установленными в верхней части отстойников на несущих конструкциях. Тонкослойные модули представляют собой пластины длиной 2 метра, соединённые между собой в ячейки. Расстояние между пластинами 100 мм. Таким образом, поток сточной воды распределяется по ячейкам, скорость движения в которых выше, а время осаждения частиц сокращается. Ячейки установлены под углом наклона 60° для обеспечения постоянного сползания сырого осадка в конические приямки [14].

### **2.2.5 Биологическая очистка сточной воды**

После первичных отстойников поз. I/1.1÷2; поз. I/2.1÷2, пройдя распределительные каналы 1.2; 2.2, очищенная от механических примесей сточная вода поступает в четырёхкамерные аэротенки поз. А/1.I÷IV; поз. А/2.I÷IV, где протекают процессы биологического окисления. Сюда же по циркуляционным лоткам (1.4÷2.4) поступает активный ил от илоотделителей поз. И/1.1-2, поз. И/2.1-2 и вторичных отстойников поз. II/1.1-2; поз. II/2.1-2 [14].

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

Биохимическое окисление растворенных и адсорбированных загрязнений (углеводов, органических кислот и их солей, неприродных органических соединений) достигает максимального значения под действием

микроорганизмов активного ила. После окисления органических веществ протекает процесс нитрификации. Окисление органических веществ происходит с различной скоростью; сначала окисляются легкоокисляемые соединения, которые находятся в растворенном состоянии, адсорбированные вещества сточных вод окисляются значительно позже, тем самым ухудшают нитрификацию и в целом глубину очистки сточных вод.

Период аэрации ( $t$ , ч) – время контакта активного ила с загрязнениями, вычисляется по формуле (22) [14]:

$$t = \frac{W}{q} \quad (22)$$

где  $W$  – 5760 м<sup>3</sup> - объем аэрируемых сооружений;

$q$  - часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч.

Продолжительность времени аэрации определяется при проектировании и обусловлено сложностью состава очищенных промышленных сточных вод. Чем сложнее и разнообразнее состав загрязнений, тем больше времени необходимо на очистку сточных вод для обеспечения глубокого окисления трудно окисляемых загрязнений.

Степень рециркуляции (%) – объем возвратного ила в аэротенки вычисляется по формуле (23) [14]:

$$R = \frac{a_{cp.}}{\frac{1000}{I} - a_{cp}} \times 100\% \quad (23)$$

где  $R$  – рециркуляционное отношение возвратного ила к расходу очищаемых сточных вод (%);

$a_{cp}$  - средняя доза ила (г/см<sup>3</sup>);

I – иловый индекс (определяется в пробе, отобранной в зоне аэрации) (см<sup>3</sup>/г). Иловый индекс – это объем, занимаемый одним граммом сухого вещества активного ила за 30 минут отстаивания в литровом цилиндре.

Возраст активного ила (сутки) – среднее время пребывания хлопьев ила в системе «аэротенк – илоотделитель - вторичный отстойник».

Его величина обратно пропорциональна скорости прироста ила вычисляется по формуле (24) [14]:

$$\text{Возраст ила} = \frac{a_{\text{ср}} \times t}{\text{прирост ила} \times 24 \times 100} \quad (24)$$

где t – период аэрации, ч;

$a_{\text{ср}}$  – средняя доза активного ила в аэротенке, г/дм<sup>3</sup>;

Прирост активного ила, мг/дм<sup>3</sup>.

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

### **2.2.6 Сооружение разделения активного ила и очищаемой воды**

Иловая смесь из камер аэротенков поз.А/1.І; поз.А/1.ІІІ; поз.А/2.І; поз.А/2.ІІІ перетекает в смежные камеры поз.А/1.ІІ; поз.А/1.ІV первого блока и камеры поз.А/2.ІІ; поз.А/2.ІV второго блока ёмкостных сооружений, через верхние щитовые затворы переливается в распределительные каналы 1.3; 2.3 и через 28 донных отверстий и подаётся в илоотделители (осветлители со взвешенным слоем ила) поз.И/1.1÷2; поз.И/2.1÷2, где происходит отстаивание сточных вод от активного ила [14].

Каждая секция илоотделителя представляет конструкцию полочных блоков в 7 рядов по 3 блока в каждом ряду. Каждый блок включает 2 ряда по 8 полок, выполненных из нержавеющей стали, которые расположены на расстоянии 350 мм друг от друга, угол наклона полок 45°. Иловая смесь поднимается в илоотделителе снизу-вверх, заходит в полочные блоки. Активный ил оседает на полках и под действием силы тяжести сползает в бункеры полочных блоков, откуда с помощью 8 эрлифтов на первом блоке ёмкостных сооружений и 14 эрлифтов на втором блоке ёмкостных сооружений по линии циркуляционного активного ила К-20/Ц подаётся в каналы циркуляции активного ила 1.4, 2.4 и далее, в камеры аэротенков - вытеснителей поз. А/1. I; поз. А/1. III; поз. А/2. I; поз. А/2. III [14]. Отделенная от основной части активного ила вода собирается в верхней части илоотделителя и через переливные гребёнки поступает в распределительные лотки, а затем подаётся в канал 1.5 первого блока ёмкостных сооружений и в канал 2.5 второго блока ёмкостных сооружений. Далее сточная вода через 16 донных отверстий, поступает во вторичные отстойники поз. II/1.1÷2, II/2.1÷2.

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

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

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

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

Избыточный активный ил может быть направлен на утилизацию в аэробный минерализатор (сооружение 10) по линии К-21 напорного трубопровода избыточного активного ила [14].

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

На эффективность илоотделения и вторичного отстаивания влияют гидродинамические потоки и седиментационные свойства ила. Превышение нагрузок по объёмам иловой смеси приводит к избыточному выносу ила из системы, поскольку ил является очень подвижным осадком. Седиментационные свойства ила зависят от характера очищаемых сточных вод, условий очистки, присутствия токсикантов.

### **2.2.7 Доочистка сточных вод**

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

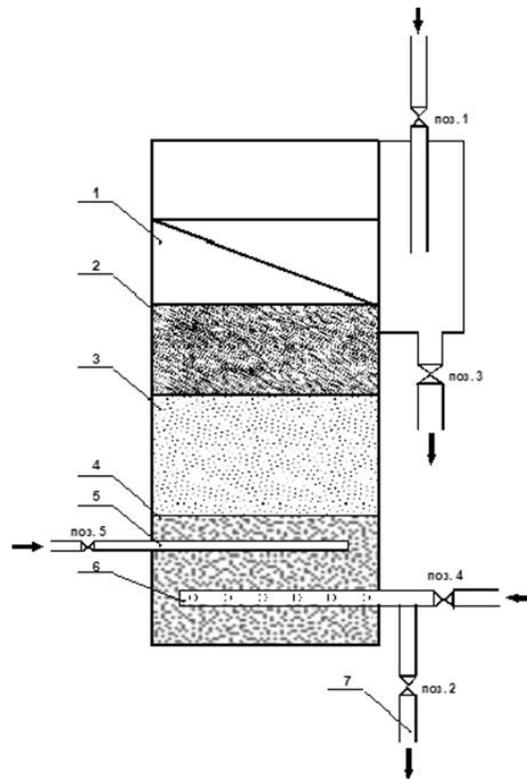
Сетчатые барабанные фильтры поз.49; поз.50; поз.51 предназначены для механической очистки сточных вод. Они задерживают грубодисперсные примеси, снижают содержание взвешенных веществ и применяются для

задержания мелкодиспергированных частиц перед процессом более глубокой доочистки очищенной воды на каркасно-засыпных фильтрах (КЗФ) поз.1÷11.

Сетчатый барабанный фильтр представляет собой цилиндрический корпус диаметром 3,0 метра, перекрытый фильтр - полотнами из сетки ячейками 0,5 × 0,5 мм. Сточная вода поступает внутрь фильтра и фильтруется через сетки в камеры, оставляя на лотках частицы неочищенного во вторичных отстойниках активного ила. Промывка сетчатых элементов производится технической водой по линии В-9 насосами поз.4; 5 корпуса 5. Грязная промывная вода поступает в резервуар грязных промывных вод (сооружение 6). Из резервуара грязных промывных вод насосами поз.42; поз.43 производительностью (корпус 5) грязные промывные воды перекачиваются в приёмную камеру (сооружение 1, 1/1) в начало процесса.

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

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



поз.1 – подача фильтра, поз.2 – отвод фильтра, поз.3 - отвод грязных промывных вод,  
 поз.4 – подача чистых промывных вод на промывку КЗФ, поз.5 – подача воздуха на  
 промывку фильтра 1- сборный желоб, 2- грубый фильтрующий слой, 3- фильтрующий  
 слой (гравийно-песочная загрузка), 4- гравийный каркас (гравий фракции 40-60мм, 5-  
 трубопровод подачи воздуха на продувку, 6- трубопровод подачи воды на продувку, 7-  
 трубопровод отвода фильтра

Рисунок 2 – Каркасно-засыпной фильтр (КЗФ)

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

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

В таблице 5 приведена гранулометрическая характеристика загрузки фильтрующих слоёв по высоте [25].

Таблица 5 – Гранулометрическая характеристика загрузки фильтрующих слоёв по высоте

№ слоя	Загрузка	Гранулометрическая характеристика загрузки, мм	Толщина слоя загрузки, м
1	2	3	4
1 Верхний (слой 2)	Гравий	40÷60	0,3, не менее
2 Фильтрующий (слой 3)	Гравий	5÷20	0,2
	Гидроантрацит-А	1,3÷3,5	0,1
	Песок кварцевый или ОДМ-2Ф	0,8÷1,2	0,5, не менее
	или ОДМ-2Ф	0,8÷1,2	0,8, не менее
	или цеолит	1,0÷3,0	0,4, не менее
3 Поддерживающий (слой 4)	Гравий	40÷60	0,3÷0,5

Нижний слой гравия фракции от 40 до 60 мм (слой 4) является поддерживающим. Он создаёт каркас, способствующий более равномерному распределению воды по живому сечению фильтра, а также препятствует перемещению слоёв при промывке [15]. Основную фильтрующую функцию выполняет сорбционный фильтрующий слой, который может состоять из: гидроантрацита-А и цеолита; гидроантрацита-А и ОДМ-2Ф; или гравийно-песчаной смеси.

Верхний слой гравия (слой 2) фракции от 40 до 60 мм препятствует образованию плёнки и играет роль предварительного грубого фильтра. Общая высота загрузки фильтра составляет от 1,8 до 2,0 м.

При работе фильтров возникает необходимость в периодической регенерации фильтрующего слоя. Критерием выключения фильтра на регенерацию являются предельные потери напора или увеличение содержания загрязнений в профильтрованной воде [14, 15-20]. Регенерация фильтрующего слоя, производится обратным током воды повышенной интенсивности. При регенерации фильтрующего слоя закрывают задвижки поз.1, поз.2 на трубопроводах исходной сточной воды и фильтрованной воды и открывают задвижку поз.4 на трубопроводе промывной воды. Промывные

воды забираются из резервуара чистых промывных вод (сооружение 7) одним из насосов поз.39, 41 и подаются в фильтр через дренажную систему [14].

Промывка КЗФ проводится как водяная, так и водо-воздушная. Подаётся воздух для продувки фильтров с турбовоздуходувки поз.1÷3, расположенных в насосном отделении корпуса 5 в пределах 0 - 1600 м<sup>3</sup>/час.

КЗФ надёжны в работе, при скоростях фильтрования от 10 до 15 м/ч они обеспечивают эффективность очистки до 70 %. КЗФ имеют повышенную в сравнении с другими фильтрами грязеемкость, меньшие потери напора ( $H = 2 \div 3$  м вод. ст.) и хорошо регенерируемую загрузку.

### **2.2.8 Обеззараживание очищенной воды**

В процессе полной биологической очистки и доочистки сточных вод количество патогенных микроорганизмов в них существенно снижается [14]. Очищенные сточные воды все же содержат незначительное количество патогенных бактерий и вирусов, поэтому они подвергаются обеззараживанию гипохлоритом натрия после КФЗ. Это обеспечивает эпидемиологическую безопасность при отведении их в реку. Гипохлорит натрия обладает высокой степенью обеззараживания и снижения цветности воды. Установка для дезинфекции сточных вод гипохлоритом натрия находится в хлораторном отделении и состоит из следующих элементов [14]: насос-дозатор и ёмкость с раствором гипохлорита натрия.

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

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

Применение аэрации в контактных резервуарах позволяет подвергнуть дехлорированию обеззараживаемые сточные воды. В каждой из трёх секций контактного резервуара по сети разветвлённых труб производится барботаж воды воздухом, нагнетаемым турбовоздуходувками ТВ-80-1,8. Нормативное содержание остаточного активного хлора при сбросе очищенных, обеззараженных сточных вод в реку - 1,5 мг/дм<sup>3</sup>. Очищенные до нормативов и обеззараженные сточные воды с контактных резервуаров самотёком по береговому выпуску №1 поступают в реку [24].

### **2.2.9 Обработка осадка**

Для минерализации и уменьшения объёма осадок из резервуара сырого осадка подаётся в теплообменник в отделение стерилизации корпуса 12 [14].

Технология обработки осадков сточных вод предусматривает санитарное обеззараживание – «пастеризацию» сырого осадка путём его нагрева в теплообменнике поз.30 до температуры не менее 70 °С при времени теплового воздействия не менее 20 минут [14].

После теплообменника термически обработанный сырой осадок для дальнейшей стабилизации поступает в аэробный минерализатор (сооружение 10). Сущность аэробной стабилизации - аэробное окисление биологически доступных органических веществ, осадков и самоокисление бактериальной массы. Аэробной стабилизации подвергается не только сырой осадок, но и избыточный активный ил. Воздух в аэробный минерализатор нагнетается турбовоздуходувками и распределяется сетью перфорированных труб на дне аэробного минерализатора [2].

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

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

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

Иловые карты – инженерные сооружения для обезвоживания, обезвреживания и обеззараживания осадка в естественных условиях. 22 иловые карты занимают площадь 5 га, их вместимость - 40,8 тыс. м<sup>3</sup>. Дно карт заасфальтировано, оборудовано трубчатым дренажем, который заполнен щебнем и гравием. Расстояние между дренажными канавами равно 4 метрам, начальная глубина канавы 1,75 м с уклоном 0,001 [14].

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

#### **2.2.10 Теплоснабжение цеха**

Тепловой пункт, расположенный в корпусе 12, предназначен для теплоснабжения отделения промышленно-сточных вод [14]. Источником тепла является пар от Кизеловской ГРЭС-3.

Пар в количестве до 1300 кг/ч поступает в цех ПСВ от центральной магистрали Кизеловской ГРЭС-3 с давлением 1,4 МПа (14 кгс/см<sup>2</sup>) и температурой 320 °С.

Пар используется: на технологические нужды отделения ПСВ (тепловую обработку сырого осадка); на нужды отопления корпусов отделения ПСВ; на горячее водоснабжение отделения ПСВ.

Конденсат пара в количестве от 35 до 79% накапливается в конденсатном баке поз.35. Насосом ВК 2/26 поз.9 или насосом ВК 4/24 поз.10 откачивается в центральную магистраль, идущую из города Санкт-Петербурга на ГРЭС-3 [14].

Вода на хозяйственные нужды цеха поступает из скважины, находящейся на территории цеха, перекачивается глубинным насосом, производительностью 6,3 м<sup>3</sup>/ч в резервуар хозяйственно-питьевой воды объёмом 200 м<sup>3</sup>. Из резервуара вода забирается насосом поз.5, 12 корпуса 12 и перекачивается по сетям производственно-хозяйственного назначения.

Промывка и очистка резервуара производится с периодичностью 1 раз в год. Основные технологические параметры работы установки биологической очистки приведены в таблице 6 [14].

Таблица 6 – Основные технологические параметры работы

Наименование технологического параметра работы	Единицы измерения	Нормативный показатель работы
1	2	3
Среднесуточный приток сточных вод	м <sup>3</sup> /сут	не более 31620
Количество блоков ёмкостных сооружений в работе	шт.	2
Общий объем работающих аэротенков	м <sup>3</sup>	5832
Количество первичных отстойников в работе	шт.	4
Время пребывания сточных вод в первичных отстойниках	мин	не менее 28 мин
Эффективность работы первичных отстойников	%	20÷40
Интенсивность аэрации в аэротенках	м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	не более 10,6
Средняя доза ила	г/дм <sup>3</sup>	не менее 2,4
Период аэрации сточных вод	час	5÷10
Прирост активного ила	мг/дм <sup>3</sup>	150
Возраст активного ила	сут	6÷10
Расход воздуха на 1 кг снятого БПК (в аэротенках)	м <sup>3</sup> /кг	не более 56
Расход воздуха (общий) на 1 м <sup>3</sup> очищенной сточной воды	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	15÷20

## Продолжение таблицы 6

Удельная нагрузка по БПК5 на 1 м3 аэротенка	г/м3 в сутки	не более 1000
Удельная нагрузка по БПК5 на 1 г беззольного вещества активного ила	мг/г в сутки	375
Удельная скорость окисления загрязняющих веществ	мг/(г·ч)	15,9
Окислительная мощность аэротенков по БПК5	кг/м3 в сутки	0,828

### 2.3 Обоснование оптимизации оборудования

Степень загрязнения сточных вод определяется количеством загрязняющих веществ ( $\alpha$ , г/сут). В соответствии с таблицей 4, очищенная сточная вода превышает установленное ПДК для сброса в водный объект (р. Нева) по таким показателям: взвешенные вещества, метанол, формальдегид, нитрит-ион, нитрат-ион и аммоний-ион. По данным источника [8] при глубоком удалении взвешенных веществ в поступающей сточной воде, повышается глубина очистки всего потока сточной воды. Поэтому, в данной работе для повышения степени очистки необходимо снижение взвешенных веществ в поступающей сточной воде.

Концентрация загрязнений сточных вод ( $C$ , мг/л или г/м<sup>3</sup>) вычисляется с учетом удельного водоотведения по формуле (25) [15-20]:

$$C = \frac{\alpha \cdot 1000}{q_0} \quad (25)$$

где  $\alpha$  – количество загрязняющих веществ, г/сут;

$q_0$  – норма водоотведения, л/сут.

Определяем концентрацию загрязнений сточных вод по взвешенным веществам [15-20]:

$$C_{\text{ВВ}} = \frac{65 \cdot 1000}{350} = 185,71 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Определяем концентрацию загрязнений сточных вод по БПК<sub>полн</sub> для неосветленной жидкости:

$$C_{\text{БПК}}^{\text{Н}} = \frac{75 \cdot 1000}{250} = 300 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Определяем концентрацию загрязнений сточных вод по БПК<sub>полн</sub> для осветленной жидкости [15-20]:

$$C_{\text{БПК}}^{\text{О}} = \frac{40 \cdot 1000}{250} = 160 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Определяем концентрацию загрязнений азот аммонийных солей:

$$C_{\text{БПК}}^{\text{ААС}} = \frac{8 \cdot 1000}{250} = 32 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Определяем концентрацию загрязнений фосфатов:

$$C_{\text{БПК}}^{\text{Ф}} = \frac{3,3 \cdot 1000}{250} = 13,2 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Определяем концентрацию загрязнений от моющих веществ:

$$C_{\text{БПК}}^{\text{М}} = \frac{1,6 \cdot 1000}{250} = 6,4 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Определяем концентрацию загрязнений хлоридов:

$$C_{\text{БПК}}^{\text{Х}} = \frac{9 \cdot 1000}{250} = 36 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Определяем концентрацию загрязнений синтетических поверхностно-активных веществ [15-20]:

$$C_{\text{БПК}}^{\text{СПАВ}} = \frac{2,5 \cdot 1000}{250} = 10 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 7.

Таблица 7 – Концентрация загрязнений сточных вод

Показатель	Кол-во загрязняющих веществ, а, г/сут	Концентрация загрязнений, С, мг/л или г/м <sup>3</sup>
1	2	3
Взвешенные вещества	65	260
БПК <sub>полн</sub> неосветленно жидкости	75	300
БПК <sub>полн</sub> осветленной жидкости	40	160
Азот аммонийных солей N	8	32
Фосфаты P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,3	13,2
В том числе от моющих в-в	1,6	6,4
Хлориды Cl	9	36
СПАВ	2,5	10

Средняя концентрация смеси вод сточных производственных вод предприятий определяется по:

- взвешенным веществам;
- БПК<sub>полн</sub> для неосветленной жидкости;

и вычисляется по формуле (26) [15-20]:

$$C_{\text{см}} = \frac{\sum(C \times Q^{\text{X-Б}}) + \sum(C^{\text{nn}} \times Q^{\text{nn}})}{\sum Q^{\text{X-Б}}} \quad (26)$$

где С – концентрация загрязняющих веществ, мг/л (г/м<sup>3</sup>);

Q – среднесуточный расход производственных сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Определяем концентрацию смеси сточных вод по взвешенным веществам [15-20]:

$$C_{\text{ВВ}}^{\text{СМ}} = \frac{((260 \cdot 15575)_1 + (216,67 \cdot 9720)_2 + (185,71 \cdot 20300)_3)}{45595} + \frac{((275 \cdot 1200)_1 + (310 \cdot 2580)_2 + (250 \cdot 1240)_3)}{6020}$$

$$= 284,78 \frac{\text{г}}{\text{м}^3} \text{ или мг/л}$$

Определяем концентрацию смеси сточных вод по БПК<sub>полн</sub> для неосветленной жидкости [15-20]:

$$C_{\text{БМК}}^{\text{СМ(Н)}} = \frac{((300 \cdot 15575)_1 + (250 \cdot 9720)_2 + (214,29 \cdot 20300)_3)}{45595} + \frac{((450 \cdot 1200)_1 + (620 \cdot 2580)_2 + (580 \cdot 1240)_3)}{6020}$$

$$= 289,26 \text{ г/м}^3 \text{ или мг/л}$$

Результаты расчета концентрации смеси сточных вод приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Концентрация смеси сточных вод, поступающих на КОС, г/м<sup>3</sup>

Вид загрязнения	В промышленных СВ			В смеси СВ поступающих на КОС
	1 пп	2 пп	3 пп	
1	2	3	4	5
Взвешенные вещества	275	310	250	284,78
БПК <sub>полн</sub> неосветленной жидкости	450	620	580	551,54
БПК <sub>полн</sub> осветленной жидкости	-	-	-	133,96

Осадок сточных вод – жидкий отход производства очистных сооружений, пастеризованный в теплообменнике, прошедший аэробную

стабилизацию в аэробном минерализаторе, подсушенный в естественных условиях на иловых картах относится к V классу опасности отходов (практически неопасный отход).

Концентрация загрязнений, мг/л или г/м<sup>3</sup>, по взвешенным веществам и по БПК<sub>полн</sub> (для неосветленной жидкости) равна в сточных водах 275 и 450.

Вывод по разделу: Сравнивая таблицы 1 и 8 можно сделать вывод, что в поступающих сточных водах превышает оптимальный уровень допустимого загрязнения по взвешенным веществам. Для снижения взвешенных веществ требуется установка дополнительного оборудования или применение реагентов для очистки от взвешенных веществ до ступени биологической очистки. К таким реагентам относятся флокулянты марки Праестол [21].

### 3 Оптимизация технологического оборудования объекта

#### 3.1 Выбор и обоснование технологического оборудования

Ввиду того, что ранее в частях 2 и 3, было выявлено, что для достижения показателей очистки сточных вод необходимо снижение взвешенных веществ в поступающей сточной воде.

В соответствии с НДТ ИТС 8 [23], для очистки сточных вод от взвешенных веществ большинство предприятий применяют механические методы с коагулированием и флокулированием: процеживание, отстаивание, гидроциклонирование, центрифугирование, флотацию, фильтрование.

В нашем случае необходимо и достаточно использования реагентов для повышения глубины очистки при от взвешенных веществ в поступающих сточных водах, это позволит снизить их после отстаивания, а вместе с тем и БПК осветленной воды, при этом снизится нагрузка на очистные сооружения и повысится очистка от остальных растворенных загрязнителей.

При использовании реагентов необходимо установка дополнительного оборудования – растворной и дозирочной станции, которые можно приобрести в любой компании, поставляющих водоочистное оборудование.

Для очистки от взвешенных веществ рекомендовано в [21] использование современного флокулянта Praestol-650-TR, эффективная доза которого составляет 20-30 мг/дм<sup>3</sup> и позволяет очищать поступающую сточную воду до содержания взвешенных не более 50 мг/дм<sup>3</sup>.

Характеристика Praestol-650-TR [22]. Продукты PRAESTOL – органические, синтетические и высокомолекулярные флокулянты на основе полиакриламида. Полиакриламид катионный, катионный полиэлектролит, сополимер акриламида, с (2-акриламидопропил) триметиламмоний хлоридом.

«Химический состав: Высокомолекулярный электролит катионной, анионной или неионогенной активности на основе акриламида и катионного или анионного сомономера. Флокулянты PRAESTOL пригодны для любых технологических операций, включающих разделение твердой и жидкой фазы – очистка, осветление, сгущение, обезвоживание.

Поставляемая форма: Белый гранулят. Выпускается по ТУ 2216-001-40910172-98 Флокулянт Праестол.

Область применения: в качестве флокулянтов для обработки сточных вод и обезвоживания осадков сточных вод предприятий машиностроения, металлургии, горнодобывающих, горноперерабатывающих, целлюлозно-бумажных, включая производства картона и бумаги, нефтяной, химической промышленности и коммунальном хозяйстве.

Принцип действия: обмен между электрическими зарядами полимерных цепочек и поверхностными зарядами суспендированных частиц твердого вещества. Поверхности частиц дестабилизируются и становятся способными к коагуляции и флокуляции.

Применение и дозировка. Применяются в виде разбавленного раствора (от 0,05% до 0,5%). Приготовление концентрированного раствора (от 0,5% до 1%) производится равномерным размешиванием продукта в воде при температуре 15-20 °С. По прошествии 60 мин. раствор считается созревшим и готов к применению. При применении продуктов в качестве ускорителя процесса осаждения, флотации и др. достаточно всего лишь несколько грамм полимера на 1 м<sup>3</sup> очищаемой взвеси.

Принцип действия. Марки Праестол обладают в водном растворе реактивными группами, которые показывают сильное сродство к поверхностям суспендированных коллоидов или мелкодисперсных частиц в водно-дисперсных системах» [22].

В зависимости от ионогенности марок Праестол взаимодействия с частицами твердой фазы основаны на образовании водородных мостиков, как

это имеет место у неионогенных полимеров, или на электростатических взаимодействиях и обмене зарядами и вызываемой им дестабилизации поверхностей частиц; таким образом действуют анионные (или отрицательно заряженные) и катионные (или положительно заряженные) марки Праестол. Дестабилизация и соединение отдельных частиц ведет к образованию объемных, легко отделяемых от суспензии макрохлопьев [17].

«Решающим фактором оптимального действия флокулянтов Праестол являются таким образом действующие на поверхностях частиц потенциалы. Они зависят как от самих частиц, так и от окружающих условий, т.е. от ионной силы воды и зависящих от нее свойств, таких как рН, электрическая проводимость, жесткость и содержание поверхностно-активных веществ.

Реагенты Престол – полимерные вспомогательные средства флокуляции, в состоянии флокулировать частицы твердых веществ и коллоиды, а также гидроксиды и бактериальные массы. Во флокулированном состоянии твердые вещества могут быстро и полностью отделяться от кружащей воды. Реагенты Праестол не применяются для выделения из воды растворенных составных веществ.

Реагенты Праестол действуют в широком диапазоне рН от 1 до 14, они эффективны как в слабых электролитсодержащих системах, так и вплоть до насыщенных солевых растворов, работают во всем температурном диапазоне, в котором "водная суспензия является жидкой", т.е. от прибл. 0<sup>0</sup> С до 100<sup>0</sup> С» [21].

Используя флокулянт Праестол в схеме перед отстойниками позволит снизить взвешенные вещества после отстаивания, а вместе с ними и БПК осветленной воды, тем самым уменьшится нагрузка на очистные сооружения и повысится очистка от остальных растворенных загрязнителей.

В соответствии с НДТ ИТС 8 [23], для очистки сточных вод от взвешенных веществ большинство предприятий применяют механические

методы с коагулированием и флокулированием: процеживание, отстаивание, гидроциклонирование, центрифугирование, флотацию, фильтрование.

Для снижения содержания взвешенных веществ может быть использовано: изменение конструкции оборудования для отстаивания, внесение изменений в существующее оборудование или применение реагентной обработки для повышения эффективности отстаивания.

На рисунке 3 приведена схема механической очистки поступающих сточных вод. Для выделения грубых крупнодисперсных частиц загрязняющих веществ, а также попавшего в воду мусора установлены решётки с ручным съёмом задержанных веществ.

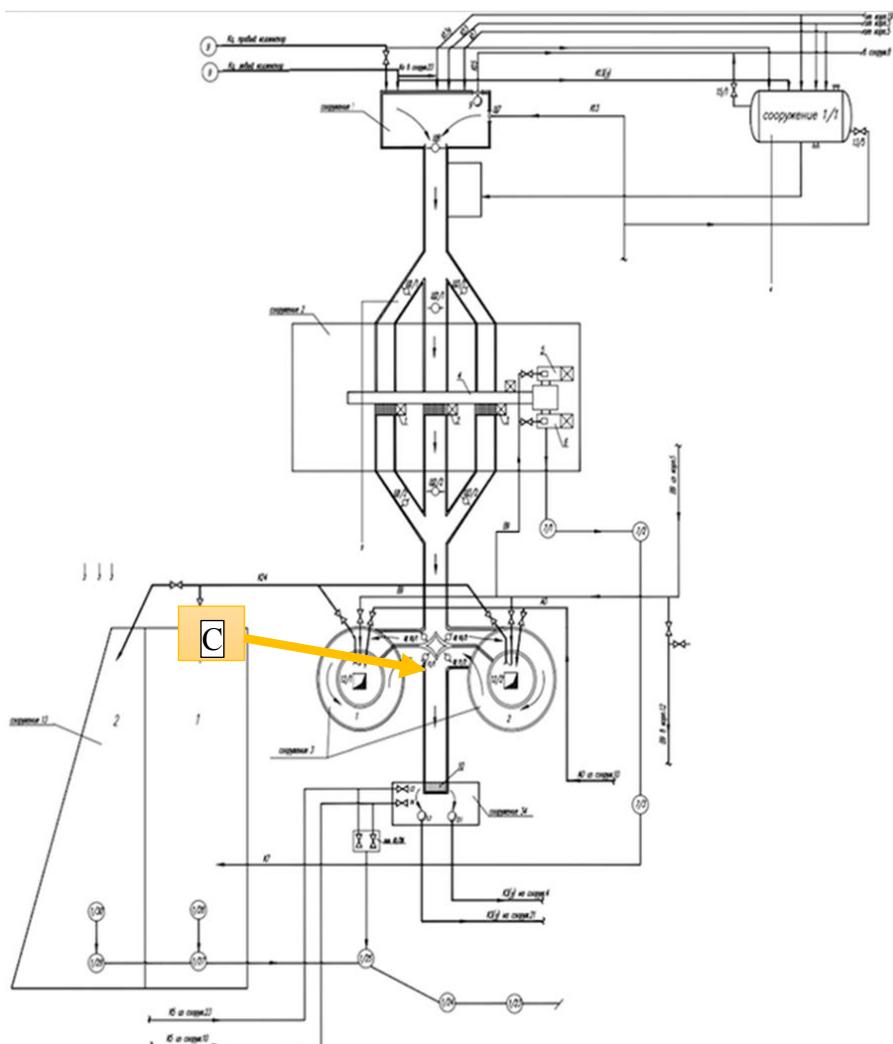


Рисунок 3 – Сооружения механической очистки сточных вод

Мелкодисперсные взвешенные загрязняющие вещества удаляются в песколовках и в отстойниках. Эффективность выделения взвешенных веществ в отстойниках зависит от продолжительности отстаивания, поэтому отстойники оборудованы блоками тонкослойных пластин, что существенно сократило бы время отстаивания сточных вод [16].

На эффективность работы отстойников существенно влияет крупность взвешенных веществ, чем крупнее, тем быстрее осаждаются. Поэтому для повышения эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ можно рекомендовать использование реагентов - коагулянтов и флокулянтов, которые будут способствовать осаждению благодаря своему собирательному действию и укрупнению взвешенных веществ.

### **3.2 Описание конструкции и принципа работы оборудования**

Механическая очистка – это важный этап очистки поступающих сточных вод, заключающийся в выделении грубодисперсных примесей, которые имеют как минеральную, так и органическую природу. Механическую очистку используют как предварительный этап биологической очистки, и подразделяют на грубую и тонкую.

Сооружения грубой механической очистки устанавливаются на входе перед очистными. К таким сооружениям относят решетки. На решетках удаляются крупный мусор, это тряпки, ветки и листва деревьев, а также различный мусор, попадающий в коллектор канализации с ливневыми водами [2-4, 24-25]. К сооружениям тонкой механической очистки относят песколовки и первичные отстойники. В них происходит удаление мелкодисперсного мусора: песок, грунт, мелкие частицы мусора, не удалившиеся на решетках.

Решетки и песколовки применяются различных конструкций [26-27].

Об эффективности используемого оборудования судят по массе удержанных отбросов и осажденного песка. В источнике [28] сказано, что не рекомендуется дробить отходы на входе на очистные сооружения, так как это приводит к увеличению сброса частиц мусора с очищенной водой, что согласуется с приведенными доводами в [8]. На Юго-Западных очистных сооружениях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», отвечающие за механическую очистку вод представлены на рисунке 3. Полная технологическая схема с обозначением очистных сооружений представлена в Приложении 3.

Высокоэффективным методом очистки от мелких частиц, загрязняющих сточные воды является отстаивание. Осаждение взвешенных веществ при отстаивании происходит при ламинарном режиме движения жидкости, течение которой происходит со скоростями от 0,1 до 0,2 м/с, то есть при ламинарном режиме [29-32]. Скорость работы полностью зависит от степени загрязнения и энергоёмкость оборудования.

Изменение скорости движения жидкости способствует осаждению частиц взвешенных веществ под действием силы тяжести. При механической очистке на этапах отстаивания и механической очистки эффективность очистки составляет более 50% [14].

На Юго-Западных очистных сооружениях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в процессе очистки вод от взвешенных веществ можно выделить следующие этапы и составить технологическую схему:

- Очистка от закупоривающих предметов происходит на решетках.
- Второй этап предполагает процеживание и удаление более мелких частиц, которые не были захвачены на решетках.
- Применить для улучшения отстаивания на существующих первичных отстойниках предварительную обработку флокулянтам Праестол. Реагент вводится в смешанный поток после песколовок в поток сточной воды. Место ввода реагента выбрано из условий смешения

потоков, в место, где происходит сжатие струи и соответственно, возникает зона турбулентности. Это позволит повысить эффективность смешения реагента с обрабатываемой сточной водой, и в дальнейшем - улучшение отстаивание от взвешенных веществ за счет укрупнения и агрегации мелкодисперсных частиц.

– Для ввода реагента предусмотреть установку дополнительного оборудования – станцию приготовления и дозирования реагента, приведенную на рисунке 4. Реагент готовится и непрерывно дозируется в поток сточной воды. Расход его задается оператором на дозирующем насосе.



Рис. 4 – Станция приготовления и дозирования реагента

Описание работы станции приготовления и дозирования реагента.

Станция приготовления реагента состоит из трех секций:

- секция растворения реагента;
- секция созревания реагента;
- секция готового раствора реагента.

Перед включением установки в бункер сухого вещества засыпается товарный реагент. Из бункера реагент подается шнековым дозатором в секцию растворения, после чего автоматически включается устройство перемешивания [3]. Раствор из первой секции направляется в камеру созревания, где происходит дальнейшее перемешивание и полное растворение реагента в воде. После созревания полностью готовый к применению раствор направляется в секцию готового реагента, откуда осуществляется забор насосом-дозатором к потребителю.

Расход реагента (Praestol-650-TR [21]). Дозирование 20-30 мг/дм<sup>3</sup>.

Расход в час для потока сточной воды из мощности производства – 14400 м<sup>3</sup>/сут.: 600 м<sup>3</sup>/час.

Расход в час:  $(20 \div 30) \times 600 \times 10^{-6} = 0,012 \div 0,018$  кг/час.

Расход в сутки:  $(0,012 \div 0,018) \times 24 = 0,288 \div 0,432$  кг/сутки.

Расход в месяц:  $(0,288 \div 0,432) \times 30 = 8,64 \div 12,96$  кг/месяц.

Расход в год:  $(0,288 \div 0,432) \times 365 = 105,12 \div 157,68$  кг/год.

Для приготовления 0,5%-ного концентрированного раствора необходимо использовать растворный бак объемом:

$$\frac{0,432}{0,5} = 0,864 \text{ м}^3.$$

Дозирование 0,5%-ного раствора в поток сточной воды составит:

$$\frac{0,864}{24} = 0,036 \text{ м}^3/\text{час или } 36 \text{ л/час.}$$

Таким образом, для приготовления и дозирования реагента установка должна быть объемом не менее 1 м<sup>3</sup> для обеспечения бесперебойной работы установки в течение 1 суток. Как правило, реагенты готовят на бесперебойную работу в течение 5-7 суток.

Для реагентной очистки поступающих сточных вод предлагается установка СНПР-5000 со следующими техническими характеристиками:

Производительность по готовому раствору – 5000 л.

Общий объем секции – 7500 л.

Габариты установки, LxVxH - 3545×1545×2195 мм.

Масса нетто/рабочая – 1230/7745 кг.

Состав дозирующей станции [33] приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Состав дозирующей станции и технические характеристики

Комплектующие	Технические характеристики комплектующих
Емкость трехсекционная: - Секция растворения, - Секция созревания, - Секция готового раствора	Емкостное оборудование — нержавеющая сталь (ALSI 304)
Шнековый дозатор	Бункер - нержавеющая сталь Шнек-нержавеющая сталь Электропривод Подогреватель
Трубопроводы и запорно - регулирующая арматура (ЗРА)	Трубопроводы – ПВХ/ПП/сталь Тип ЗРА – ручная/автоматическая
Мешалка	Мотор редуктор Ротор лопастной - нержавеющая сталь
Система автоматического управления	Шкаф управления Контроллер/реле
Контрольно - измерительные приборы	Манометры и ротаметры Сигнализаторы уровня

Вывод по разделу: Таким образом, при использовании реагентной обработки должно улучшиться отстаивание взвешенных веществ, и будет достигаться поставленная цель - снижается нагрузка на ступень биологической очистки и ожидаемо должна повыситься степень очистки от загрязнений. В первую очередь, при снижении нагрузки по взвешенным веществам, которые в биологическом процессе дают вторичное загрязнение продуктами полураспада загрязняющих веществ, оказывает влияние на глубину очистки сточных вод от аммонийного азота и его окисленных форм.

## 4 Технологические расчеты основного оборудования

### 4.1 Расчет решеток

«Решетки обязательно устанавливают после приемной камеры перед очистными сооружениями КОС.

К проектированию принимается неподвижная наклонная решетка с механизированными граблями (если количество улавливаемых загрязнений составляет более  $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ ). Расчетная схема решетки представлена на рисунке 3. Исходные данные для расчета решеток:

- расчет выполняется для одной решетки;
- максимальный расчетный расход равен  $0,834 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- принимаем решетку с шириной прозоров  $b = 20 \text{ мм}$ , со стержнями прямоугольной формы;
- число рабочих и резервных решеток принимаем  $n_p = 2 \text{ шт.}$ ,  $n_{рез} = 1 \text{ шт.}$
- скорость движения сточных вод в прозорах решетки при максимальном притоке принимается  $1,0 \text{ м/с}$ ;
- угол наклона решетки принимаем  $\alpha = 60^\circ$ .

Так как число рабочих решеток  $n_p = 2 \text{ шт.}$  и резервных решеток  $n_{рез} = 1 \text{ шт.}$ , значит подводящих каналов будет 3 шт., но постоянно использоваться будут только 2 канала. Все подводящие каналы будут иметь идентичные параметры, поэтому в таблице 10 приведены расчетные параметры одного подводящего канала» [20].

Таблица 10 – Расчетные параметры подводящего канала

Расчетные расходы, $q_{max}^p, м^3/с$	Скорость, $V, м/с$	Ширина, $B_K, м$	Глубина потока, $h_1, м$	Наполнение, $h_1/B_K$	Уклон канала, $i$
0,834	1	0,43	0,7	0,7	0,02

Подбор типовой решетки осуществляется по общему числу прозоров, и  $n_{пр}$ , шт и ширине  $B_r$ , мм, вычисляется формуле (27):

$$\omega = \frac{Q}{V} \quad (27)$$

Подставляем данные в формулу (27):

$$\omega = \frac{0,834}{1} = 0,83;$$

Число прозоров решетки  $n_{пр}$ , шт., определяется по формуле (28):

$$n_{пр} = \frac{q_{max}^p \times k_3}{b \times h_1 \times v_p} \quad (28)$$

где  $q_{max}^p$  – максимальный расчетный расход сточных вод,  $0,417 м^3/с$ ;

$b$  – ширина прозоров решетки,  $0,02 м$ ;

$h_1$  – глубина потока перед решеткой,  $0,7 м$ ;

$V_{расч}$  – средняя скорость потока в прозорах решетки,  $1,0 м/с$ ;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий стеснение потока сточных вод в прозорах решетки,  $1,05$ .

$n_{пр} = 31$  шт.

Общая ширина решетки  $B_r^{0Б}$ , м, определяется по формуле (29):

$$B_p^{0B} = S \times (n - 1) + b \times n \quad (29)$$

где  $S$  – толщина стержней решетки, 0,008 м;

$n$  – число прозоров (31 шт),  $B_p^{0B} = 0,86$ , м

По принятому числу рабочих решеток  $n_p = 2$  шт, определяется ширина одной решетки:

$$B_p = \frac{B_p^{0B}}{n_p} \quad (30)$$

Подставляем данные в формулу (30):

$$B_p = \frac{0,86}{2} = 0,43 \text{ м}$$

Зная ширину решетки и глубину потока, определяем площадь живого сечения потока,  $\omega$ , м по формуле (31):

$$\omega = h_1 \times B_p \quad (31)$$

$$\omega = 0,7 \times 0,43 = 0,30 \text{ м}^2$$

Принимаем две рабочие механизированные решетки марки размером МГ7Т 800 × 1400 и одну резервную решетку такого же типа, со следующими характеристиками:

- число прозоров равно 31 шт.;
- толщина стержня равна 8 мм;
- масса решетки 1342 кг.

Теперь, зная характеристики решетки ( $B_k = 0,43\text{ м}$ ), нам необходимо определить принятую нами глубину потока,  $h_1$ , м, по формуле (4.6):

$$h_1 = \frac{\omega}{Bk} \quad (32)$$

Проверка:

- по фактической скорости  $V_P^\Phi$ , м/с, которая должна быть в пределах 0,8-1,0 м/с;

- должно соблюдаться соотношение:  $F_{\text{ИР}} \geq 1,2 F_1$  (при механизированной очистке;

$$h_1 = 0,70 \text{ м}$$

Так как фактическая скорость движения воды равна 1 м/с, и это значение находится в пределах 0,8 - 1,0 м/с, то можно сделать вывод, что данный расчет выполнен верно.

Вес снимаемых отбросов  $P$ , т/сут, при объемном весе загрязнений 750 кг/м<sup>3</sup> и влажности 80 %, составляет:

$$P_{\text{сут}} = 0,75 \times W \quad (33)$$
$$P_{\text{сут}} = 0,75 \times 10,63 = 7,97\text{ т/сут}$$

Задержанные на решетках отбросы после обеззараживания вывозятся на свалку ТБО.

## 4.2 Расчет песколовков

Песколовки предназначены для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей (главным образом песка) и устанавливаются перед первичными отстойниками, а при наличии в составе очистных сооружений коммутаторов – перед ними.

Исходные данные для расчета песколовков:

– число рабочих песколовков (отделений), п, шт., принимаем равным 2, а также принимаем одно резервное отделение;

– максимальный расчетный расход в песколовках -  $0,817 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

– минимальный расчетный расход в песколовках,  $0,317 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

– глубина воды в подводящем канале при максимальном расходе  $0,7 \text{ м}$ ;

– диаметр задерживаемых частиц песка  $0,25 \text{ мм}$ ;

– гидравлическая крупность частиц песка,  $18,7 \text{ мм/с}$ ;

– скорость в песколовке при максимальном расходе,  $300 \text{ мм/с}$  ;

Определяем площадь живого сечения лотка,  $\omega$ , мм/с, которая составит:

Определяем вертикальную турбулентную составляющую продольной скорости,  $\omega$ , мм/с, которая составит по формуле (34):

$$\omega = 0,05 \times V_{max} \quad (34)$$

Подставляем данные в формулу (34):

$$\omega = 0,05 \times 300 = 15 \text{ мм}$$

Определяем общее количество удаляемого из песколовки осадка,  $W_{\text{вес}}$ , при его объемном весе  $1,5 \text{ м/сут}$ , по формуле (35):

$$W_{\text{вес}} = 1,5 \times W_{\text{общ}} \quad (35)$$

Подставляем данные в формулу (35):

$$W_{\text{вес}} = 1,5 \times 5,8 = 8,7 \text{ т/сут}$$

Потери напора при входе воды в песколовку, в среднем для горизонтальной песколовки составляют 10-15 см.

Расчеты показывают, что выбранная схема очистки сможет значительно сократить количество взвешенных веществ в сточной воде.

### 4.3 Расчет песковых площадок

Удаление песка в песколовке следует предусматривать:

- вручную – при его объеме  $< 0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;
- механическим или гидромеханическим способом с транспортированием его к приемке и последующим отводом за пределы песколовки гидроэлеваторами или песковыми насосами при количестве  $> 0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Годовое количество задержанного песка,  $W_{\text{год}}$ , рассчитываем по формуле (36):

$$W_{\text{год}} = \frac{P \times N_{\text{пр}}^{BB} \times 365}{1000} \quad (36)$$

где  $N_{\text{пр}}^{BB}$  - приведенное число по взвешенным веществам, 485020,00

$P$  - количество песка, задерживаемого в песколовках. Для бытовых сточных вод составляет 0,12 ч/сут.

Подставляем данные в формулу (36):

$$W_{\text{сут}} = \frac{0,12 \times 485020 \times 365}{1000} = 5,8 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Объем песка 5,8 м<sup>3</sup>/сут, это значит, что удаление его из песколовки необходимо проводить механическим или гидромеханическим способом. Вода, удаляемая с песковых площадок, возвращается в канал перед песколовками для последующей обработки.

#### 4.4 Расчет первичных отстойников

Первичные отстойники предназначены для предварительного осветления сточных вод перед их биологической очисткой, то есть выделения из нее нерастворимых веществ, находящихся во взвешенном состоянии.

В радиальных отстойниках скорость движения воды на половине радиуса, как правило, не превышает 5 мм/с. Далее определим размеры подводящих и отводящих трубопроводов и лотков.

Определяем максимальный секундный расход на один отстойник,  $q_{max}$  по формуле (37):

$$q_{max} = \frac{q_{max}}{n_p} \quad (37)$$

Подставляем данные в формулу (37):

$$q_{max} = \frac{0,817}{2} = 0,408 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для обеспечения скорости движения осадка в трубопроводе, должен быть установлен соответствующий перепад между уровнем воды в отстойнике и центром трубы в иловом колодце с учетом потерь напора в трубопроводе.

#### 4.5 Расчет эффективности очистки

Расчет эффективности очистки сточных вод заключается в проверке обеспечения расчетной степени очистки сточных вод,  $\mathcal{E}_{ВВ, \%}$  и  $\mathcal{E}_{БПК, \%}$ , сооружениями входящими в состав выбранной технологической схемы.

Решетки задерживают взвешенные и органические загрязнения. Содержание взвешенных  $C_{ВВ}^P$ , мг/л или г/м<sup>3</sup> и органических  $C_{БПК}^P$ , мг/л или г/м<sup>3</sup> веществ в сточной воде после решеток рассчитывается:

На решетках задержится:

- взвешенных веществ

$$C_{ВВ1} = 0,05 \times C_{ВВ}^{CM} = 0,05 \times 284,78 = 14,24 \text{ мг/л или г/м}^3$$

– органических веществ

$$C_{БПК1} = 0,05 \times C_{БПК}^{CM} = 0,05 \times 551,54 = 27,58 \text{ мг/л или г/м}^3$$

После решеток в воде остается:

– взвешенных веществ

$$C_{ВВ}^P = C_{ВВ}^{CM} - C_{ВВ1} = 284,78 - 14,24 = 270,54 \text{ мг/л или г/м}^3$$

- органических веществ

$$C_{БПК}^P = C_{БПК}^{CM} - C_{БПК1} = 551,54 - 27,58 = 523,96 \text{ мг/л или г/м}^3$$

Фактический эффект осветления воды на решетках по взвешенным веществам,  $\mathcal{E}_{Ф.ВВ, \%}^P$ , составит по формуле (38):

$$\mathcal{E}_{\text{ф.ВВ}}^{\text{р}} = \frac{100 \times (C_{\text{ВВ}}^{\text{СМ}} - C_{\text{ВВ}}^{\text{р}})}{C_{\text{ВВ}}^{\text{СМ}}}; \quad (38)$$

Подставляем данные в формулу (38):

$$\mathcal{E}_{\text{ф.ВВ}}^{\text{р}} = \frac{100 \times (284,78 - 270,54)}{284,78} = 4,9 \%;$$

Фактический эффект осветления воды на решетках по органическим веществам,  $\mathcal{E}_{\text{БПК, \%}}^{\text{р}}$ , составит по формуле (39):

$$\mathcal{E}_{\text{ф.БПК}}^{\text{р}} = \frac{100 \cdot (C_{\text{БПК}}^{\text{СМ}} - C_{\text{БПК}}^{\text{р}})}{C_{\text{БПК}}^{\text{СМ}}} \quad (39)$$

Подставляем данные в формулу (39):

$$\mathcal{E}_{\text{ф.БПК}}^{\text{р}} = \frac{100 \cdot (551,54 - 523,96)}{551,54} = 5\%$$

Песколовки задерживают  $\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{\text{п}} \approx 70\%$  минеральной взвеси, составляющей 42 % от общего количества взвешенных веществ, и органических веществ  $\mathcal{E}_{\text{БПК}}^{\text{п}} \approx 8\%$ . Содержание взвешенных веществ в сточных водах снизится до величины  $C_{\text{ВВ}}^{\text{п}}$  мг/л или г/м<sup>3</sup>, а органических – до  $C_{\text{БПК}}^{\text{п}}$  мг/л или г/м<sup>3</sup>.

В песколовках задержится:

– взвешенных веществ

$$C_{\text{ВВ2}} = 0,42 \times 0,7 \times C_{\text{ВВ}}^{\text{р}} = 0,42 \times 0,7 \times 270,54 = 79,54 \text{ мг/л или г/м}^3$$

– органических веществ

$$C_{\text{БПК}} = 0,08 \times C_{\text{БПК}}^{\text{P}} = 0,08 \times 523,96 = 41,92 \text{ мг/л или г/м}^3$$

После песколовки в воде останется:

– взвешенных веществ

$$C_{\text{ВВ}}^{\text{П}} = C_{\text{ВВ}}^{\text{P}} - C_{\text{ВВ}2} = 270,54 - 79,54 = 191 \text{ мг/л или г/м}^3$$

– органических веществ

$$C_{\text{БПК}}^{\text{П}} = C_{\text{БПК}}^{\text{P}} - C_{\text{БПК}2} = 523,96 - 41,92 = 482,04 \text{ мг/л или г/м}^3$$

Фактический эффект осветления воды в песколовке по взвешенным веществам,  $\mathcal{E}_{\text{Ф.ВВ}}^{\text{P}}, \%$ , составит по формуле (4.14):

$$\mathcal{E}_{\text{Ф.ВВ}}^{\text{П}} = \frac{100 \cdot (C_{\text{ВВ}}^{\text{P}} - C_{\text{ВВ}}^{\text{П}})}{C_{\text{ВВ}}^{\text{P}}} \quad (40)$$

Подставляем данные в формулу (40):

$$\mathcal{E}_{\text{Ф.ВВ}}^{\text{П}} = \frac{100 \cdot (270,54 - 191)}{270,54} = 29,4\%$$

Фактический эффект осветления воды в песколовке по органическим веществам,  $\mathcal{E}_{\text{БПК}}^{\text{P}}, \%$ , составит по формуле (41):

$$\mathcal{E}_{\text{Ф.БПК}}^{\text{П}} = \frac{100 \cdot (C_{\text{БПК}}^{\text{P}} - C_{\text{БПК}}^{\text{П}})}{C_{\text{БПК}}^{\text{P}}} \quad (41)$$

Подставляем данные в формулу (41):

$$\mathcal{E}_{\text{ф.БПК}}^{\text{п}} = \frac{100 \cdot (523,96 - 482,04)}{523,96} = 5\%$$

«Радиальные отстойники (первичные) задерживают до 60% взвешенных веществ (для радиального типа отстойников), и органических веществ 40%. После первичных отстойников содержание взвешенных и органических веществ в сточной воде составит соответственно  $C_{\text{ВВ}}^0$  и  $C_{\text{БПК}}^0$ , мг/л или г/м<sup>3</sup>. Величиной  $\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{0(1)}$  задаемся, при этом остаточная концентрация взвешенных веществ в осветленной воде не должна превышать 100 ÷ 150 мг/л или г/м<sup>3</sup>, во избежание повышения прироста активного ила (био пленки) в аэротенках (биофильтрах)» [19].

В первичных отстойниках задержится:

- взвешенных веществ

$$C_{\text{ВВЗ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{0(1)} \cdot C_{\text{ВВ}}^{\text{п}}}{100} \quad (42)$$

Подставляем данные в формулу (42):

$$C_{\text{ВВЗ}} = \frac{60 \cdot 191}{100} = 114,6 \text{ мг/л или г/м}^3$$

- органических веществ

$$C_{\text{БПКЗ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{БПК}}^{0(1)} \cdot C_{\text{БПК}}^{\text{п}}}{100} \quad (43)$$

Подставляем данные в формулу (43):

$$C_{\text{БПКз}} = \frac{40 \times 482,04}{100} = 192,82 \text{ мг/л или г/м}^3$$

После первичных отстойников останется:

– взвешенных веществ

$$C_{\text{ВВ}}^{0(1)} = C_{\text{ВВ}}^{\text{п}} - C_{\text{ВВз}} = 191 - 114,6 = 76,4 \text{ мг/л или г/м}^3$$

Значение  $C_{\text{ВВ}}^{0(1)} = 76,4 \text{ мг/л или г/м}^3$ , следовательно, остаточная концентрация взвешенных веществ не превышает допустимую величину  $100 \div 150 \text{ мг/л или г/м}^3$ .

- органических веществ

$$C_{\text{БПК}}^{0(1)} = C_{\text{БПК}}^{\text{п}} - C_{\text{БПКз}} = 482,04 - 192,82 = 289,22 \text{ мг/л или г/м}^3$$

Фактический эффект осветления воды в первичных отстойниках по взвешенным веществам,  $\mathcal{E}_{\text{ф.ВВ}}^{0(1)}$ , составит по формуле (44):

$$\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{0(1)} = \frac{100 \cdot (C_{\text{ВВ}}^{\text{п}} - C_{\text{ВВ}}^{0(1)})}{C_{\text{ВВ}}^{\text{п}}} \quad (44)$$

Подставляем данные в формулу (44):

$$\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{0(1)} = \frac{100 \cdot (191 - 76,4)}{191} = 60\%;$$

Фактический эффект осветления воды в первичных отстойниках по органическим веществам,  $\mathcal{E}_{\text{ф.БПК}}^{0(1)}$ , составит по формуле (45):

$$\mathcal{E}_{\text{БПК}}^{0(1)} = \frac{100 \cdot (C_{\text{БПК}}^{\text{п}} - C_{\text{БПК}}^{0(1)})}{C_{\text{БПК}}^{\text{р}}} \quad (45)$$

Подставляем данные в формулу (39):

$$\mathcal{E}_{\text{БПК}}^{0(1)} = \frac{100 \cdot (482,04 - 289,22)}{289,22} = 66,6\%;$$

Эффективность механической очистки  $\mathcal{E}^{\text{МО}}$ , % составит по формуле (46):

– по взвешенным веществам

$$\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{\text{МО}} = \mathcal{E}_{\text{ф.ВВ}}^{\text{р}} + \mathcal{E}_{\text{ф.ВВ}}^{\text{п}} + \mathcal{E}_{\text{ф.ВВ}}^{0(1)} \quad (46)$$

Подставляем данные в формулу (46):

$$\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{\text{МО}} = 5 + 29,4 + 60 = 94,4\%;$$

Необходимо, чтобы эффективность механической очистки по взвешенным веществам  $\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{\text{МО}}$ , % была больше чем необходимая степень очистки сточных вод, то есть  $\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{\text{МО}} > \mathcal{E}_{\text{ВВ}}$ , %.

В нашем случае:  $\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{\text{МО}} = 94,4\%$ ,  $\mathcal{E}_{\text{ВВ}} = 86,76\%$ , следовательно  $94,4 > 86,76$ , % ( $\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{\text{МО}} > \mathcal{E}_{\text{ВВ}}$  %).

Вывод по разделу: По результатам расчета очевидно, что очистка сточных вод от взвешенных веществ будет проходить эффективно. Поэтому, принятое решение по оптимизации очистки сточных вод от взвешенных веществ будет эффективным, что в свою очередь, позволит путем повышения глубины механической очистки достичь необходимой очистки от азота аммония и его окисленных форм.

## Заключение

В работе была рассмотрена и проанализирована работа установки очистки сточных вод Юго-Западных очистных сооружений ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», в результате чего были выявлены проблемы, связанные с не достижением глубины очистки сточных вод.

При анализе работы установки очистки промышленно-сточных вод, были выявлены технологические проблемы, связанные с превышением поступления взвешенных веществ, поступающих на биологическую очистку. Повышенное содержание взвешенных веществ в сточной воде снижает глубину очистки сточных вод от соединений азота аммония и его окисленных форм.

В результате проработки литературы были предложены возможные пути решения создавшейся проблемы, которые заключаются в реагентной обработке потока поступающей сточной воды и установке нового оборудования для дозирования реагента, позволяющего эффективно снизить взвешенные вещества в первичных отстойниках, тем самым уменьшить нагрузку на ступень биологической очистки по загрязняющим веществам и повысить ее эффективность.

Были выполнены технологические расчёты станции дозирования флокулянта, в частности рассчитана производительность и выбрана модель установки. Приведена схема механической очистки с местом установки дозирочной станции, приведено описание процесса приготовления и дозирования реагента. При рассчитана эффективность механической очистки от взвешенных веществ, которая составила 94,4%. При этом необходимая степень очистки сточных вод составляет не менее 86,76%. Таким образом, при внедрении дополнительной реагентной обработки потока промышленно-сточных вод достигается важнейшая экологическая задача, связанная с поступлением такого биогенного соединения, как азот.

## Список используемых источников

1. Амбросова Г.Т. Методические указания «Очистные сооружения канализации. Сооружения механической очистки» / Г.Т. Амбросова, В.В. Сбоева, Е.Л. Войтов. - Новосибирск: НГАСУ, 2001. – 54 с.
2. Барабаш А.В., Карпов К.А.; под общей редакцией Н.Н. Смирнова. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 84 с.
3. Баранов Д.А. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие / Д.А. Баранов. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 408 с.
4. Волков В.А. Теоретические основы охраны окружающей среды: учебное пособие / В.А. Волков. – С.-Пб.: Лань, 2015. – 256 с.
5. Ветошкин А.Г. Технические средства инженерной экологии: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 424 с.
6. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 304 с.
7. Воропаева Н.Ю., Шлёкова И.Ю. Интенсификация процесса денитрификации при биологической очистке сточных вод // Электронный научно методический журнал Омского ГАУ. – №2 (13), 2016.
8. Веригин А.Н. Машины и аппараты переработки дисперсных материалов. Основы проектирования: учебное пособие / А.Н. Веригин, В.С. Данильчук, Н.А. Незамаев; под редакцией А.Н. Веригина. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 536 с.
9. Гульшин И.А. Характеристика активного ила, осуществляющего процесс очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от соединений азота в аэрационных сооружениях циркуляционного типа при низких концентрациях растворенного кислорода. [Электронный ресурс]/ Гульшин И.А. // Инженерный вестник Дона. – №1. – 2019. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5681](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5681) (дата обращения 16.06.2022)

10. Дикаревский В.С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. Учебное пособие для вузов. / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев – Л.: Стройиздат, 1990 г. – 224с.

11. Довлатова Е.В. Алгоритмизация выбора технологических решений для предварительного формирования техзадания на проектирование КОС. / Е.В. Довлатова, Г.А. Самбурский, В.А. Шкаредо, А.В. Кветень // Наилучшие Доступные Технологии. – 2021. - №5. – с. 4 – 16.

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

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

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

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

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

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

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

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

20. Очистка городских сточных вод. Этап механической очистки. [Электронный ресурс]: тематическая статья. – URL: [https://prom-water.ru/company/baza\\_znaniy/rassylka\\_kompanii/ochistka\\_gorodskih\\_stochnyh\\_vod\\_ehtap\\_mehanicheskoy\\_ochistki/](https://prom-water.ru/company/baza_znaniy/rassylka_kompanii/ochistka_gorodskih_stochnyh_vod_ehtap_mehanicheskoy_ochistki/) (дата обращения 16.06.2022)

21. Патент. РСТ/RU2009/000471. WO2011031181A1. Способ биологической очистки сточных вод. 2011-03-17.

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

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

24. Смирнов Н.Н. Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов): учебное пособие / Н.Н. Смирнов.

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

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

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

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

29. Alcántara C., Domínguez J.M., García D., Blanco S., Pérez R., García-Encina P.A., Muñoz R. Evaluation of wastewater treatment in a novel anoxic-aerobic algal-bacterial photobioreactor with biomass recycling through carbon and nitrogen mass balances *Bioresour. Technol.*, 191 (2015), pp. 173-186, 10.1016

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

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

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

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