

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 Разработка технологического решения по снижению концентрации взвешенных
веществ на примере ООО «Автоград Водоканал»

Студент

Э.М. Бикмаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

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

Тольятти 2021

Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы: Разработка технологического решения по снижению концентрации взвешенных веществ на примере ООО «Автоград Водоканал».

Целью работы является повышение качества очистки сточных вод за счет усовершенствования существующего технологического процесса очистных сооружений ООО «Автоград Водоканал».

Задачи работы:

- проанализировать существующей технологической схемы механической очистки сточных вод и приведение протокола состава сточных вод;
- провести экспериментальные исследования направленные на определение количества загрязняющих веществ;
- разработать технологическое решение для повышения очистки сточных вод.

В первом разделе проведены анализ качества очистки сточных вод от взвешенных веществ на примере предприятия ООО «Автоград Водоканал».

Во втором разделе приведены анализ существующей схемы очистки сточных вод на предприятии ООО «Автоград Водоканал».

В третьем разделе приведена оптимизация работы очистных сооружений предприятия ООО «Автоград Водоканал».

В заключении приведены основные выводы о проделанной работе.

В приложении А приведены таблица унифицированных размеров первичных радиальных отстойников и таблица состава сточных вод на предприятии ООО «Автоград Водоканал».

Выпускная квалификационная работа изложена на 54 листах, включает 8 таблиц, 13 рисунков, список из 25 используемых источников. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка используемых источников и приложения.

Abstract

The title of the graduation work is "The development of a technological solution for reducing the concentration of suspended substances on the example of "Avtograd Vodokanal" LLC.

The graduation work consists of an explanatory note on 54 pages, including 13 figures, 8 tables, the list of 25 references including 5 foreign sources and 1 appendix.

The aim of the work is to improve the quality of waste water treatment by enhancing the existing technological process of treatment facilities of "Avtograd Vodokanal" LLC.

The object of the graduation work is treatment facilities of the company "Avtograd Vodokanal" LLC.

The subject of the graduation work is the sewage facilities of the mechanical stage of waste water treatment.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are a theoretical part, an experimental part, a calculation part.

In the first part of the project, the quality of waste water treatment from suspended substances is described in detail on the example of the company "Avtograd Vodokanal" LLC.

The second part of the project describes the qualitative analysis of wastewater of "Avtograd Vodokanal" LLC.

The results of the study showed that the adding thin-layer modules to the radial settling tanks can increase the efficiency of wastewater treatment, as well as increase the productivity of the radial settling tanks.

Содержание

Введение.....	6
1 Анализ качества очистки сточных вод от взвешенных веществ на примере предприятия ООО «Автоград Водоканал».....	8
1.1 Современные проблемы водоотведения.....	8
1.2 Систематизация природоохранной документации в области водоотведения.....	9
1.3 Станции очистки сточных вод.....	10
1.4 Существующие механические способы очистки сточных вод на предприятии «Автоград Водоканал»	11
1.4.1 Анализ первичных радиальных отстойников	14
2 Анализ существующей схемы очистки сточных вод на предприятии ООО «Автоград Водоканал».....	17
2.1 Экспериментальное исследование стоков на содержание взвешенных веществ.....	17
2.2 Технологический процесс очистки сточных вод предприятия ООО «Автоград Водоканал».....	24
3 Оптимизация работы очистных сооружений предприятия ООО «Автоград Водоканал».....	26
3.1 Предлагаемый способ очистки сточных вод на ООО «Автоград Водоканал».....	26
3.2 Расчет радиального отстойника.....	29
3.3 Расчет материального баланса для первичного радиального отстойника.....	34
3.4 Расчет материального баланса для первичного тонкослойного радиального отстойника	37
3.5 Математическая модель тонкослойного отстаивания.....	41
Заключение	49

Список используемой литературы и используемых источников.....	51
Приложение А Размеры отстойника и состав сточных вод на предприятии .	55

Введение

В современном мире развитие промышленности не могло ни отразиться на состоянии гидросферы и окружающей среды, в частности. В настоящее время загрязнение водной оболочки Земли происходит за счёт тесной взаимосвязи водных ресурсов и сфер деятельности человека.

Одним из ценнейших ресурсов на планете является вода, на долю которой приходится 2,54 % пресной воды от общих мировых запасов.

В бакалаврской работе рассматривается структура системы водоотведения г. о. Тольятти и мероприятия, нацеленные на модернизацию существующей системы очистки сточных вод.

Система водоотведения предназначена для сбора, транспортировки, очистки, обеззараживания сточных вод, которые поступают с населенных пунктов и предприятий города, сброса очищенной сточной воды в Саратовское водохранилище.

Увеличение показателей взвешенных веществ в воде характеризуется снижением прозрачности воды, снижением аэрации водоема и сорбированием других веществ, что сильно снижает качество воды.

Требования, предъявляемые к воде разного назначения, регламентируются специальными нормативными документами (ГОСТ, СанПиН, РД).

Актуальность данной работы заключается в том, что в настоящее время методы очистки промышленных и бытовых сточных вод, часто не удовлетворяют и не соответствуют современным экологическим требованиям.

Целью бакалаврской работы является повышение качества очистки сточных вод за счет усовершенствования существующего технологического процесса очистных сооружений ООО «Автоград Водоканал».

Объектом исследования являются очистные сооружения предприятия ООО «Автоград Водоканал».

Предметом исследования являются канализационные сооружения механической стадии очистки сточных вод.

Задачи работы:

– проанализировать существующей технологической схемы механической очистки сточных вод и приведение протокола состава сточных вод;

– провести экспериментальные исследования направленные на определение количества загрязняющих веществ;

– разработать технологическое решение для повышения очистки сточных вод с помощью проведения расчетов сооружений, составления математической модели отстаивания и материального баланса.

1 Анализ качества очистки сточных вод от взвешенных веществ на примере предприятия ООО «Автоград Водоканал»

1.1 Современные проблемы водоотведения

Очистка сточных вод – это мероприятие, которое занимает одно из самых важных ролей позволяющее снизить загрязнение источников водоснабжения.

Неблагоприятная экологическая обстановка, сложившаяся в нашей стране, требует увеличения качества очистки сточных вод. «Около половины, используемой человеком воды, становятся сточными водами и после далеко не всегда качественной очистки они сбрасываются в водные объекты» [6]. Определены жесткие условия к качеству сбрасываемых сточных вод в водоемы: содержание взвешенных веществ и БПК сточных вод должны находиться в пределах от 3 до 5 мг/л. Это можно осуществить только при интенсификации существующих сооружений очистки сточных вод. «На работу биологической и физико-химической очистки существенно влияет механическая очистка сточных вод, обычно осуществляемая на решетках, песколовках и отстойниках» [21]. Таким образом, с целью решения проблемы увеличения производительности и эффективности очистки сточных вод необходимо реконструировать существующие сооружения механической очистки.

Так же в приложении, представлена таблица А.1, которая описывает состав сточных вод на предприятии ООО «Автоград Водоканал», помимо этого, решение строительства нового моста через Волгу возле села Климовка обусловлено тем, что по проекту это должно способствовать решению транспортной проблемы заторов и пробок на дороге. В связи с этим выявлены проблемы, которые повлияют в первую очередь на физические показатели воды таких как мутность, цветность, содержание грубых примесей.

Следует вывод, что очистка сточных вод не удовлетворяет современным требованиям, становится очевидным необходимость повышения эффективности работы сооружений механической очистки сточных вод с учетом требований высокой эффективности.

1.2 Систематизация природоохранной документации в области водоотведения

«Требования, предъявляемые к очищенной сточной воде регламентируются в соответствии со следующими документами:

- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7–ФЗ;
- СанПиН 2.1.5.980–00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»;
- «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 №74–ФЗ (ред. От 29.07.2017);
- Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 №416–ФЗ» [9], [10].;
- Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 №552 «Об утверждении нормативов ПДК вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения, а также норматив качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения».

«Предприятие ООО «Автоград Водоканал» требует придерживаться постановления Правительства Самарской области от 05.02.2010 г. №254–п/1 «Об утверждении нормативов водоотведения (сброса) по составу сточных вод в системы канализации городского округа Тольятти» всех абонентов, отводящих сточные воды с системы канализации Автозаводского района» [19], [23].

1.3 Станции очистки сточных вод

Станция очистки сточных вод – это комплекс зданий, состоящих из очистных канализационных сооружений для обработки стоков.

Применяются для очистки стоков следующие основные блоки:

- механический блок – применяется с целью удаления со сточных вод органических, неорганических и минеральных соединений;
- биологический блок – применяется с целью удаления органических загрязнений обычно в аэробных сооружениях;
- обеззараживающий блок – применяется с целью дезинфекции сточных вод;
- блок аэрации – применяется с целью насыщения сточных вод кислородом;
- блок обработки осадка – применяется с целью обрабатывания осадков очистными сооружениями.

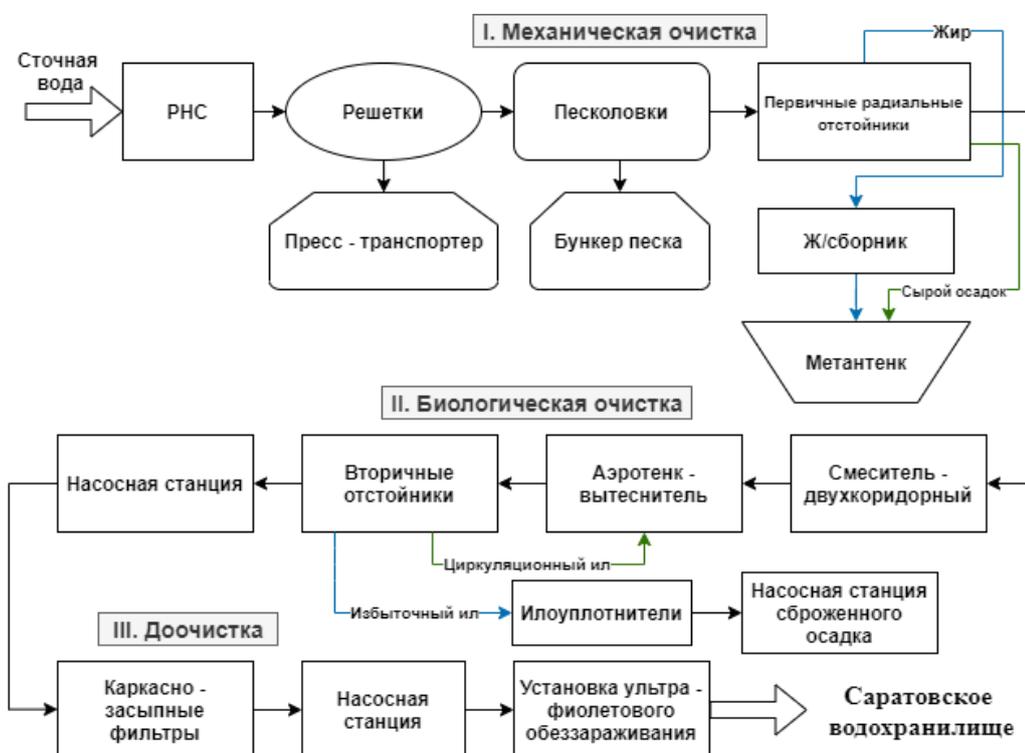


Рисунок 1 – Схема технологического процесса очистки сточных вод

В зависимости от видов загрязнений выбираются методы очистки вод согласно их исходной концентрации и нужной степени очистки.

1.4 Существующие механические способы очистки сточных вод на предприятии «Автоград Водоканал»

Сточные воды содержат в себе внушительное количество отходов – загрязняющих воду веществ. «Перед сбросом сточных вод в водоемы и водотоки они должны быть очищены в достаточной мере. Загрязняющие вещества в воде находятся в растворенном состоянии, либо в виде отдельных твердых, жидких или газообразных включений» [25]. Обычно комбинацией различных способов очистки обеспечивается необходимое качество сброса воды в водоемы. Один из этих способов, который стоит первым в технологической схеме является механическая очистка, а отстаивание является одним из процессов механического способа очистки.

Механический метод очистки считается основным методом разделения примесей и воды, очистка совершается при действии на них гравитационного поля. «Данный метод по–прежнему не утратил своей актуальности, хоть и является наиболее старым. Метод отличается от иных методов своей простотой и низкой стоимостью, он позволяет отделять взвешенные частицы и для этой цели применяют решетки и сита» [13].

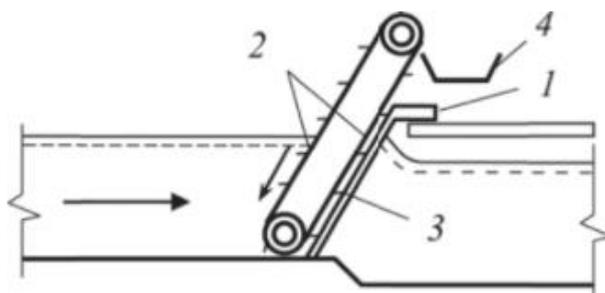
Для того чтобы освободить сточные воды от крупных плавающих взвесей, на РНС–1 предусмотрены механизированные стержневые решетки первой очереди в количестве 3 шт. с шириной прозоров 5 мм, типа РКЭн. «Они оборудованы движущимися граблями, пройдя через которые, сточные воды освобождаются от крупных плавающих отбросов таких как: бумага, пластик, тряпье, стекло, остатки пищи» [11].

Сбрасываются накопившиеся отбросы в шнековый транспортер данное действие реализовывается, благодаря движению вверх зубцов граблин входящие в прозоры между стрижнями решеток.

Для того, чтобы уменьшить влажность и объем задержанных веществ требуется провести их через процедуру прессования. Эти прессованные загрязнения далее транспортируются для хранения в контейнер. Образовавшиеся при отжиме дренажные воды самотеком сливаются в приямок, откуда дренажным насосом перекачиваются в канал перед песколовками.

В здании решеток №2 оборудованы механизированными стержневыми решетками второй очереди типа МГ-9Т с шириной прозоров 16 мм, а также шнековый транспортер и контейнеры для сбора отходов снятых с решеток.

Три раза в неделю образованные загрязнители в контейнерах первой и второй очереди решеток вывозятся автотранспортом лицензированной организацией на захоронение.



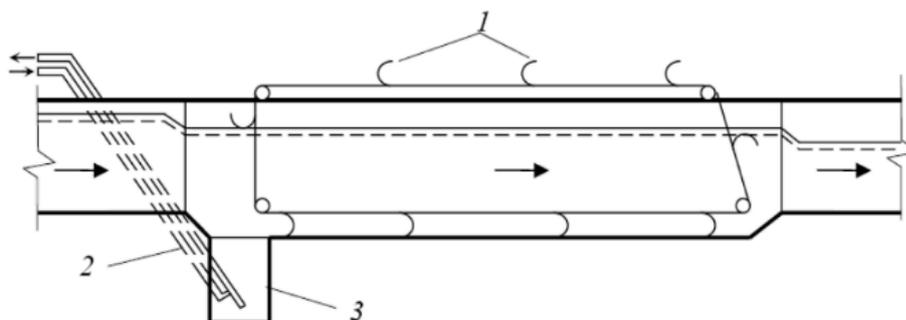
1– решетка; 2– бесконечная цепь; 3– граблины; 4 – конвейер

Рисунок 2 – Схема механизированной решетки

Сточные воды из здания решеток №1, удаленные от плавающих взвесей, направляются в горизонтальные песколовки с прямоточным движением воды первой очереди. Песколовки – это сооружения, используемые для выделения из сточных вод механических и минеральных примесей, главным образом песка.

«Габаритные размеры горизонтальной песколовки (Д×Ш×В) 20000×18710×1900 мм. Состоит из трех секций шириной по 6235 мм. В каждой

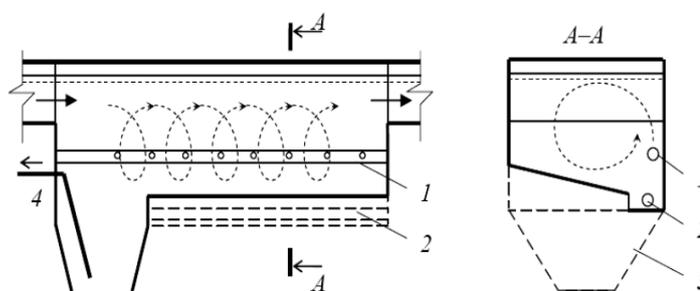
секции оборудованы скребковые механизмы, сгребающие осевший на дне песколовок песок и иные подобные минеральные загрязнения» [4]. В песколовках первой очереди при прямоточном движении воды скорость потока составляет от 0,15 до 0,3 м/с.



1 – цепной скребковый механизм; 2 – гидроэлеватор; 3 – бункер

Рисунок 3 – Схема горизонтальной песколовки

Сточные воды из здания решеток №2 движутся в аэрируемые песколовки с водоворотным движением воды. «Горизонтальная аэрируемая песколовка состоит из трех секций, оборудованных гидравлическим смывом песка. Песок и иные подобные ему минеральные загрязнения транспортируются в приямок, где они откачиваются гидроэлеватором в бункер хранения песка для промывки и обезвоживания» [2].



1 – аэраторы; 2 – песковый лоток; 3 – осадочная часть; 4 – гидроэлеватор

Рисунок 4 – Схема аэрируемой песколовки

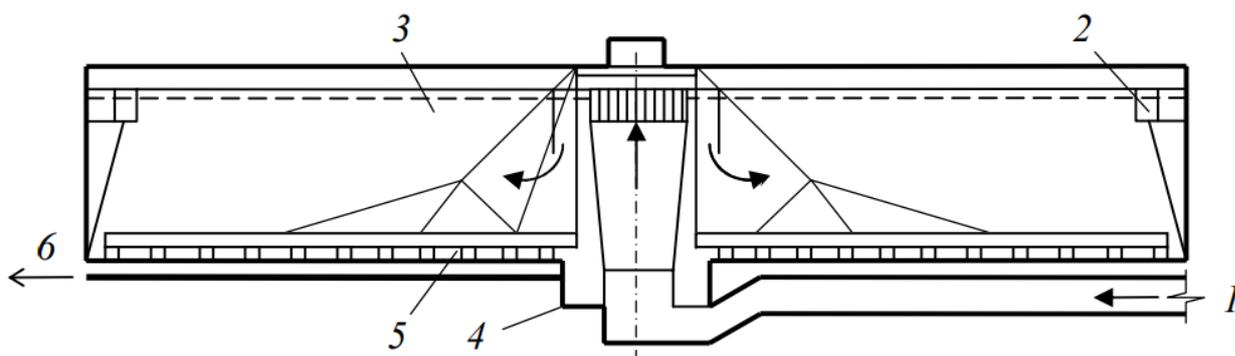
В песколовках второй очереди при водоворотном движении воды скорость потока составляет от 0,08 до 0,12 м/с. Если скорость потока больше, то мелкий песок не успевает осесть в песколовках, а будут осаждаться только крупные фракции песка.

«Принцип действия всех песколовков гравитационный, то есть тяжелые минеральные частицы, удельная масса которых больше удельной массы воды (гравий, песок, кости, уголь, бетон и т.п.), выпадают на дно» [8].

Применяются песколовки при расходе сточных вод более 100 м³/сут, а также для того, чтобы в последующих этапах очистки не возникали затруднения, связанные с удалением осадка из радиальных отстойников.

1.4.1 Анализ первичных радиальных отстойников

«Сточные воды, освобожденные от песка и крупных минеральных взвешенных частиц, подаются в центр отстойника и направляются радиально от центра к периферии. Скорость движения осветляемой воды изменяется от минимальных значений на периферии до максимальных в центре.



1—подача сточной воды; 2—сборный лоток; 3—отстойная зона; 4—иловый приямок; 5—скребковый механизм; 6—удаление осадка

Рисунок 5 – Первичный радиальный отстойник

Осевший на дно отстойника сырой осадок при помощи скребкового механизма сгребается к центральному приямку, откуда плунжерным насосом перекачиваются в метантенки для сбраживания» [16].

Полупогружной доской, подвешенной к ферме скребкового механизма, с поверхности воды отстойника собираются всплывающие вещества жиры и механические примеси, которые удаляются в жиросборники и по мере накопления перекачиваются плунжерными насосами в метантенки для сбраживания.

«Эффективность выпадения из сточных вод взвешенных веществ составляет от 40 до 45 %, влажность сырого осадка от 90 до 98 %, зольность не более 30 %, содержание песка в осадке от 5 до 8 %» [5].

Через установленный по окружности отстойника круговой водослив осветленные сточные воды сливаются в сборный лоток и движутся на биологическую очистку.

«Качество их эксплуатации оценивается по количеству взвешенных и оседающих веществ, влажности и зольности осадка, а также нефтепродуктов, поступающих в отстойник и осветленной воде. Первичные отстойники улавливают и органические вещества, уменьшая ХПК и БПК от 20 до 30 %. Эффективность очистки определяют по зависимости удаления взвешенных веществ от их первоначальной концентрации, продолжительности отстаивания и дисперсии» [3].

Если в сточной воде наблюдается высокая концентрация взвешенных веществ при поступлении в первичные отстойники, то в процессе отстаивания большая их часть изымается.

«Эффективность отстаивания сточных вод зависит от их характера. Большое содержание растворенных органических веществ в сточных водах характерно для городских сточных вод, при их очистке происходит снижение БПК не больше 20 %, а при отстаивании производственных сточных вод, которые содержат в себе большое количество осаждаемых примесей, увеличивается снижение БПК до 60 %. Поэтому при поступлении сточных вод

в первичные отстойники необходимо производить контроль с учетом соотношения между растворенными органическими и взвешенными веществами» [18].

Продолжительность отстаивания грубодисперсных примесей до выпадения их в осадок составляет от 1 до 1,5 ч. «Как правило первичные радиальные отстойники размещаются перед аэротенками и биофильтрами, при этом с отстойников не должно выноситься взвешенных веществ более 150 мг/л при продолжительности отстаивания 1,5 ч» [14]. Повышение этого времени до 2 ч, способствует увеличению осаждения взвешенных веществ от 5 до 10 %. «Дальнейшее отстаивание сточной воды не целесообразно, так как улучшение процесса осветления не происходит. Это стоит учитывать при увеличении количества отстойников на действующих сооружениях» [22].

Работу отстойников необходимо отрегулировать чтобы не допустить как перегрузки аэротенков загрязняющими веществами, так и недогрузки дабы предотвратить «голодание» активного ила. «Оптимальным считается вывод от 100 до 120 мг/л взвешенных веществ из первичных отстойников, в случае снижения активного ила в аэротенках от 60 до 80 мг/л последует недостаток питательных веществ вплоть до «голодания» ила, чтобы этого не допустить необходимо отключать часть отстойников или применить другой вариант, который заключается в подкармливание ила биодобавками» [15]. При повышенных температурах улавливание взвешенных веществ происходит эффективнее, именно поэтому эффективность первичного отстаивания в зимний период уменьшается на 20 %, а резкие же перепады температуры отрицательно сказываются на их работе.

На степень изъятия органических веществ из сточных вод влияет гидравлическая нагрузка, при ее увеличении уменьшается процент снижения БПК это препятствует уплотнению осадка и в следствии этого повышается мутность осветляемой воды. «Низкая гидравлическая нагрузка в первичных отстойниках затрудняет работу скребковых механизмов или илососов, так как осевшая взвесь избыточно уплотняется» [24].

2 Анализ существующей схемы очистки сточных вод на предприятии ООО «Автоград Водоканал»

2.1 Экспериментальное исследование стоков на содержание взвешенных веществ

Проведем экспериментальную часть с целью определения содержания взвешенных веществ в анализируемой пробе воды.

Взвешенные вещества – это вещества, которые содержатся в воде и осаждаются на бумажном фильтре при фильтровании пробы.

Определение количества взвешенных веществ в анализируемой пробе является основополагающим при осуществлении расчетов, проектировании и эксплуатации очистных сооружений.

На рисунке 6 приложены пробы воды, взятые до аэрируемых песколовков.

Осуществим два параллельных измерения для более точного определения количества взвешенных веществ.



Рисунок 6 – Пробы воды до аэрируемых песколовков

– По формуле (1) найдем содержание взвешенных веществ в двух пробах ВОДЫ:

$$C_i = \frac{m_{\phi+oc} - m_{\phi}}{V} \cdot 1000000 \quad (1)$$

$$C_1 = \frac{0,8980 - 0,8708}{100} \cdot 1000000 = 272 \text{ мг/л}$$

$$C_2 = \frac{0,9114 - 0,8851}{100} \cdot 1000000 = 263 \text{ мг/л}$$

– Найдем среднее количество содержания загрязняющего вещества по формуле (2):

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_1 + C_2}{2} \quad (2)$$

$$C_{\text{ср}} = \frac{272 + 263}{2} = 267,5 \text{ мг/л}$$

Определили, что до очистки воды в аэрируемых песколовках среднее содержание взвешенных веществ равна 267 мг/л.

После того, как определили показатель загрязнения до аэрируемых песколовок, осуществим следующие измерения, которые будут заключаться в определении показателя загрязнения после очистки воды в аэрируемых песколовках.



Рисунок 7 – Пробы воды после аэрируемых песколовков

– Найдем по формуле (1) определим содержание загрязняющего вещества:

$$C_3 = \frac{0,9225 - 0,9001}{100} \cdot 1000000 = 224 \text{ мг/л}$$

$$C_4 = \frac{0,9099 - 0,8882}{100} \cdot 1000000 = 217 \text{ мг/л}$$

– Среднее значение загрязняющего вещества найдем по формуле (2):

$$C_{\text{ср}} = \frac{224 + 217}{2} = 220,5 \text{ мг/л}$$

Конечные результаты проведения лабораторной работы представим в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования

Наименование	До аэротенков		После аэротенков	
V	100	100	100	100
m_{ϕ}	0,8776	0,8832	0,9001	0,8882
$m_{\phi+oc}$	0,8980	0,9114	0,9225	0,9099
№	1	2	3	4
$C_{в.в.}$	272	263	224	217
$C_{ср}$	267,5		220,5	

По данным экспериментальной части №1 проведем следующую экспериментальную работу, которая заключается в исследовании процесса осаждения в целях определения коэффициентов математического уравнения модели осаждения.



Рисунок 8 – Изучение процесса осаждения взвеси

В экспериментальной работе № 2 изучили процесс осаждения взвеси в тонком слое, а также зависимость эффективности от времени.

Для этого в широкий цилиндр внесли 10 см исследуемой воды и отбирали весь осветленный слой, в котором визуально отсутствовали взвешенные частицы через промежуток 3, 6, 9, 15, 30 мин.

Отобранные пробы исследовали на содержание взвешенных веществ, для чего через предварительно высушенный и взвешенный фильтр фильтровали известный объем пробы, фильтр с осадком сушили и взвешивали.

Зная изначальную концентрацию взвешенных веществ и концентрацию в момент времени, определяли эффективность очистки в каждый момент времени.

Полученные данные использовали для определения коэффициентов математической модели. Представим расчеты по проведенной работе:

– Найдем концентрацию взвешенных веществ для каждого измерения по формуле (3):

$$C_{в.в.i} = \frac{m_{\phi+ос} - m_{\phi}}{V} \cdot 1000000 \quad (3)$$

$$C_{в.в.3} = \frac{1,2897 - 1,2840}{39} \cdot 1000000 = 145 \text{ мг/л}$$

$$C_{в.в.6} = \frac{1,2979 - 1,2909}{50} \cdot 1000000 = 139 \text{ мг/л}$$

$$C_{в.в.9} = \frac{1,3190 - 1,3121}{50} \cdot 1000000 = 137 \text{ мг/л}$$

$$C_{в.в.15} = \frac{1,2941 - 1,2875}{50} \cdot 1000000 = 132 \text{ мг/л}$$

$$C_{в.в.30} = \frac{1,3059 - 1,2996}{50} \cdot 1000000 = 126 \text{ мг/л}$$

– Определим эффективность осаждения по каждому измерению по формуле (4):

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{ВВ}i}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

$$\mathcal{E} = \frac{220,5 - 145}{220,5} \cdot 100\% = 34 \%$$

$$\mathcal{E} = \frac{220,5 - 139}{220,5} \cdot 100\% = 36 \%$$

$$\mathcal{E} = \frac{220,5 - 137}{220,5} \cdot 100\% = 38 \%$$

$$\mathcal{E} = \frac{220,5 - 132}{220,5} \cdot 100\% = 40 \%$$

$$\mathcal{E} = \frac{220,5 - 126}{220,5} \cdot 100\% = 43 \%$$

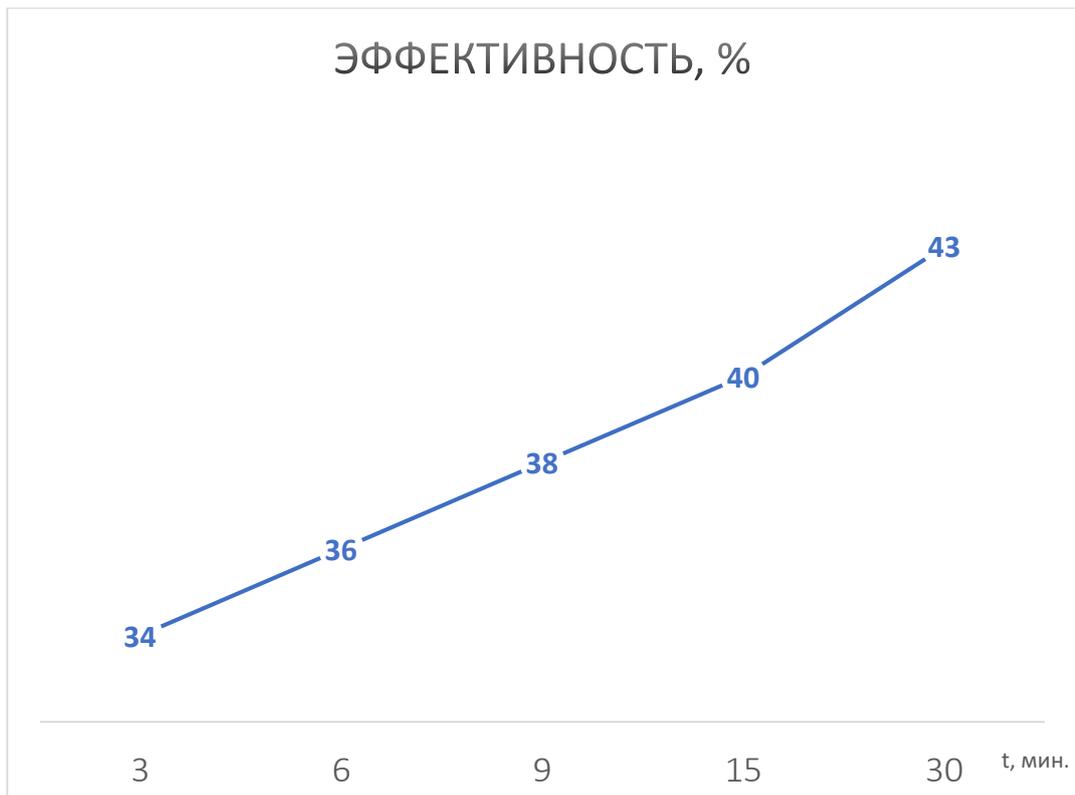


Рисунок 9 – Зависимость эффективности осаждения взвеси в тонком слое от времени

Конечные результаты приведем в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования

Обозначение	Значения				
	3	6	9	15	30
t	3	6	9	15	30
V	39	50	50	50	50
m _ф	1,2840	1,2909	1,3121	1,2875	1,2996
m _{ф+ос}	1,2897	1,2979	1,3190	1,2941	1,3059
C _{в.в.}	145	139	137	132	126
Э _i	34	36	38	40	43

Рекомендуемые значения t_i – 3, 6, 9, 15, 30 мин.

Время $t_{пр}$ целесообразно выбирать по максимально достижимому (предельному) эффекту осветления. Последний при тонкослойном осаждении взвеси для безреагентной очистки воды достигается при времени отстаивания $t = 30$ мин. При реагентном отстаивании это время обычно не превышает $t = t_{пр} \leq 10 - 15$ мин. «Практической время обработки воды в тонкослойных отстойниках, как правило, не превышает 30 мин, поэтому в общем случае вполне достаточно в лабораторных условиях получить кинетику осаждения на этот период времени» [8].

В ходе экспериментальных исследований были получены значения содержания взвешенных веществ в стоках предприятия ООО «Автоград Водоканал». Данные значения будут использоваться в целях составления материального баланса и в расчетах математической модели отстаивания.

2.2 Технологический процесс очистки сточных вод предприятия ООО «Автоград Водоканал»

Очистка стоков от взвешенных веществ осуществляется на первом этапе благодаря механической стадии очистки.

На рисунке 10 приведена существующая технологическая схема очистки сточных вод предприятия ООО «Автоград Водоканал».

В состав механической очистки входят следующие сооружения:

- приемная камера 2 шт;
- решетки дробилки 7 шт;
- горизонтальные песколовки 3 шт;
- аэрируемые песколовки 3 шт;
- первичные радиальные отстойники 4 шт.

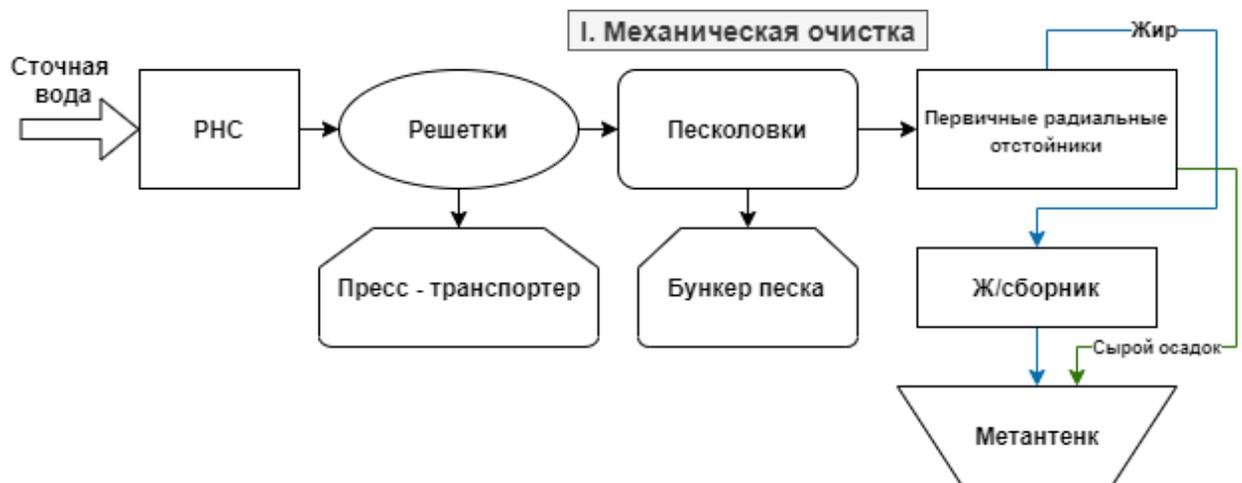


Рисунок 10 – Существующая технологическая схема механической очистки сточных вод

«По мимо механические очистки сточных вод в комплекс очистных сооружений входят:

- сооружения биологической очистки (смеситель, аэротенки – 7 шт, вторичные отстойники – 6 шт, воздуходувная станция);
- сооружения доочистки (безнапорные скорые фильтры – 16 шт и насосная станция);
- сооружения по обеззараживанию вод (хлораторная, станция ультрафиолетового обеззараживания – 14 машин);
- сооружения по обработке осадка (илоуплотнители – 2 шт, метантенки – 2 шт, иловые карты – 21 шт, 2 насосных станции)» [1].

3 Оптимизация работы очистных сооружений предприятия ООО «Автоград Водоканал»

3.1 Предлагаемый способ очистки сточных вод на ООО «Автоград Водоканал»

На стадии механической очистки предприятия ООО «Автоград Водоканал» сконструированы радиальные отстойники со временем отстаивания сточных вод от 1,5 до 2 часа. Для повышения эффективности действующих радиальных отстойников предлагается дополнить их тонкослойными элементами, которые направлены на снижение загрязнения сточных вод по взвешенным веществам. «Данное дополнение позволит удалять до 70% взвешенных веществ. Благодаря тонкослойным модулям можно добиться вполне значительных преимуществ в очистке сточных вод, а именно в разделении твердых веществ и жидкости» [20].

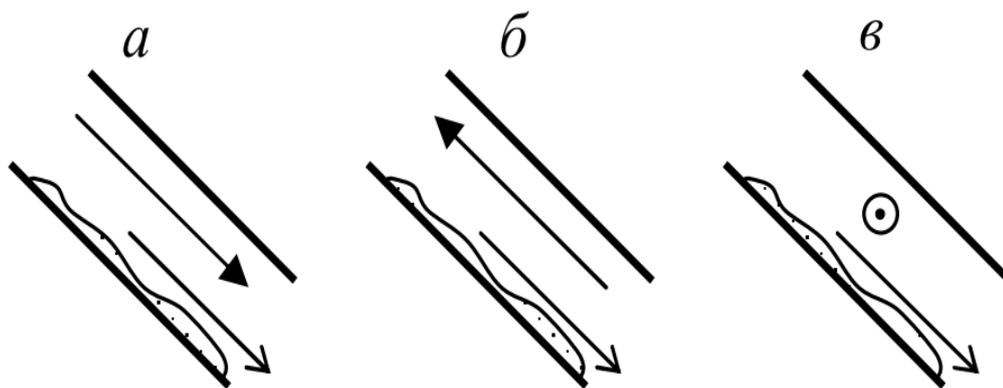
Увеличить результативность осветления удастся за счет снижения периода осаждения взвеси и гидродинамики осаждения.

Тонкослойные модули выпускаются в трех модификациях:

- прямоточная схема;
- противоточная схема;
- перекрестная схема.

«При прямоточной и противоточной схеме выделенный осадок движется по ходу движения сточных вод или в обратном направлении, а при перекрестной – соответственно движется перпендикулярно движению сточной воды» [12].

Более эффективное движение осветляемой воды и осадка происходит при противоточной схеме. При противоточном движении наблюдается более эффективная агломерация взвешенных частиц по сравнению с перекрестным и прямоточным. Блоки располагаются перед водосборным лотком.



а – прямоточная; б – противоточная; в – перекрестная

Рисунок 11 – Движение воды в тонком слое

Применение тонкослойных блоков из тонкослойных элементов является наиболее экономичным и при большинстве случаев единственным решением реконструкции существующих отстойников.

Реконструкция существующего отстойника обусловлена тем, что качество очистки и производительность сооружения не учитывает современные требования по водоотведению. На изображенной схеме 8 красным квадратом выделен участок, который нуждается в реконструкции.



Рисунок 12 – Предлагаемая технологическая схема очистки сточных вод

Весьма значительное воздействие на качество очистки тонкослойного отстойника оказывает угол наклона платин. В основном пластины выполняются из пластмассы. Угол наклона пластиночных блоков приравнивается от 45 до 60° , а высота яруса от $2,5$ до 20 см.

В технологической схеме первичные отстойники оборудуются перед биологической очисткой сточных вод. Данный тип отстойника проводит очистку от избыточного количества взвешенных веществ и примесей механического происхождения (песок).

Как уже отмечалось, наиболее перспективным направлением использования полученных в данной работе результатов является реконструкция действующих отстойных сооружений в тонкослойные с целью повышения эффекта очистки и производительности.

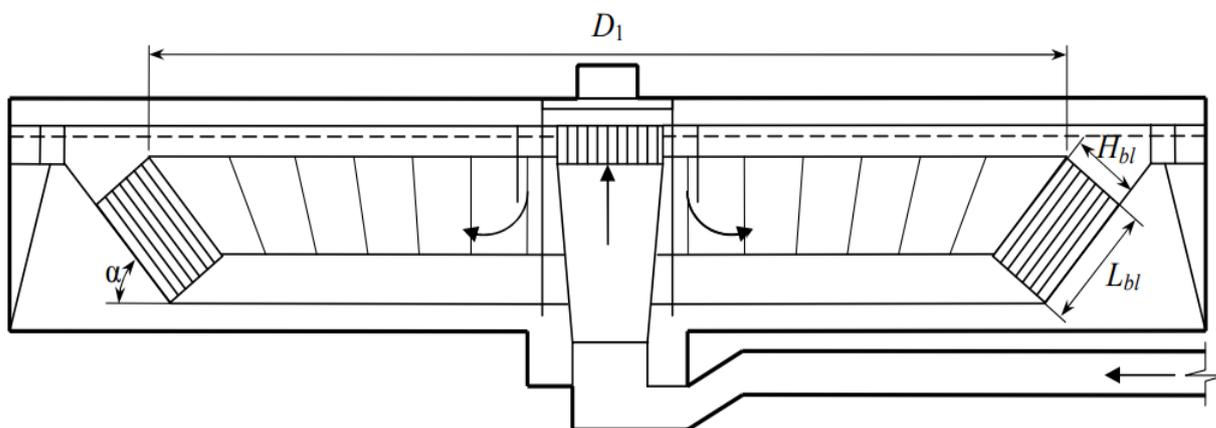


Рисунок 13 – Радиальный отстойник с тонкослойными модулями

«Тонкослойные модули позволяют значительно интенсифицировать процесс осаждения, от 20 до 30 % повысить эффект осветления» [11]. Полимерные тонкослойные модули сделаны из материала поливинилхлорид (ПФХ) создавая при этом подходящие требования для осаждения взвешенных частиц по более сокращенной траектории.

3.2 Расчет радиального отстойника

– Произведем расчет отстойника по эффекту осветления воды по формуле (5), %:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} \cdot 100 \quad (5)$$

где C_{en} – исходное количество взвешенных веществ, мг/л;

C_{ex} – количество взвешенных веществ после очистки, которая переходит на биологические сооружения $C \leq 150$ мг/л.

$$\mathcal{E} = \frac{220,5 - 150}{220,5} \cdot 100 = 40 \%$$

– Рассчитаем гидравлическую крупность частиц по формуле (6), мм/с:

По источнику 18 определяем продолжительность отстаивания $t_{set} = 1200$ с. при эффекте осветления $\mathcal{E} = 40\%$.

$$U_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{t_{set} \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}} \quad (6)$$

где H_{set} – глубина проточной части отстойника, м;

K_{set} – коэффициент использования объема проточной части отстойника;

t_{set} – продолжительность отстаивания, с, соответствующая заданному эффекту очистки и полученная в лабораторном цилиндре в слое $h_1 = 500$ мм;

n_2 – показатель степени, зависящий от агломерации взвеси в процессе осаждения.

$$U_0 = \frac{1000 \cdot 3,7 \cdot 0,45}{1200 \cdot \left(\frac{0,45 \cdot 3,7}{0,5}\right)^{0,2}} = 1,09 \text{ мм/с}$$

– Рассчитываем производительность одного отстойника, по формуле (7), м³/ч:

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot (U_0 - v_{tb}) \quad (7)$$

где D_{set}^2 – диаметр одного отстойника, м;

d_{en}^2 – диаметр впускного устройства, м;

v_{tb} – турбулентная составляющая, принимаемая в зависимости от скорости потока отстойнике, равная 0.

$$q_{set} = 2,8 \cdot 0,45 \cdot (40^2 - 2,5^2) \cdot (1,09 - 0) = 2188,9 \text{ м}^3/\text{ч}$$

– Количество отстойников определим по формуле (8), шт:

$$N = \frac{q_{max}}{q_{set}} \quad (8)$$

где q_{max} – максимальный часовой расход сточной воды, равный 6840 м³/ч.

$$N = \frac{6840}{2188,9} = 4 \text{ шт}$$

– Время пребывания воды в отстойнике найдем по формуле (9), ч:

$$T = \frac{N \cdot \pi \cdot D_{set}^2 \cdot H_{set}}{4 \cdot q_{max}} \quad (9)$$

где q_{max} – максимальный секундный расход сточной воды, равный 2,4 м³/с.

$$T = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 40^2 \cdot 3,7}{4 \cdot 2,4} = 2 \text{ ч}$$

– Принимаем 4 отделения отстойника и находим диаметр отстойника по формуле (10), м:

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4000 \cdot q_{max}}{\pi \cdot n \cdot K_{set} \cdot (U_0 - v_{tb})}} \quad (10)$$

где q_{max} – максимальный секундный расход сточной воды, м³/с;

π – математическая постоянная, равная 3,14;

n – количество отделений отстойника.

$$D_{set} = \sqrt{\frac{4000 \cdot 2,4}{3,14 \cdot 4 \cdot 0,45 \cdot (1,09 - 0)}} = 40 \text{ м}$$

– Рассчитаем скорость на середине радиуса отстойника по формуле (11), мм/с:

$$V = \frac{2 \cdot q_{max}}{\pi \cdot n \cdot D_{set} \cdot H_{set}} \quad (11)$$

$$V = \frac{2 \cdot 2,4}{3,14 \cdot 4 \cdot 40 \cdot 3,7} = 2,5 \text{ мм/с}$$

– Рассчитываем общую высоту отстойника по формуле (12), м:

$$H = H_{set} + H_1 + H_2 \quad (12)$$

где H_1 – высота борта над слоем воды, м;

H_2 – высота нейтрального слоя, м.

$$H = 3,7 + 0,3 + 0,3 = 4,3 \text{ м}$$

– Расход осадка из первичных отстойников определяется по формуле (13), м³/сут:

$$Q_{mud} = \frac{Q_{гор}^{ср.сут} \cdot (C_{en} - C_{ex})}{(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} \cdot 10^4} \quad (13)$$

где $Q_{гор}^{ср.сут}$ – среднесуточный расход сточных вод, м³/сут;

P_{mud} – влажность осадка, равная 95 %;

γ_{mud} – плотность осадка равная 1,8 г/см³.

$$Q_{mud} = \frac{155640 \cdot (220,5 - 150)}{(100 - 95) \cdot 1,8 \cdot 10^4} = 122 \text{ м}^3/\text{сут}$$

«В случае дополнения тонкослойными блоками (модулями) существующих радиальных отстойников, когда известны геометрические размеры и его производительность, а требуемая степень очистки задана гидравлической крупностью частиц U_0 , которые необходимо выделить, расчетными параметрами являются длина пластины в блоке L_{bl} , высота блока H_{bl} и число ярусов в блоке n_{ti} » [17].

– Определяем размеры тонкослойных элементов, для реконструкции радиальных отстойников, примем из источника 18, скорость потока $u_w = 5$ мм/с и высоту яруса $h_{ti} = 0,1$ м. по формуле (14):

$$L_{bl} = \frac{u_w \cdot h_{ti}}{U_0} \quad (14)$$

где u_w – скорость потока в ярусе;

h_{ti} – высота яруса.

$$L_{bl} = \frac{5 \cdot 0,1}{1,09} = 0,45 \text{ м}$$

«Конструктивно задавшись диаметром $D_1 = 37$ м, на котором предлагается расположить блоки с параллельными пластинами, определяем высоту блока, при коэффициенте использования объема $K_{set} = 0,45$ » [7].

– Высота блока рассчитывается по следующей зависимости по формуле (15), м:

$$H_{bl} = \frac{q_{set} \cdot h_{ti}}{3,6 \cdot K_{set} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot L_{bl} \cdot U_0} \quad (15)$$

где q_{set} – производительность одного отстойника;

h_{ti} – высота яруса;

D_1 – диаметр расположения блоков;

L_{bl} – длина пластины в блоке.

$$H_{bl} = \frac{2188,9 \cdot 0,1}{3,6 \cdot 0,45 \cdot 3,14 \cdot 37 \cdot 1,4 \cdot 0,25} = 2 \text{ м.}$$

– Определяем число ярусов в блоке (модуле) по формуле (16):

$$n_{ti} = \frac{H_{bl}}{h_{ti} \cdot \cos 60} \quad (16)$$

где $\cos \alpha$ – угол наклона пластин.

$$n_{ti} = \frac{2}{0,05} = 40 \text{ ярусов}$$

Используя расчеты выявили, что длина пластины в блоке, высота блока и число ярусов соответственно равняется 0,45 м, 2 м, 40 ярусов.

3.3 Расчет материального баланса для первичного радиального отстойника

Расчет материального баланса выполнен по методике [3].

Приведём исходные данные.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета радиального отстойника

Обозначение	Значение
$G, \text{ м}^3/\text{сут.}$	155000
$t, \text{ ч}$	24
$\eta, \%$	40%
$\omega, \%$	95%
$C_{\text{ен}}, \text{ мг/л}$	199,5
$C_{\text{ех}}, \text{ мг/л}$	150

– Найдём по формуле (17) среднечасовую производительность установки, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$G_{\text{ср.ч}} = \frac{G_1}{tp} \quad (17)$$

где $G_{\text{ср.ч}}$ – среднечасовая производительность установки, $\text{м}^3/\text{ч}$;

G_1 – производительность, $\text{м}^3/\text{сутки}$;

tp – время работы оборудования, ч.

$$G_{\text{ср.ч}} = \frac{155000}{24} = 6458,33$$

– Плотность воды приравнивается $999,699 \text{ кг/м}^3$, согласно ГССД 2 – 77 «Таблицы стандартных справочных данных», тогда среднечасовая производительность установки находится по формуле (18):

$$G''_{\text{ср.ч}} = G'_{\text{ср.ч}} \cdot \rho_{\text{воды}} \quad (18)$$

где $G'_{\text{ср.ч}}$ – среднечасовая производительность радиального отстойника относительно плотности воды, кг/ч;

$\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, кг/м³.

$$G''_{\text{ср.ч}} = 6458,33 \cdot 999,699 = 6456386,1$$

– Определим, сколько взвешенных веществ содержится в стоках, пришедших до отстаивания за 1 час по формуле (19):

$$m_{\text{в.в.}} = C_{\text{в.в.}} \cdot G''_{\text{в.в.}} \quad (19)$$

где $C_{\text{в.в.}}$ – концентрация взвешенных веществ, г/м³.

$$m_{\text{в.в.}} = 199,5 \cdot 6458,33 = 1288437 \text{ г/ч} = 1288,4 \text{ кг/ч}$$

– Рассчитаем концентрацию взвешенных веществ, уловленных отстаиванием по формуле (20):

$$C'_{\text{в.в.}} = (C_{\text{в.в.}} \cdot (1 - \eta)) \quad (20)$$

где $C'_{\text{в.в.}}$ – концентрация взвешенных веществ в стоках;

η – селективность фильтра.

$$C'_{\text{в.в.}} = (199,5 \cdot (1 - 0,40)) = 120 \text{ г/м}^3$$

Полученное значение концентрации не превышает ПДК_{вз.вв.} = 150 мг/л.

– Найдем массу загрязняющего вещества после отстойника за час по формуле (21):

$$m'_{\text{в.в.}} = C'_{\text{в.в.}} \cdot G''_{\text{ср.ч.}} \quad (21)$$

где $m'_{\text{в.в.}}$ – масса взвешенных частиц после отстойника за час, кг/ч.

$$m'_{\text{в.в.}} = 120 \cdot 6458,33 = 774999 \text{ г/ч} = 775 \text{ кг/ч}$$

– Находим массу влажного осадка по формуле (22):

$$m_{\text{в.о}} = \frac{m_{\text{вв.улов}}}{\omega} \quad (22)$$

где $m_{\text{в.о}}$ – масса влажного осадка, кг/ч;

ω – влажность осадка, %.

$$m_{\text{в.о}} = \frac{775}{0,95} = 815 \text{ кг/ч}$$

– Найдём массу взвешенных веществ в стоке по формуле (23):

$$m_{\text{ос}} = m_{\text{исх}} - m_{\text{улов}} \quad (23)$$

Произведем расчет по формуле (23):

$$m_{\text{ос}} = 1288,4 - 775 = 513,4 \text{ кг/ч}$$

– Найдём массу сточной воды после отстойника по формуле (24):

$$m_{\text{с.в.}} = m_{\text{воды}} - m_{\text{в.о.}} - m_{\text{в.в.}} \quad (24)$$

где $m_{\text{с.в.}}$ – масса сточной воды после решетки, кг/ч.

$$m_{\text{с.в.}} = 6456386,1 - 815 - 513,4 = 6455057,7$$

Полученные значения занесем в таблицу 2.

Таблица 4 – Сводная таблица материального баланса

Приход	Единица измерения, кг/ч	%	Расход	Единица измерения, кг/ч	%
Вода	6455097,7	99,96	Вода	6455057,7	99,96
Взвешенные вещества	1288,4	0,04	Взвешенные вещества	513,4	0,01
–	–	–	Осадок	815	0,03
Итого	6456386,1	100	Итого	6456386,1	100

Расчеты материального баланса для радиального отстойника используем для сравнения сооружений на эффективность удаления загрязняющих веществ в следующей подглаве.

3.4 Расчет материального баланса для первичного тонкослойного радиального отстойника

Приведём исходные данные.

Таблица 5 – Исходные данные

Обозначение	Значение
G , м ³ /сут.	155000
t , ч	24
η , %	60%
ω , %	95%
C_{en} , мг/л	199,5
C_{ex} , мг/л	150

– Найдём по формуле (25) среднечасовую производительность установки, м³/ч:

$$G_{\text{ср.ч}} = \frac{G_1}{tp} \quad (25)$$

где $G_{\text{ср.ч.}}$ – среднечасовая производительность установки, м³/ч;

G_1 – производительность, м³/сут;

t_p – время работы оборудования, ч.

$$G_{\text{ср.ч.}} = \frac{155000}{24} = 6458,33$$

– Примем, что плотность воды равняется 999,699 кг/м³, согласно ГССД 2 – 77 «Таблицы стандартных справочных данных», тогда среднечасовая производительность установки находится по формуле (26):

$$G''_{\text{ср.ч.}} = G'_{\text{ср.ч.}} \cdot \rho_{\text{воды}} \quad (26)$$

где $G'_{\text{ср.ч.}}$ – среднечасовая производительность радиального отстойника относительно плотности воды, кг/ч;

$\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, кг/м³.

$$G''_{\text{ср.ч.}} = 6458,33 \cdot 999,699 = 6456386,1$$

– Определим, содержание взвешенных веществ пришедших до отстаивания за 1 час по формуле (27):

$$m_{\text{в.в.}} = C_{\text{в.в.}} \cdot G''_{\text{в.в.}} \quad (27)$$

где $C_{\text{в.в.}}$ – концентрация взвешенных веществ, г/м³.

$$m_{\text{в.в.}} = 199,5 \cdot 6458,33 = 1288436 \text{ г/ч} = 1288,4 \text{ кг/ч}$$

– Рассчитаем концентрацию взвешенных веществ, уловленных отстаиванием по формуле (28):

$$C'_{\text{в.в.}} = (C_{\text{в.в.}} \cdot (1 - \eta)) \quad (28)$$

где $C'_{\text{в.в.}}$ – концентрация взвешенных веществ в стоках;

η – селективность фильтра.

$$C'_{\text{в.в.}} = (199,5 \cdot (1 - 0,60)) = 79,8 \text{ г/м}^3$$

Полученное значение концентрации не превышает ПДК_{вз.вв.} = 150 мг/л.

– Найдем массу взвешенных веществ после отстойника за час по формуле (29), кг/ч:

$$m'_{\text{в.в.}} = C'_{\text{в.в.}} \cdot G''_{\text{ср.ч.}} \quad (29)$$

где $m'_{\text{в.в.}}$ – масса взвешенных частиц после отстойника за час, кг/ч.

$$m'_{\text{в.в.}} = 79,8 \cdot 6458,33 = 515375 \text{ г/ч} = 515,4 \text{ кг/ч}$$

– Находим массу влажного осадка по формуле (30), кг/ч:

$$m_{\text{в.о}} = \frac{m_{\text{вв.улов}}}{\omega} \quad (30)$$

где $m_{\text{в.о}}$ – масса влажного осадка, кг/ч;

ω – влажность осадка, %.

$$m_{\text{в.о}} = \frac{515,4}{0,95} = 543 \text{ кг/ч}$$

– Найдём массу взвешенных веществ в стоке по формуле (31), кг/ч:

$$m_{\text{ос}} = m_{\text{исх}} - m_{\text{услов}} \quad (31)$$

$$m_{\text{ос}} = 1288,4 - 515,4 = 664 \text{ кг/ч}$$

– Найдем массу сточной воды после отстойника по формуле (32), кг/ч:

$$m_{\text{с.в.}} = m_{\text{воды}} - m_{\text{в.о.}} - m_{\text{в.в.}} \quad (32)$$

где $m_{\text{с.в.}}$ – масса сточной воды после решетки, кг/ч.

$$m_{\text{с.в.}} = 6456386,1 - 543 - 664 = 6455179,1$$

Таблица 6 – Сводная таблица материального баланса

Приход вещества	Единица измерения, кг/ч	%	Расход вещества	Единица измерения, кг/ч	%
Вода	6455097,7	99,96	Вода	6455179,1	99,97
Взвешенные вещества	1288,4	0,04	Взвешенные вещества	664	0,02
–	–	–	Осадок	543	0,01
Итого	6456386,1	100	Итого	6456386,1	100

Таблица 7 – Сравнительная таблица

Используемое сооружение	Загрязнитель	Количество загрязняющих веществ до очистки	Количество задержанных загрязняющих веществ
Радиальный отстойник	Взвешенные вещества	1288,4 кг/ч	513,4 кг/ч
Тонкослойный радиальный отстойник	Взвешенные вещества	1288,4 кг/ч	664 кг/ч

Сопоставив полученные данные при расчете материального баланса, выявили, что радиальный отстойник, дополненный тонкослойными элементами, производит очистку сточных вод от взвешенных веществ в пределах допустимых норм, что говорит о целесообразности введения данной модернизации.

3.5 Математическая модель тонкослойного отстаивания

Параметры базовой кривой кинетики тонкослойного осаждения E_o и a находятся методом наименьших квадратов по данным лабораторных опытов при стандартных условиях, – при глубине $H_{ц} = 100$ мм, температуре $T_{ц} = 10^0$ и исходной концентрации взвеси $C_{исх}$, – по зависимостям:

$$\ln E_o = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \ln \mathcal{E}_i - \frac{a}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{t_i} \cdot (\ln t_i - \ln t_{пр}) \quad (33)$$

где $\ln E_o$ – реально достижимый эффект тонкослойного отстаивания, %;

a – параметр базовой кривой кинетики тонкослойного отстаивания, зависящий от свойств жидкости и содержащих в ней загрязнений;

m – число измерений;

$t_{пр}$ – предельный эффект осветления;

t_i – время отстаивания, $t_i = 3, 6, 9, 15, 30$ мин.

– Находим значение первой части уравнения по формуле (34):

$$\sum_{i=1}^5 \ln \mathcal{E}_i = \ln \mathcal{E}_3 + \ln \mathcal{E}_6 + \ln \mathcal{E}_9 + \ln \mathcal{E}_{15} + \ln \mathcal{E}_{30} \quad (34)$$

где \mathcal{E}_i – эффект отстаивания.

$$\sum_{i=1}^5 \ln \mathcal{E}_i = \ln 34 + \ln 36 + \ln 38 + \ln 40 + \ln 43 = 18,2$$

– Рассчитываем значение второй части уравнения по формуле (35):

$$a = \frac{\frac{1}{m} (\sum_{i=1}^m \ln \vartheta_i) \left[\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{t_i} \right) (\ln t_i - \ln t_{np}) \right] - \sum_{i=1}^m \ln \vartheta_i \frac{1}{t_i} (\ln t_i - \ln t_{np})}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{t_i^2} \right) (\ln t_i - \ln t_{np}) - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{t_i} \right) (\ln t_i - \ln t_{np})^2} \quad (35)$$

– Рассчитаем по формуле (36) чему равно следующее выражение:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^5 \frac{1}{t_i^2} \cdot (\ln t_i - \ln t_{np}) = \\ & = \frac{1}{t_3^2} \cdot (\ln t_3 - \ln t_{30}) + \frac{1}{t_6^2} \cdot (\ln t_6 - \ln t_{30}) + \frac{1}{t_9^2} \\ & \cdot (\ln t_9 - \ln t_{30}) + \frac{1}{t_{15}^2} \cdot (\ln t_{15} - \ln t_{30}) + \frac{1}{t_{30}^2} \cdot (\ln t_{30} - \ln t_{30}) \end{aligned} \quad (36)$$

Произведем расчеты по формуле (36):

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^5 \frac{1}{t_i^2} \cdot (\ln t_i - \ln t_{np}) \\ & = \frac{1}{3^2} \cdot (\ln 3 - \ln 30) + \frac{1}{6^2} \cdot (\ln 6 - \ln 30) + \frac{1}{9^2} \cdot (\ln 9 - \ln 30) \\ & + \frac{1}{15^2} \cdot (\ln 15 - \ln 30) + \frac{1}{30^2} \cdot (\ln 30 - \ln 30) = -0,318 \end{aligned}$$

– Рассчитаем по формуле (44) чему равно следующее выражение:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^5 \frac{1}{t_i} \cdot (\ln t_i - \ln t_{np}) = \\ & = \frac{1}{t_3} \cdot (\ln t_3 - \ln t_{30}) + \frac{1}{t_6} \cdot (\ln t_6 - \ln t_{30}) + \frac{1}{t_9} \\ & \cdot (\ln t_9 - \ln t_{30}) + \frac{1}{t_{15}} \cdot (\ln t_{15} - \ln t_{30}) + \frac{1}{t_{30}} \\ & \cdot (\ln t_{30} - \ln t_{30}) \end{aligned} \quad (37)$$

Произведём расчеты по формуле (44):

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^5 \frac{1}{t_i} \cdot (\ln t_i - \ln t_{np}) = \\ & = \frac{1}{3} \cdot (\ln 3 - \ln 30) + \frac{1}{6} \cdot (\ln 6 - \ln 30) + \frac{1}{9} \cdot (\ln 9 - \ln 30) + \frac{1}{15} \\ & \cdot (\ln 15 - \ln 30) + \frac{1}{30} \cdot (\ln 30 - \ln 30) = -0,725 \end{aligned}$$

– Рассчитаем следующее выражение по формуле (38):

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \ln \vartheta_i \frac{1}{t_i} (\ln t_i - \ln t_{np}) = \tag{38} \\ & = \ln \vartheta_3 \cdot \frac{1}{t_3} \cdot (\ln t_3 - \ln t_{30}) + \ln \vartheta_6 \cdot \frac{1}{t_6} \cdot (\ln t_6 - \ln t_{30}) + \\ & + \ln \vartheta_9 \cdot \frac{1}{t_9} \cdot (\ln t_9 - \ln t_{30}) + \ln \vartheta_{15} \cdot \frac{1}{t_{15}} \cdot (\ln t_{15} - \ln t_{30}) + \\ & + \ln \vartheta_{30} \cdot \frac{1}{t_{30}} \cdot (\ln t_{30} - \ln t_{30}) \end{aligned}$$

Подставим значения и произведем расчёт по формуле (38):

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \ln \vartheta_i \frac{1}{t_i} (\ln t_i - \ln t_{np}) = \\ & = \ln 34 \cdot \frac{1}{3} \cdot (\ln 3 - \ln 30) + \ln 36 \cdot \frac{1}{6} \cdot (\ln 6 - \ln 30) + \\ & + \ln 38 \cdot \frac{1}{9} \cdot (\ln 9 - \ln 30) + \ln 40 \cdot \frac{1}{15} \cdot (\ln 15 - \ln 30) + \\ & + \ln 43 \cdot \frac{1}{30} \cdot (\ln 30 - \ln 30) = 4,32 \end{aligned}$$

– Рассчитаем следующее значение по формуле (39):

$$\sum_{i=1}^5 \frac{1}{t_i^2} \cdot (\ln t_i - \ln t_{np})^2 = \frac{1}{t_3^2} \cdot (\ln t_3 - \ln t_{30})^2 + \quad (39)$$

$$+ \frac{1}{t_6^2} \cdot (\ln t_6 - \ln t_{30})^2 + \frac{1}{t_9^2} \cdot (\ln t_9 - \ln t_{30})^2 + \frac{1}{t_{15}^2} \cdot (\ln t_{15} - \ln t_{30})^2 +$$

$$+ \frac{1}{t_{30}^2} \cdot (\ln t_{30} - \ln t_{30})^2$$

Произведем расчет по формуле (39):

$$\sum_{i=1}^5 \frac{1}{t_i^2} \cdot (\ln t_i - \ln t_{np})^2 =$$

$$= \frac{1}{3^2} \cdot (\ln 3 - \ln 30)^2 + \frac{1}{6^2} \cdot (\ln 6 - \ln 30)^2 + \frac{1}{9^2} \cdot (\ln 9 - \ln 30)^2 +$$

$$+ \frac{1}{15^2} \cdot (\ln 15 - \ln 30)^2 + \frac{1}{30^2} \cdot (\ln 30 - \ln 30)^2 = 0,68$$

– Рассчитываем параметр базовой кривой кинетики тонкослойного отстаивания по формуле (35):

$$a = \frac{\frac{1}{5} \cdot \ln 18,2 \cdot (-0,725) - (-4,32)}{-0,318 - \frac{1}{5} \cdot 0,68} = -8$$

– Находим эффект отстаивания по формуле (33):

$$\ln E_o = \frac{1}{5} \cdot \ln 18,2 - \frac{-8}{5} \cdot (-0,725) = -0,58$$

Найдем чему равна экспонента:

$$e^{-0,58} = 56\%$$

– Находим общее количество элементов по высоте блока по формуле (40):

$$m_{\Pi} = \frac{H_o}{H_{\Pi}} = \frac{H_o}{2h} \cdot \cos \alpha \quad (40)$$

где H_o – общая глубина, равная 3,7 м;

α – наклон элемента, равный 60° ;

h – половина расстояния между верхней и нижней стенками элемента (гидравлический радиус), равный 50 мм.

Произведем расчеты по формуле (40):

$$m_{\Pi} = \frac{3,7}{2 \cdot 0,05} \cdot \cos 60^\circ = 18,5$$

– Рассчитываем гидравлическую нагрузку по формуле (41):

$$q_H = \frac{V}{F} \quad (41)$$

где V – расход воды, равная 1,79, м³/с.

– Находим суммарную площадь всех каналов по формуле (42):

$$F = \alpha \cdot b \cdot m \cdot N \quad (42)$$

где α – ширина элемента 0,1 м;

b – длина элемента, 0,45 м;

m – количество ярусов 40 шт.

– Количество блоков найдем по формулам (43), (44):

$$I = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (43)$$

$$N = \frac{I}{B} \quad (44)$$

где B – ширина тонкослойных элементов, собранных из плоских или гофрированных полот, должна быть от 1,5 до 2 м.

Произведем расчет по формуле (43):

$$I = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 = 125,6 \text{ м}$$

Произведем расчет по формуле (44):

$$N = \frac{125,6}{2} = 63 \text{ шт}$$

Произведём расчеты подставив данные в формулу (42):

$$F = 0,1 \cdot 0,45 \cdot 40 \cdot 63 = 113,4 \text{ м}^2$$

– Рассчитаем гидравлическую нагрузку на единицу суммарной площади поверхности осаждения по формуле (41):

$$q_H = \frac{1,79}{113,4} = 0,02 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

– Определим число Рейнольдса по формуле (45):

$$Re = \frac{V_0 \cdot h}{\vartheta} \quad (45)$$

где V_0 – средняя скорость потока, равная 1 см/с;

ϑ – кинематический коэффициент вязкости жидкости при 10°C, м²/с.

$$Re = \frac{1 \cdot 0,05}{0,0000013975} = 357$$

Поскольку турбулентность увеличивает способность потока к транспортированию, необходимо чтобы течение в самом отстойнике было ламинарным, об этом свидетельствует число Рейнольдса которое не превышает $Re < 500$ [21].

– Исходя из предыдущей формулы найдем коэффициент Ψ по формуле (46):

$$\Psi = \frac{L}{Re \cdot h} \quad (46)$$

где $L = b$ – ширина канала.

$$\Psi = \frac{0,45}{357 \cdot 0,05} = 0,02$$

Как было показано в результате теоретических и экспериментальных исследований, коэффициенты Ψ зависят как от конструкции отстойника и тонкослойных элементов, и их расположения, так и от гидравлического режима их работы. Для расчетов рекомендуется принимать Ψ по таблице 8.

Таблица 8 – Значения коэффициентов Ψ

L/hRe	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	2	4
Ψ	1,78	1,61	1,48	1,42	1,38	1,35	1,28	1,22	1,17

Исходя из таблицы 8 определили, что коэффициент Ψ равен 1,48.

– Функцию $F(x)$ определим по формуле (47):

$$F(x) = \frac{U_0 \cdot m_{\text{п}}}{\Psi \cdot q_H} \quad (47)$$

Подставив значения в формулу (47) получим:

$$F(x) = \frac{1 \cdot 18,5}{1,48 \cdot 0,02} = 595$$

– Определим эффективность отстаивания по формуле (48):

$$\varepsilon = \ln E_0 \left(\frac{H_{\text{ц}}}{t_{\text{пр}}} \cdot \frac{m_{\text{п}} \cdot F(x)}{\Psi \cdot q_H} \right)^{\frac{a}{H_{\text{ц}}} \cdot \frac{\Psi \cdot q_H}{m_{\text{п}} \cdot F(x)}} \quad (48)$$

Подставим значения в формулу (48) и определим эффективность отстаивания:

$$\varepsilon = 56 \left(\frac{0,1}{30} \cdot \frac{18,5 \cdot 595}{1,48 \cdot 0,02} \right)^{\frac{-8 \cdot 1,48 \cdot 0,02}{0,1 \cdot 18,5 \cdot 595}} = 56 \%$$

В приведенных выше опытных данных по результатам исследования работы радиальных отстойников в лабораторных и производственных условиях можно заключить, что обеспечивается достаточно хорошая сходимость экспериментальных и расчетных эффектов очистки в пределах наблюдаемых диапазонов расчетных скоростей (гидравлических нагрузок).

Заключение

В данной бакалаврской работе для решения поставленных задач был проведен анализ существующей схемы очистки сточных вод и их состава при помощи которых были обнаружены приоритетные загрязняющие вещества на предприятии ООО «Автоград Водоканал». Выявлено, что в стоках, направляющихся на этап очистки первичными радиальными отстойниками содержание взвешенных веществ, составляет 220,5 мг/л.

В результате анализа выявили, что для снижения концентрации загрязняющих веществ необходимо усовершенствовать очистные сооружения на этапе механической очистки сточных вод, с целью экономии и рационального использования водных ресурсов.

Для снижения концентраций загрязняющих веществ, а именно грубодисперсных примесей было предложено дополнить первичные радиальные отстойники тонкослойными элементами. Предложенное усовершенствование технологичной схемы очистки сточных вод позволит снизить содержание взвешенных веществ, что приведет к улучшению качества воды.

Был произведен расчет материального баланса, подтвердивший целесообразность введения данной модернизации в технологический процесс, а также была представлена математическая модель тонкослойного отстаивания.

На основании предложенной математической модели тонкослойного отстаивания оказалось возможным получить приближенное решение чрезвычайно актуальной для практики задачи о предельном повышении производительности и эффективности очистки при реконструкции существующих обычных отстойников в тонкослойные. Задача решена в первую очередь для радиальных и горизонтальных отстойников, но эти данные могут служить основой для оценки предельной производительности реконструируемых отстойников других типов.

Преимущества предлагаемого решения:

- с внедрением тонкослойных элементов в практику расширить область применения тонкослойного отстаивания;
- модули представляют собой прочную составную конструкцию, быстро собираются в готовую конструкцию на объекте;
- повысить эффект осветления за счет увеличения контактной поверхности и уменьшения времени осаждения взвеси;
- применение тонкослойных модулей является наиболее экономичным, а в ряде случаев единственным решением при реконструкции действующих отстойных сооружений различного типа;
- значительно интенсифицировать процесс осаждения, на 20–30% повысить эффект осветления;
- обеспечить ламинарный поток. об этом свидетельствует число Рейнольдса которое не превышает $Re < 500$;
- эффективное сползание осадка по поверхности профилей.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Автоград Водоканал. URL: <https://www.avkvoda.ru/about/activities/voodata> (дата обращения: 17.05.2021).

2. Вертинский А.П. Современные методы очистки сточных вод: особенности применения и проблематика // Инновации и инвестиции. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-ochistki-stochnyh-vod-osobennosti-primeneniya-i-problematika> (дата обращения: 17.05.2021).

3. Ветошкин А. Г. Инженерная защита водной среды: учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 416 с. — ISBN 978-5-8114-1628-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/49467> (дата обращения: 20.05.2021).

4. Ветошкин А. Г. Технические средства инженерной экологии: учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 424 с. — ISBN 978-5-8114-2825-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169200> (дата обращения: 17.05.2021).

5. Горшкова Т. А. Современное состояние и перспективы модернизации систем очистки сточных вод в г. Самаре // Экологический сборник 7: Труды молодых ученых. Всероссийская (с международным участием) молодежная научная конференция. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-modernizatsii-sistem-ochistki-stochnyh-vod-v-g-samare> (дата обращения: 17.05.2021).

6. Демура М. В. Проектирование тонкослойных отстойников. Киев: Будивельник, 1981. 52 с.

7. Иванов В.Г. Тонкослойные отстойники для интенсификации очистки природных и сточных вод: / В.Г. Иванов. – Ленинград: ПГУПС, 1998. – 304 с.

8. Ильясова К. У., Алпысбаева А. Б. Очистка сточных вод от нефтепродуктов // Вестник науки и образования. 2015. №1 (3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-stochnyh-vod-ot-nefteproduktov-1> (дата обращения: 17.05.2021).

9. Калашников Г.В. Классификация способов и оборудования рекуперации вторичных вод / Г.В. Калашников, И.М. Атисков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2017. — № 3. — С. 154–158. — ISSN 2226–910X. — Текст: электронный // Лань: электронно–библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/303413> (дата обращения: 17.05.2021).

10. Ковалев Р. А., Денисова В.Е. Использование региональных допустимых концентраций как способ решения проблемы экологического нормирования // Сб. науч. тр. 15–й Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. БНТУ. Минск, 2019. Т. 1. С. 328–331.

11. Ковалев Р. А., Корнеева Н. Н., Сальников Б. Ф., Лифанов Д. О. Тонкослойное отстаивание в современных технологиях водоподготовки // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tonkosloynnoe-otstaiwanie-v-sovremennyh-tehnologiyah-vodopodgotovki> (дата обращения: 17.05.2021).

12. Ковалев Р. А., Корнеева Н. Н., Сальников Б. Ф., Лифанов Д. О. Тонкослойное отстаивание в современных технологиях водоподготовки // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tonkosloynnoe-otstaiwanie-v-sovremennyh-tehnologiyah-vodopodgotovki> (дата обращения: 17.05.2021).

13. Назарова Т. Н. Совершенствование системы оборотного водоснабжения металлургического производства ОАО «Тагмет» // Известия ЮФУ. Технические науки. 2002. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-sistemy-oborotnogo->

vodosnabzheniya–metallurgicheskogo–proizvodstva–oao–tagmet (дата обращения: 16.05.2021).

14. Промышленная экология: учебник / составители Н. А. Сытник, Е. И. Назимко. — Керчь: КГМТУ, 2019. — 134 с. — Текст: электронный // Лань: электронно–библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/140639> (дата обращения: 17.05.2021).

15. Самыгин В. Д. Обезвоживание и очистка сточных вод при обогащении минерального сырья (разделение твердой и жидкой фаз): учебник / В. Д. Самыгин, В. А. Игнаткина, Р. В. Коржова. — Москва: МИСИС, 2013. — 247 с. — ISBN 978–5–87623–696–8. — Текст: электронный // Лань : электронно–библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/116443> (дата обращения: 17.05.2021).

16. Филенков В. М., Козина Л. Н., Бухонов Д. О., Перерва В. В., Журилкина Е. С. О реконструкции системы ливневой канализации Комсомольского района Г. О. Тольятти // Вестник НГИЭИ. 2014. №12 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o–rekonstruktsii–sistemy–livnevoy–kanalizatsii–komsomolskogo–rayona–g–o–tolyatti> (дата обращения: 17.05.2021).

17. Фрога Д.Б. Методическое пособие по классификации тонкослойных модулей для наружных сетей водоснабжения / Министерство строительства и жилищно–коммунального хозяйства Российской Федерации, Москва, 2015. — 47 с.

18. Челпанова Е. В. Горнопромышленная экология: учебное пособие / Е. В. Челпанова, Н. А. Литвиновская. — Пермь: ПНИПУ, 2019. — 57–69 с. — ISBN 978–5–398–02135–6. — Текст: электронный // Лань: электронно–библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/161027> (дата обращения: 17.05.2021).

19. Шлёкова И. Ю. Механическая очистка сточных вод: учебное пособие / И. Ю. Шлёкова, А. И. Кныш. — Омск: Омский ГАУ, 2020. — 82 с. — ISBN 978–5–89764–917–4. — Текст: электронный // Лань: электронно–библиотечная

система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153575> (дата обращения: 17.05.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

20. Шубов Л. Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г., Повышение экоэффективности технологии очистки сточных вод // Сервис в России и за рубежом. 2014. №1 (48). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-ekoeffektivnosti-tehnologii-ochistki-stochnyh-vod> (дата обращения: 20.05.2021).

21. Dahlstrom J., Grogan J., Rodrigue B., Review of Waste Water Treatment Technologies Used in Lead Recycling // The Minerals, Metals & Materials Society. 2020. P. 64–73.

22. Ehara H., Toyoda Y., Johnson D., Recovery of Starch from Sago Pith Waste and Waste Water Treatment // Springer. 2018. P. 261–269.

23. Ghosh S.K., Saha P.D., Di M.F., Recent Trends in Waste Water Treatment and Water Resource Management // Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020. P. 23–31.

24. Nadler T., Efficient Waste Water Treatment Improves Rinsing Water Quality // Int Surf Technol. 2020. P. 42–43.

25. Salameh E., Shteivi M., Al Raggad M., Waste Water Treatment // Springer International Publishing AG. 2018. P. 87–110.

Приложение А

Размеры отстойника и состав сточных вод на предприятии

Таблица А.1 – Унифицированные размеры первичных радиальных отстойников

Диаметр, м	Глубина зоны отстаивания, м	Расчетный объем зоны, м ³		Пропуская способность, м ³ /ч, при времени отстаивания 1,5 ч.
		осадка	отстойной	
18	3,1	120	788	550
24	3,1	210	1400	930
30	3,1	340	2190	1460
40	3,7	710	4580	3054
50	4,7	1180	9220	6150
54	5,7	1370	10500	7000

Таблица А.2 – Состав сточных вод на предприятии ООО «Автоград Водоканал»

Показатель	Единица измерения	Поступающие сточные воды		Очищенные сточные воды	
		ПДК	Среднее значение	ПДС	Среднее значение
рН	Единиц рН	6,5–8,5	7,4	6,5–8,5	7,34
ХПК	мгО/дм ³	230	304,8	32	33,2
БПК _{полн}	мгО/дм ³	150	180,6	3,0	10,74
Нитрит–ион	мг/дм ³	1,56	0,9	0,06	0,0836
Нитрат – ион	мг/дм ³	8,2	1,44	37,4	70,74
Ион аммония	мг/дм ³	12,0	29,83	0,26	0,284
Взвешенные вещества	мг/дм ³	150	165	5	7,72
Сухой остаток	мг/дм ³	505,9	543,4	506,86	516,724
Хлориды	мг/дм ³	59,24	59,45	59,24	54,575
Сульфаты	мг/дм ³	96,8	150,7	96,6	124,24
Фосфаты	мг/дм ³	2,2	7,64	1,98	4,428
Нефтепродукты	мг/дм ³	1,48	3,48	0,043	0,0528
Хром ⁺⁶	мг/дм ³	0	<0,01	0	<0,01
Железо общее	мг/дм ³	0,97	1,4	0,19	0,203
Никель	мг/дм ³	0,005	0,053	0,0034	0,0024
Цинк	мг/дм ³	0,0024	0,132	0,008	0,0114
Медь	мг/дм ³	0,006	0,045	0,0014	0,0026
Алюминий	мг/дм ³	0,15	0,411	0,06	0,0472
АПАВ	мг/дм ³	0,98	1,476	0	0,062
Сульфиды	мг/дм ³	0	6,02	0	0,01
Свинец	мг/дм ³	0	0,0016	0	0,001
Фенолы общее	мг/дм ³	0	0,0628	0	0,0004
Кадмий	мг/дм ³	0	0,0005	0	0,0002