

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)

18.03.01 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 Моделирование системы биологической очистки сточных вод на
городских очистных сооружениях

Студент

Р.Р. Голубева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

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

Консультант

И.Ю. Усатова

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

Тольятти 2020

Аннотация

Целью данной работы является прогнозирование изменения концентраций загрязняющих веществ за счёт использования методов моделирования биологической очистки.

Для достижения этой цели необходимо проанализировать схему очистки сточных вод на предприятии ООО «Автоград – Водоканал» и изучить биологические особенности очистки. Далее рассмотреть качество сточных вод и их состав, а так же загрязняющие вещества, которые поступают на очистные сооружения от различных абонентов, сравнивая с природоохранной документацией и составить математическую модель биологической очистки сточных вод.

Бакалаврская работа состоит из трёх разделов. В первом разделе представлены обоснование темы исследования и литературный обзор, информационной базой для которого стали научные статьи, учебники, техническая литература.

Во втором разделе рассмотрены существующая технологическая схема очистки сточных вод на предприятии и анализ качества стоков. Выявлены требования к стокам и рассмотрена природоохранная документация, прописывающая эти требования. А так же представлены эффективные технические решения для биологической очистки и отчёт о патентах.

В третьем разделе разработана математическая модель системы биологической очистки сточных вод.

Структура и объём работы: работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка используемой литературы из 33 источников. Общий объём работы 53 страниц, в том числе таблиц – 6, рисунков – 20.

Abstract

The title of the graduation work is «Simulation of a biological wastewater treatment system in urban wastewater treatment plants».

The aim of this work is forecasting changes in pollutant concentrations through the use of biological wastewater treatment modeling methods.

The work touches upon: the analysis of the scheme of wastewater treatment in LLC «Avtohrad – Vodokanal» and the study of the biological features of water cleaning. Next, we consider the quality of wastewater and its composition, and pollutants, which enter the waste treatment plants from various consumers, by comparing them with environmental documentation, and build math model of biological wastewater treatment system.

The graduation work is divided by several logically connected parts. The first part gives thematic justification and review of scientific works.

The second part considers the existing technological scheme for wastewater treatment at the enterprise and analyzes the wastewater quality. In this chapter the requirements for effluents are identified and environmental documentation prescribing these requirements is studied. Then effective technical solutions for wastewater treatment and patient report are performed.

The final part tells about the development of math model of biological wastewater treatment system.

The graduation work consists of an explanatory note on 53 pages, introduction, three parts, including 20 illustrations, 6 tables, the list of 33 references including 5 foreign sources.

Содержание

Перечень сокращений и обозначений.....	5
Введение.....	6
1 Литературный обзор. Обоснование темы исследования.....	8
2 Анализ качества стоков и требования к ним на городских очистных сооружениях.....	14
2.1 Представление эффективных технических решений по биологической очистке сточных вод на городских очистных сооружениях. Представление результатов патентного поиска.....	14
2.2 Характеристика объекта исследования.....	17
2.3 Систематизация природоохранной документации в области водоотведения.....	17
2.4 Технологическая схема очистки сточных вод.....	19
2.5 Анализ качества стоков на очистных сооружениях ООО «Автоград Водоканал».....	25
3 Разработка математической модели биологической очистки сточных вод на городских очистных сооружениях.....	29
3.1 Составление и анализ математической модели биологической очистки сточных вод на городских очистных сооружениях.....	29
3.2 Проектирование системы биологической очистки сточных вод на городских очистных сооружениях на основе представленной математической модели.....	47
Заключение.....	49
Список используемой литературы.....	50

Перечень сокращений и обозначений

БПК – биологическое потребление кислорода

БПК_{полн} – полная биологическая потребность в кислороде до начала процессов нитрификации

БПК₅ – биологическая потребность в кислороде за 5 суток

БПК₁₀ – биологическая потребность в кислороде за 10 суток

БПК₂₀ – биологическая потребность в кислороде за 20 суток

ОПК – общее потребление кислорода

ХПК – химическая потребность в кислороде

Введение

С каждым годом становится актуальнее проблема очистки промышленных стоков и подготовки воды для технических и хозяйственно-питьевых целей. Количество и состав примесей постоянно меняется, так как появляются новые производства и изменяются существующие технологии. Тем самым усложняется очистка сточных вод, что негативно сказывается на окружающей среде.

Очистные сооружения предназначены для нейтрализации и очистки сточных вод. Работа очистных сооружений сильно сказывается на окружающей среде, поэтому они должны быть исправны и справляться с поставленными задачами. Экологические проблемы постоянно обостряются, и вместе с тем, ужесточаются требования к качеству воды. Удовлетворить эти требования возможно, применяя адекватные математические модели для управления процессом очистки промышленных и хозяйственно-бытовых стоков.

Использование математических моделей позволяет прогнозировать степень нейтрализации и очистки поступающего стока в соответствии со значением технологических переменных очистных сооружений и переменных, характеризующих состав сточных вод. Становится возможным разумно выбирать такие режимы работы, которые не только увеличивают степень очистки сточных вод, но и снижают эксплуатационные расходы самих объектов.

Кроме того, можно решить ряд других проблем, таких как выявление причин превышения разрешенного уровня концентраций загрязняющих веществ в очищенных сточных водах и формирование гибкого и эффективного плана контроля переменных на разных этапах очистки.

Актуальность данной работы заключается в необходимости снижения загрязнённых сбросов в Саратовское водохранилище, постоянном контроле

концентраций веществ в поступающих сточных водах от абонентов, а так же совершенствовании технологии очистки сточных вод.

Цель бакалаврской работы – прогнозирование изменения концентраций загрязняющих веществ за счёт использования методов моделирования биологической очистки.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Проанализировать схему очистки сточных вод на предприятии ООО «Автоград – Водоканал» и изучить биологические особенности очистки.
- 2) Рассмотреть качество сточных вод и их состав, а так же загрязняющие вещества, которые поступают на очистные сооружения от различных абонентов, сравнивая с природоохранной документацией.
- 3) Составить математическую модель биологической очистки сточных вод.

1 Литературный обзор. Обоснование темы исследования

Очистка стоков промышленных предприятий и жилищно-коммунального комплекса – важнейшая задача, стоящая перед современным обществом, одним из путей решения которой является биологическая очистка сточных вод.

С.В. Соболева и Ж.В. Назмудинова в научной статье «Исследование моделирования процесса биологической очистки сточных вод», так описали важность математического моделирования: «Для создания надежных методов расчета очистных сооружений, обеспечивающих требования уровня производства, необходимо применение современных методов моделирования, которые заключаются в исследовании объектов и прогнозировании их поведения по результатам наблюдения за их моделями. Совершенствование процессов очистки сточных вод в аэротенке становится возможным на основе количественного анализа процесса с использованием математических моделей, учитывающих как особенности кинетики биологического превращения, так и особенности гидродинамического режима. Результаты моделирования позволят оценить адекватность использованной математической модели для описания динамики очистки сточных вод с целью выработки дальнейших рекомендаций и оптимального управления очистными сооружениями» [15].

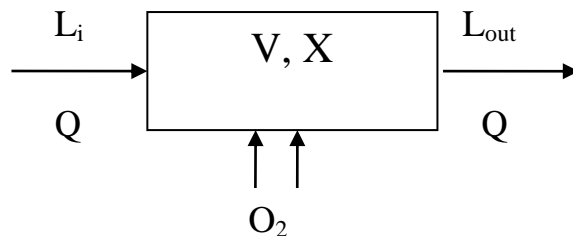
В учебном издании «Очистка сточных вод», написанном датскими учеными Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й. и Арван Э., обобщены современные биохимические идеи о процессах очистки сточных вод (удаление органических загрязнителей, соединений азота и фосфора и т. д.). Подробно рассмотрены теоретические основы процессов, происходящих при очистке, и возможные технические и технологические решения. Значительное внимание уделено математическому моделированию как инструменту проектирования современных очистных сооружений [24].

Работы Вавилина В.А., Жмур Н.С., Брагинского Л.Н., Яковлева С.В так же посвящены математическому моделированию процесса биоочистки и расчетом очистных сооружений.

Вавилин В.А. и Васильев В.Б. в своей работе «Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом» выделили теоретические основы биологической очистки загрязненной воды в системе с активным илом, которая является наиболее распространенной системой очистки на практике. Проанализировали простейшие модели динамики роста чистых и смешанных культур микроорганизмов и одновременного окисления органических загрязнителей. Обосновали использование моделей моно-типа для описания процессов биологической очистки сточных вод на хлопьях активного ила [5].

В научной статье «Расчёт сооружений биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов», написанной авторами В.Н. Шевцовым и К.М. Морозовой даётся чёткое описание математической модели: «Математическая модель процессов биологической очистки сточных вод основана на анализе уравнений ферментативной кинетики трансформации загрязнений сточных вод и связывает между собой характеристики исходной и очищенной воды, концентрацию растворённого кислорода, концентрацию активного ила и его прирост. Модель позволяет рассчитывать сложные технологические схемы биологической очистки с учётом концентрации активного ила и растворённого кислорода. На базе модели разработаны основы проектирования и расчёта сооружений биологической очистки городских и производственных сточных вод, в том числе с использованием процессов нитри- и денитрификации и биологической дефосфотации» [27].

В статье С.А. Понкратовой «Математическое моделирование и управление качеством очистки сточных вод» представлена формализованная схема процесса аэробной биологической очистки сточных вод (рисунок 1).



L_{in} – концентрация поступающей сточной воды, мг/л; L_{out} – концентрация очищенной воды, мг/л; V – объем реактора, m^3 ; Q – расход поступающей сточной воды, $m^3/ч$; X – концентрация активного ила в реакторе, г/л

Рисунок 1 – Формализованная схема

Авторы работы разработали адаптивную модель аэробной биологической очистки сточных вод, благодаря детальному анализу всех существующих систем очистки сточных вод, а также экспериментальным исследованиям структуры потока в аэротенке. Все это было сделано с помощью материального баланса, стехиометрических соотношений, массопереноса кислорода и кинетики ферментативных реакций. [6].

Яковлев С.В в своей работе «Водоотведение и очистка сточных вод» описал методы и технологические схемы очистки сточных вод, а так же методы обработки осадка. Включил конструкции, методы расчётов и проектирования водоотводящих систем очистных сооружений. В этой работе так сказано про биологическую очистку сточных вод: «Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов» [28]. Так же в этой работе описаны основные свойства микроорганизмов, используемых для очистки сточных вод:

- 1) «Способность потреблять в качестве источников питания разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования.

- 2) Свойство быстро размножаться. В среднем число бактериальных клеток удваивается через каждые 30 мин» [28].
- 3) «Способность образовывать колонии и скопления, которые сравнительно легко можно отделить от очищенной воды после завершения процессов изъятия содержащихся в ней загрязнений»[28].

Кольцов В.Б. и Кольцова О.В. описали биологическое окисление при очистке сточных вод: «Основной процесс, протекающий при биологической очистке сточных вод – биологическое окисление. Данный процесс осуществляется биоценозом (сообществом микроорганизмов), состоящим из множества различных бактерий, простейших водорослей, грибов, связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениями (метабиоза, симбиоза и антагонизма)» [23].

В этой работе подробно описано про величины БПК, ХПК, ОПК характеризующие биологическое окисление. БПК – биологическое потребление кислорода микроорганизмами, необходимое им для окисления содержащихся в среде органических веществ и аммония за определенный промежуток времени (БПК₅ – биологическая потребность в кислороде за 5 суток, БПК₁₀ – за 10 суток, БПК₂₀ – за 20 суток, БПК_{полн} – полная биологическая потребность в кислороде до начала процессов нитрификации).

ХПК – химическая потребность в кислороде. Величину выражают по отношению к O₂. Используются окислители – перманганат калия или бихромат калия.

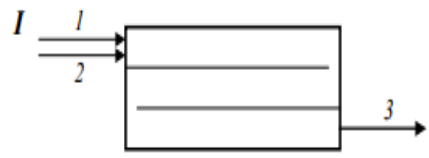
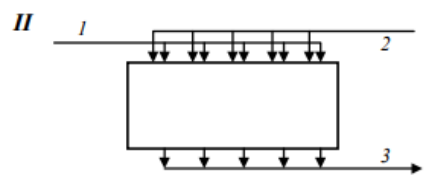
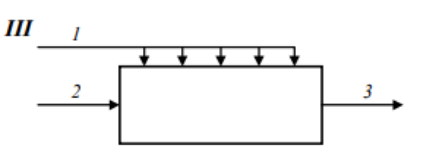
ОПК – общее потребление кислорода. Окисление проводится при высокой температуре в присутствии катализатора, так как не все органические вещества окисляются при ХПК.

В справочном пособии «Методы очистки производственных сточных вод» авторов А.И. Жукова, И.Л. Монгайт, И.Д. Родзиллер было сказано, что

процессы происходящие в аэротенке являются управляемыми и приведена классификация аэротенков с принципиальными [23].

Эта классификация приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация аэротенков

Вид	Описание	Схема
Аэротенк - вытеснитель	Аэротенк чувствителен к резким колебаниям, и, благодаря сосредоточенному впуску воды и самого активного ила снижается нагрузка на него. Применение: очистка городских и близких к ним по составу производственных сточных вод с БПК _{полн} не более 150 мг/л.	
Аэротенк - смеситель	Нагрузка на активный ил одинаковая, так как вода и ил подаются равномерно вдоль одной из длинных сторон аэротенка. Применение: сточные воды с колеблющимся составом и с органическими веществами.	
Аэротенк с рассредоточенным впуском воды	Аэротенк занимает промежуточное положение между двумя предыдущими видами. Нагрузка на активный ил меняется циклически по длине сооружения. Применение: очистка промышленных и бытовых сточных вод в смеси.	

Обоснование темы. На сегодняшний день описание и создание математических моделей технологических процессов – это необходимый исследовательский элемент, так как существующие технологии не могут предоставить всю нужную информацию о процессах биологической очистки. Экологическая ситуация из-за увеличения антропогенной нагрузки на окружающую среду, а так же количество загрязняющих веществ, поступающих в стоки, постоянно увеличиваются. В результате концентрации загрязняющих веществ выше в сточных водах. Установки очистки сточных

вод, предназначенные для более низких концентраций загрязняющих веществ, не всегда адекватно соответствуют процессу очистки сточных вод. Следовательно, проблема очистки сточных вод имеет принципиальное значение. Высокие финансовые затраты на процесс биологической очистки делают необходимым минимизацию этих затрат.

«Сложность современных очистных сооружений трудно ограничить рамками проектирования по простым эмпирическим правилам. Сочетание нескольких различных процессов на одной станции (удаление органических соединений, нитрификация, денитрификация, биологическое удаление фосфора) требует систематизации и структурирования опыта. Математическая формулировка модели вводит такую систематизацию и структурирование» [24].

Таким образом, оптимизация процесса биологической очистки сточных вод является научным и практическим интересом.

Проблемой на предприятии «Автоград - Водоканал» является то, что очищаемые сточные воды являются недостаточно очищенными по таким показателям как БПК, взвешенные вещества, нитрат-ион, фосфаты, АПАВ, сульфаты, железо, цинк, алюминий, медь. Это значит, что сбрасываемые очищенные сточные воды не соответствуют нормативным требованиям и загрязняют Саратовское водохранилище. А так же в случае поступления большого объема сточных вод, указанного в договорах предприятия, мощности очистных сооружений не хватит. Данные проблемы можно попытаться решить с помощью математического моделирования.

Выводы к разделу:

В данном разделе был рассмотрен подробный литературный обзор, который представляет собой анализ использованной литературы. С его помощью было возможно показать опыт учёных в изучении данной темы, привести теоретическую базу исследования и обосновать тему работы.

2 Анализ качества стоков и требования к ним на городских очистных сооружениях

Система водоотведения города Тольятти образовалась с помощью таких предприятий как: ООО «Синтезкаучук», в настоящее время, ООО«Тольяттикаучук»; «Волжский автомобильный завод» и ОАО«Тольяттиазот». Происходило строительство городских систем водоснабжения и водоотведения, а так же развитие территорий по мере строительства данных заводов.

Данные предприятия имели свои собственные очистные сооружения, принимающие производственные, поверхностные и бытовые сточные воды, и бытовые сточные воды с районов города, территориально прилегающим к этим заводам.

2.1 Представление эффективных технических решений по биологической очистке сточных вод на городских очистных сооружениях. Представление результатов патентного поиска

В последнее время предлагаются различные типы аэрационных устройств для улучшения биологической очистки. Наиболее высокая активность систем очистки сточных вод наблюдается в сочетании биохимических процессов окисления и сорбции, биофлотации и микрофлотации, использование биореакторных фильтров с восходящим потоком воды [24].

«Сточные воды, поступающие на очистные сооружения, характеризуются значительной неравномерностью как по притоку, так и по составу. Неустойчивость и многофакторный характер состава водного потока по количественным и качественным параметрам оказывают сильное влияние на процессы биохимической очистки сточных вод в аэротенке» [8].

Эффективность очистки и надежность работы биологической очистки на очистных сооружениях определяются уровнем эффективности управления процессами, лежащими в основе биологической очистки.

Наиболее эффективным решением проблемы оперативного управления очистными сооружениями является математическое моделирование системы. В дополнение к получению точной модели необходимо техническое оборудование, такое как серийная контрольно -измерительная аппаратура с селективными датчиками для непрерывного контроля концентрации основных ингредиентов.

«Суть автоматизированного контроля биохимической очистки сточных вод заключается в следующем: на основе предложенного предложения определенного объема и качества воды ситуации на биохимических операционных системах предусматриваются носовой камерой, прогноз сравнивается с реальным состоянием сооружений. Если оборудование не может обеспечить необходимую степень очистки, часть воды из носовой камеры направляется в установку. Если на объекте имеется резерв, азот из блока отправляется на очистку» [8].

Чтобы контролировать процесс биохимической очистки сточных вод, необходимо иметь данные не только о возможности биохимического уничтожения определенных типов загрязняющих веществ, но и об их способности ускорять или ингибировать биохимический процесс. «Требуются данные о конкретной степени влияния совокупности загрязняющих веществ на скорость их окисления, допустимых пределах изменения содержания загрязнений. В частности, существует проблема определения необходимой массы азота и фосфора» [20].

Проведён поиск патентной информации, где описаны свойства устройств для математического моделирования биологической очистки сточных вод. Анализ патентов приведен в таблице 6 [13].

Таблица 6 – Анализ источников патентной информации по теме «Математическое моделирование биологической очистки сточных вод»

Автор патента	Дата начала действия патента	Сущность предлагаемого решения	Результативность предлагаемых решений
Кулаков А.А., Лебедева Е.А.	26.07.2012	<p>С целью повышения точности моделирования процессов биологической очистки сточных жидкостей предлагается устройство, способное моделировать процессы биологической очистки стоков в аэробных, аноксидных и анаэробных условиях, а также учитывающее гидродинамику потоков и массообмен. Устройство относится к области охраны окружающей среды и может быть использовано для изучения процессов биологической очистки сточных жидкостей с последующим илоразделением с целью подбора, отработки и последующего внедрения на стадии проектирования технологии биологической очистки при строительстве новых или реконструкции (модернизации) действующих натуральных сооружений.</p>	<p>Устройство позволяет исследовать следующие технологии очистки сточных жидкостей:</p> <ul style="list-style-type: none"> - традиционную биологическую очистку; - биологическую очистку с продленной аэрацией с протеканием процессов нитрификации; - глубокую биологическую очистку от соединений азота; - глубокую биологическую очистку от соединений азота и фосфора. <p>Техническим результатом является повышение точности моделирование процессов и увеличение барьерных возможностей натуральных сооружений биологической очистки сточных жидкостей в аэробных, аноксидных и анаэробных условиях за счет оптимизации гидродинамики потоков и процессов массообмена. Проведённые теоретические и экспериментальные исследования показали эффективность применения добавки при моделировании работы сооружений искусственной биологической очистки сточных жидкостей с медленно оседающими илами для повышения дозы ила и с целью предотвращения его выноса из системы.</p>

2.2 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования в данной работе являются очистные сооружения предприятия ООО «Автоград – Водоканал».

На насосные станции предприятия поступают хозяйственно - бытовые сточные воды от Автозаводского района г.о. Тольятти, предприятий промышленно-коммунальной зоны, «ТЭЦ ВАЗа» Самарского филиала ОАО «Волжская ТГК» и от промышленной площадки ОАО «АВТОВАЗ».

Проектная производительность очистных сооружений составляет 290,681 тыс. м³/сутки. На коммунально – бытовые стоки приходится – 134,58 тыс. м³/сутки, на промышленные – 27,13 тыс. м³/сутки.

«Площадка биологических очистных сооружений расположена в 1,5 км к югу с. Васильевка. Очищенные сточные воды после блока доочистки (каркасно-засыпных фильтров) перекачиваются насосной станцией на ультрафиолетовое обеззараживание с последующим сбросом в Саратовское водохранилище. Выпуски расположены в районе п. Федоровка на п/о Копылова на левом берегу водохранилища на расстоянии 1465 км от устья реки Волга, в 10 км ниже плотины Волжской ГЭС, на несудоходном участке реки» [3].

2.3 Систематизация природоохранной документации в области водоотведения

Перечень природоохранной документации на действующем предприятии определен законодательством Российской Федерации в области охраны окружающей среды, постановлениями Правительства России, распоряжениями и приказами Министерства природных ресурсов (МПР) России.

Требования к очищенной сточной воде, а также к её количественному и качественному составу определены в следующих документах:

- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
- Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 №416-ФЗ.
- «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 №74-ФЗ (ред. от 29.07.2017).
- СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».
- Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 №552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно - допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

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 в системы канализации Автозаводского района. Данные нормативы приведены в таблице 5 [21].

Вывод: для определения загрязняющих веществ лучшим индикатором являются микроорганизмы. Численное преобладание любого из компонентов биоценоза служит показателем стабильности и эффективности процесса очистки сточных вод.

На данный момент биологическая очистка не может справиться с задачей очистки сточных вод, из-за неудовлетворительной работы аэротенков и вторичных отстойников. Этому свидетельствуют превышения концентраций взвешенных веществ.

Необходимо смоделировать систему биологической очистки для прогнозирования изменения концентраций загрязняющих веществ.

2.4 Технологическая схема очистки сточных вод

Схема технологической очистки сточных вод на очистных сооружениях ООО «Автоград – Водоканал» представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Технологическая схема очистки сточных вод на предприятии «Автоград – Водоканал»

Данная технологическая схема включает в себя три стадии очистки: механическая очистка, биологическая и этап доочистки. «Расход сточных вод, мощность водоёма, расчёт необходимой степени очистки, рельеф местности, энергетические затраты – являются факторами, от которых зависит выбор метода очистки сточных вод и определение состава сооружений» [23].

2.4.1 Биологическая очистка сточных вод

Биологический метод очистки сточных вод используется для очистки промышленных и бытовых сточных вод от органических и неорганических загрязнителей. Этот процесс основан на способности микроорганизмов использовать вещества, которые загрязняют сточные воды, для питания в течение их жизни. Основным процессом, который происходит при биологической очистке сточных вод, является биологическое окисление. Оно осуществляется сообществом микроорганизмов (биоценозом), которое состоит из множества различных бактерий, простейших водорослей, грибов и т.д., которые связаны в единый комплекс сложными взаимосвязями (метаболизм, симбиоз и антагонизм). Доминирующая роль в этом сообществе принадлежит бактериям [20].

Технологическая схема биологической очистки сточных вод представлена на рисунке 3.

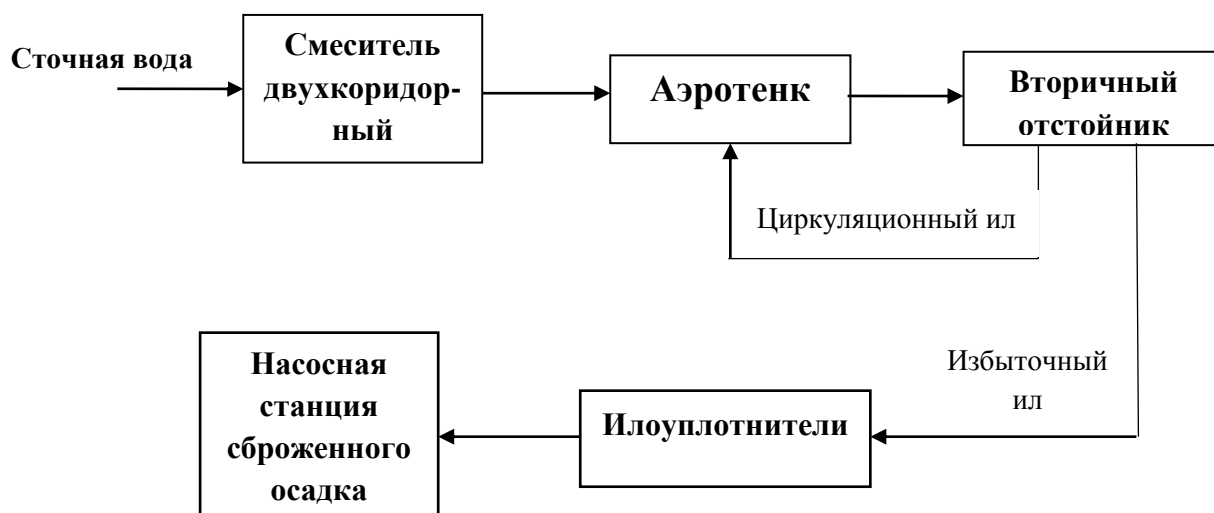


Рисунок 3 – Схема биологической очистки сточных вод

2.4.1.1 Аэротенк

На предприятии «Автоград-Водоканал» работают семь аэротенков.

Аэротенк представляет собой железобетонный прямоугольный резервуар. В нём происходит аэробная биологическая очистка воды, за счёт свободно плавающего активного ила, биомасса которого питается загрязнёнными веществами.

«Сточные воды поступающие в аэротенк смешиваются с микроорганизмами, которые находятся в водной суспензии. На дне аэротенка установлены воздуходувки, которые постоянно подают воздух для насыщения среды кислородом. Пузырьки воздуха вступают в контакт с жидкостью и поэтому определённое количество кислорода растворяется в жидкости» [23].

Процесс очистки происходит в аэробных условиях, то есть с участием кислорода и сопровождается образованием CO_2 и H_2O . Поэтому этот процесс называется биологическим окислением. Схема биологического окисления представлена на рисунке 4.

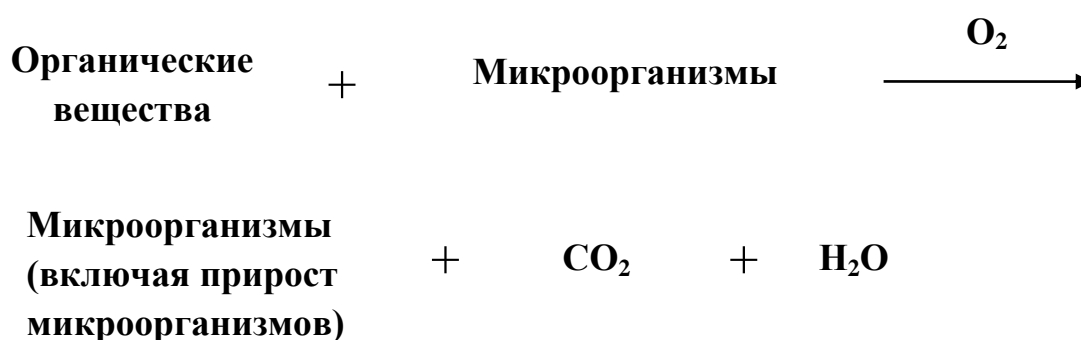


Рисунок 4 – Схема биологического окисления

Кислород необходим микроорганизмам для дыхания и в результате они получают энергию, необходимую для биосинтеза новых микроорганизмов.

2.4.1.2 Вторичные отстойники

На очистных сооружениях в настоящее время работает шесть вторичных отстойников диаметром 40 м.

Вторичные отстойники – железобетонные цилиндрические резервуары с коническим днищем. «В них очищается вода от взвешенных веществ и большая часть ила возвращается обратно в аэротенк. Отстойники помогают сконцентрировать ил и сохранить его физическую активность» [7].

Сточная вода вместе с активным илом из аэротенка по лотку самотёком поступает во вторичные отстойники. «Во вторичных отстойниках активный ил под действием силы тяжести опускается на дно, а осветлённая, очищенная вода через зубчатые переливы по лоткам направляется в ершовый смеситель на дезинфекцию и далее в контактный резервуар» [24].

Продолжительность отстаивания составляет два часа, так как развитие анаэробных процессов и процессов самораспада крайне нежелательно. За этот период концентрация ила в осадке (по абсолютно сухим веществам) достигает 4-8 г/дм³.

Масса активного ила непрерывно увеличивается, поэтому образуется избыточный активный ил. Он направляется на переработку в илоуплотнители, либо в первичные отстойники.

2.4.1.3 Технологические характеристики работы аэрационных сооружений

Данные характеристики необходимы для построения удовлетворительно работающей модели, для того, чтобы с её помощью спрогнозировать изменение концентраций загрязняющих веществ в сточной воде.

- 1) «Доза активного ила a_i – количество активного ила в единице объёма иловой смеси, г/л. Зависит от нагрузки на ил и составляет в среднем $2 \div 3$ г/л.
- 2) Нагрузка на активный ил q_i – количество загрязнений, поданных в аэротенк в пересчёте на скорость окисления загрязнений – величина

снятой БПК_{полн} отнесённая к массе ила и длительности аэрации. Диапазон составляет 80-200 мг/г.

- 3) Иловый индекс J_i – объём, который занимает 1 г сухого вещества активного ила после 30-минутного отстаивания иловой смеси. Этот показатель характеризует седиментационную способность. Хорошо оседающий активный ил имеет индекс $60 \div 150 \text{ см}^3/\text{г}$. Перегрузка или недогрузка приводит к резкому уменьшению индекса.
- 4) Возраст активного ила – продолжительность его пребывания в аэрационной системе, сут.» [11].

Так же нужно знать какие факторы влияют на рост и жизнедеятельность микроорганизмов. К ним относятся [26]:

- 1) Температура

Жизнеспособность бактерий напрямую зависит от температуры. Оптимальная температура для аэробного процесса равна 20-30 °С. Если она будет превышена, произойдёт гибель микроорганизмов, что снизит эффективность очистки.

- 2) Величина рН.

Оптимальный рН = 6,5-7,5; но для каждого типа бактерий данные значения свои, некоторым необходима кислая среда, кому-то щелочная.

- 3) Содержание биогенов

Азот и фосфор относятся к биогенным элементам. Они необходимы бактериальной клетке в качестве строительного и энергетического материала.

- 4) Уровень питания.

Это величина суточной нагрузки по загрязнениям в пересчёте на 1 м³ очистного сооружения, приходящегося на 1 г биомассы.

- 5) Токсичные вещества.

Хотя бактерии и питаются токсическими веществами, их превышение крайне нежелательно, так как возможна задержка роста и развития микроорганизмов, и даже их гибель. Поэтому необходим контроль за превышением ПДК загрязняющих веществ на очистных сооружениях.

2.4.1.4 Гидробиологический состав биомассы активного ила.

Микроорганизмы способны образовывать биоценоз зоогенных скоплений (колоний) бактерий и простейших организмов (активный ил), играющий ключевую роль в биологической очистке воды. Активный ил представляет собой экосистему, включающую сложный комплекс микроорганизмов различных классов, простейших микроскопических червей, водорослей. Количество микроорганизмов в активном иле еще называют биомассой. На очистных сооружениях «Автоград-Водоканала» при удовлетворительном процессе очистки сточных вод в аэротенках численность микроорганизмов составляет 30 и более. В активном иле присутствуют все физиологические группы микроорганизмов: простейшие; бактерии; грибы; водоросли; многоклеточные. Все организмы пребывают на разных трофических уровнях. Представители активного ила представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Представители активного ила

Трофический уровень	Наименование группы микроорганизмов	Наименование рода микроорганизмов
I	Простейшие	Паразитические одноклеточные <i>Trypanosoma</i>
	Гетеротрофные бактерии	<i>Streptococcus pyogenes</i>
	Водоросли	Сине-зелёные водоросли <i>Cyanobacteria</i>
	Сапрофитные грибы	Дрожжеподобные грибы <i>Candida albicans</i>
II	Голозойные простейшие	Жгутиконосцы <i>Bodo</i> ; саркодовые амёбы; реснитчатые инфузории <i>Ciliata</i>
III	Сосущие инфузории <i>Suctorina</i>	<i>Podophrya</i> , <i>Tokophrya</i> , <i>Acineta</i>
	Хищные коловратки	<i>Colurella adriatica</i> , <i>Brachionus calyciflorus calyciflorus</i>
	Тихоходки	<i>Heterotarting</i> и <i>Eutardigrada</i>
	Хищные грибы	<i>Zoophagus tentaculum</i>
	Черви	<i>Chaetogaster</i>

Удовлетворительную работу аэротенков и эффективность очистки показывают такие микроорганизмы как: хищные коловратки, сосущие инфузории, черви рода Chaetogaster, тихоходки.

2.5 Анализ качества стоков на очистных сооружениях ООО «Автоград – Водоканала»

«Проектная производительность очистных сооружений составляет 290,681тыс. м³/сутки. Стоки подразделяются на коммунально – бытовые, промышленные и ливневые. На коммунально – бытовые стоки приходится - 134,58 тыс. м³/сутки, на промышленные - 27,13 тыс. м³/сутки.

Сточная вода смешанного типа поступает от Автозаводского района г.о. Тольятти, предприятий промышленно-коммунальной зоны, «ТЭЦ ВАЗа» Самарского филиала ОАО «Волжская ТГК» и от промышленной площадки ОАО «АВТОВАЗ» [3].

В таблице 3 приведён состав стоков, которые поступают на очистные сооружения.

Таблица 3 – Состав стоков на ООО «Автоград – Водоканал»

Показатели	Норматив допустимого сброса, мг/дм ³	Среднее значение веществ, поступающих со сточной водой
рН	6,5 – 8,5	7,4
Взвешенные вещества	155,3	120,3
БПК _{полн.}	150,0	156,1
ХПК	230,0	302,9
Сухой остаток	505,85	539,6
Ион аммония	13,0	30,2
Нитрат-ион	8,21	1,7
Нитрит-ион	1,66	0,84
Железо общее	0,9	1,32
Медь	0,006	0,058
Хлориды	59,23	60,1
АПАВ	0,97	1,498

Продолжение таблицы 3

Показатели	Норматив допустимого сброса, мг/дм ³	Среднее значение веществ, поступающих со сточной водой
Фосфаты	2,1	2,5
Нефтепродукты	1,47	1,39
Цинк	0,023	0,125
Никель	0,0064	0,052
Хром ⁶⁺	0	<0,01
Алюминий	0,15	0,39
Сульфиды	0	6,02
Фенолы	0	0,0645
Кадмий	0	0,0004
Свинец	0	0,0014

По данным в таблице 3 видно, что в сточной воде до очистки превышены концентрации тяжёлых металлов, иона аммония, железа, хлоридов, АПАВ, сульфатов, фосфатов, нефтепродуктов, сульфидов, ХПК, БПК_{полн.}. Из-за наличия большого количества ПАВ образуется пена, которая тормозит биохимические процессы при биологической очистке.

В таблице 4 приведены значения после полной очистки сточной воды и перед сбросом в Саратовское водохранилище.

Таблица 4 – Состав стоков после очистки

Показатели	Предельно-допустимый сброс, мг/дм ³	Среднее значение веществ в очищенной воде
рН	6,5 – 8,5	7,3
Взвешенные вещества	4,66	7,45
БПК _{полн.}	3,0	6,2
ХПК	30,0	30,1
Сухой остаток	505,85	502,4
Ион аммония	0,26	0,259
Нитрат-ион	37,3	72,4
Нитрит-ион	0,07	0,078
Железо общее	0,18	0,21
Медь	0,001	0,0026
Хлориды	59,23	53,9
АПАВ	0,97	1,498

Продолжение таблицы 4

Показатели	Предельно-допустимый сброс, мг/дм ³	Среднее значение веществ в очищенной воде
Сульфаты	96,6	124,3
Фосфаты	1,96	5,14
Нефтепродукты	0,044	0,043
Цинк	0,007	0,0112
Никель	0,0032	0,0024
Хром ⁶⁺	0	<0,01
Алюминий	0,021	0,049
Сульфиды	0	<0,02
Фенолы	0	<0,0005
Кадмий	0	<0,0002
Свинец	0	<0,002

В таблице 4 выделены те вещества, которые имеют превышение концентраций в очищенной воде. Исходя из этих данных можно сделать вывод, что процесс очистки неудовлетворительный, и это сказывается на качестве воды на выходе в Саратовское водохранилище, а так же это может привести к гибели всего биоценоза.

В таблице 5 приведено влияние приоритетных загрязняющих веществ на окружающую среду и человека.

Таблица 5 – Влияние приоритетных загрязняющих веществ

Наименование вещества	Воздействие на окружающую среду и на человека
БПК _{полн.}	При попадании этих веществ в водоёмы есть большой риск отравления и гибели животных. Нехватка кислорода для жизни живых организмов водоёма.
Нитрат-ион	Сильное цветение водоёма, из-за гигантского скопления фитопланктона и следовательно нарушение биохимических процессов. Отравление организма человека.
Железо общее	Массовая гибель рыб и других гидробионтов. Ухудшение качества воды по органолептическому показателю. Оказывает токсическое действие на организм человека.
Медь и цинк	Гибель рыб и дафний. Цветение водоёма из-за повышенного роста сине-зелёных водорослей. Превышение концентраций приводит к нарушению функций работы всего организма.

Продолжение таблицы 5

Наименование вещества	Воздействие на окружающую среду и на человека
АПАВ	Тормозят распад канцерогенных веществ, нарушают процессы биохимического потребления кислорода, аммонификации и нитрификации. «Способствуют повышению эпидемиологической опасности воды, а также химическому загрязнению воды веществами высокой биологической активности» [21]. Способны вызвать нарушения важных функций клетки, и даже её гибель в организме человека.
Сульфаты	Ухудшение гигиенических условий водоёма. Изменение резистентности рыб.
Фосфаты	Способствуют размножению сине-зелёных водорослей, которые в свою очередь препятствуют поступлению солнечного света и кислорода. У человека ухудшается кислотно-щелочной баланс защитного слоя клеток.
Алюминий	Биохимическое проявление интоксикации организма человека. Защелачивание воды и гибель живых организмов в водоёме

Выводы по разделу:

В данном разделе рассмотрены схемы технологического процесса очистки сточных вод и проанализированы свойства биологической очистки. Были установлены факторы, влияющие на жизнеспособность биомассы активного ила.

По статистическим данным очистка сточных вод на предприятии «Автоград-Водоканал» является неудовлетворительной, она негативно влияет на окружающую среду, тем самым снижая способность водоёмов к самоочищению. Из-за превышения предельно-допустимых концентраций в сбрасываемых сточных водах может происходить гибель активного ила и самого водоёма.

Для решения данной проблемы необходимо составление математической модели, которая смогла бы контролировать превышение концентрации загрязняющих веществ в сточной воде.

3 Разработка математической модели биологической очистки сточных вод на городских очистных сооружениях

3.1 Составление и анализ математической модели биологической очистки сточных вод на городских очистных сооружениях

В последние десятилетия концентрации загрязняющих веществ в сточных водах значительно увеличились. Существующие технологии не всегда могут обеспечить необходимую степень очистки. Описание и создание математических моделей этих процессов в настоящее время стало необходимым элементом исследований.

«Поскольку очистные сооружения находятся в постоянно меняющихся условиях (изменения в составе и объеме сточных вод, возможные неисправности оборудования и т. д.), их удовлетворительная работа зависит от многих факторов. В таких условиях работы становится необходимым прогнозировать поведение системы. Для успешного решения задач, связанных с прогнозированием, оперативным управлением и контролем за качеством процесса водоочистки, необходимо комплексное описание гидродинамических, гидрохимических и гидробиологических процессов. Такое описание проводится в настоящее время с использованием методов системного анализа и математического моделирования» [20].

Математическая модель включает в себя уравнения: теплового баланса, равновесия, начальных и граничных условий, гидродинамики потоков, материального баланса и кинетики.

К математической модели предъявляются такие требования как:

- 1) Универсальность – характеризует полноту всех свойств реального объекта.
- 2) Точность – оценивается степенью совпадений значений реального объекта со значениями модели

- 3) Адекватность – свойства могут отражаться с заданной погрешностью.
- 4) Экономичность – характеризуется затратами при реализации модели. «Моделирование должно включать анализ чувствительности процесса к различным нагрузкам и параметрам и учитывать возможные изменения» [9].

Как правило, нагрузка на очистные сооружения характеризуется стандартными параметрами. Однако, так как используется математическое моделирование, возможно проверить модель, введя переменные в специализированную программу. В данной работе использовалась лицензионная программа Mathcad Prime 6.0, а в качестве исходных данных были взяты значения максимальных концентраций приоритетных загрязняющих веществ, обнаруженных при работе очистных сооружений ООО «Автоград-Водоканал». Эти данные взяты из постановления мэрии городского округа Тольятти от 05.02.2010 №254-п/1 «Об утверждении нормативов водоотведения(сброса) по составу сточных вод в системы канализации городского округа Тольятти» [10]. Данные представлены в таблице 6.

Математическая модель зависит от биохимических процессов системы биологической очистки, таких как доза активного ила и нагрузка на него в аэротенке, возраст ила и иловый индекс. Так же важно знать факторы влияющие на рост микроорганизмов – оптимальная температура, рН.

3.1.1 Составление математической модели

Исходные данные для вычислений были взяты из документации предприятия [3], из Постановления мэрии городского округа Тольятти от 05.02.2010 №254-п/1 «Об утверждении нормативов водоотведения(сброса) по составу сточных вод в системы канализации городского округа Тольятти» [10] и из учебного пособия [12].

«Базовыми моделями являются модели Моно и Герберта. Они показывают описание динамики роста микроорганизмов. Модель Моно – это

наиболее простая математическая модель, описывающая кинетику роста популяций за единицу времени (dx/dt) кинетику. Она описывает лимитирующее действие субстрата» [6].

$$\frac{dx}{dt} = V \cdot x, \quad (1)$$

где x – биомасса, г/л;

V – удельная скорость роста микроорганизмов, подчиняющаяся закону Михаэлиса – Ментен:

$$V = V_{max} \cdot \frac{S}{K_M + S}, \quad (2)$$

где V_{max} – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов;

S – концентрация субстрата;

K_M – константа полунасыщения – концентрация субстрата, при которой удельная скорость роста принимает значение половины максимальной.

График, отображающий уравнение Михаэлиса – Ментен изображён на рисунке 5.

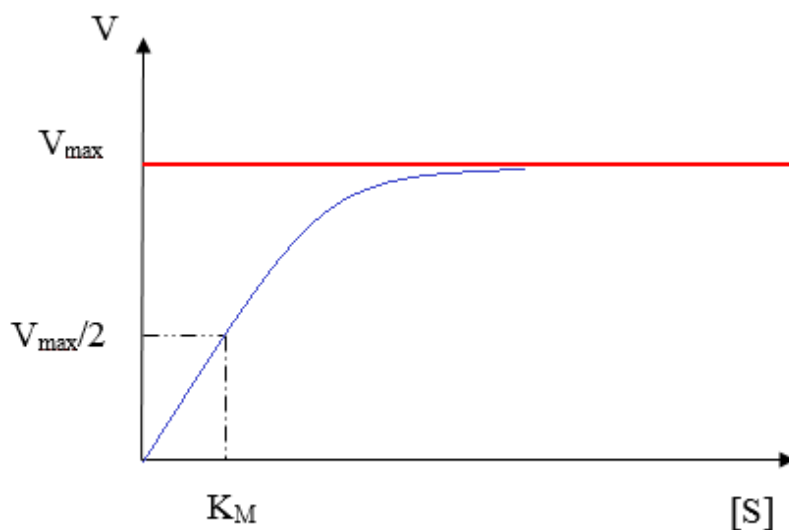
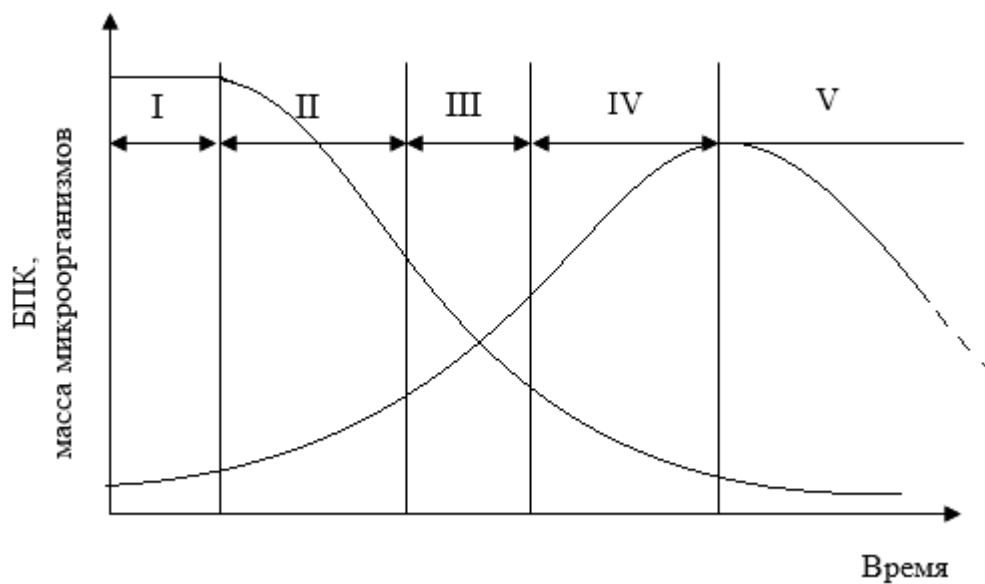


Рисунок 5 – Графическое изображение закона Михаэлиса-Ментен

Этапы роста микроорганизмов представлены на рисунке 6.



I – лаг-фаза; II – фаза экспоненциального роста; III – фаза замедленного роста; IV – фаза нулевого роста; V – фаза эндогенного дыхания

Рисунок 6 – Кривая роста микроорганизмов

В период лаг-фазы не происходит сильного прироста микроорганизмов. Биомасса адаптируется к загрязнённой среде. Бурный рост происходит во время фазы экспоненциального роста (фазы ускоренного роста). Поддерживается максимально-возможная скорость размножения клеток. Скорость роста постепенно начинает сдерживаться в фазе замедленного роста, так как происходит истощение питательных веществ. «В фазе нулевого роста наблюдается прекращение роста микроорганизмов, свидетельствующее о равновесии между наличием питательных веществ и накопительной биологической массой. Во время фазы эндогенного дыхания (фазы самоокисления) начинается распад клеток и их отмирание из-за недостатка питательных веществ. Наблюдается преобладание отмирания клеток над их ростом» [12].

«Рост биомассы и удаление загрязнений удобнее всего рассматривать с позиции ячеечной модели. Ячеечная модель описывает поток сточной жидкости в аэротенке в виде последовательно соединенных ячеек. В каждой из них соблюдается режим полного смешения, параметры в каждой точке одинаковые. Между собой ячейки не смешиваются. Главным параметром такой модели является число ячеек N . Если ячейка в системе одна, то модель базируется на параметрах идеального вытеснения» [9].

В процессе биологической очистки концентрации загрязняющих веществ изменяются вместе с биомассой активного ила. Главной проблемой является поддержание концентрации загрязняющего вещества и микроорганизмов. Концентрация должна быть низкой, а удаление избыточного ила требует значительных затрат.

«Задачей стабилизации является поддержание максимально допустимых концентраций загрязняющих веществ и ила (L_{max} и X_{max} соответственно) в допустимых пределах» [18]:

$$\begin{cases} L(t) \leq L_{max} \\ X(t) \leq X_{max} \end{cases} \quad (3)$$

Математическая модель, описывающая процессы биологической очистки сточных вод, представлена в виде системы дифференциальных уравнений материального баланса, показывающих динамику изменения концентрации загрязнений, активного ила и растворенного кислорода:

$$\frac{dL_{out}^j}{dt} = \frac{Q \cdot (1 + R_i)}{V} \cdot (L_{out(i-1)}^j - L_{out(i)}^j) + R_{Li}^j, \quad (4)$$

где $L_{out(i)}^j$ и $L_{out(i-1)}^j$ – концентрация j-го компонента в рассматриваемой i-й ячейке и в предыдущей, мг/л;

Q – расход поступающей сточной воды, м³/ч;

V – объем ячейки, м³;

R_i – коэффициент рециркуляции активного ила;

R_{Li}^j – скорость потребления j-го субстрата в i-й ячейке, мг/л·ч.

Объем ячейки вычисляется по формуле:

$$V = \frac{Q}{N_a} \quad (5)$$

где $Q = 1211,7 \text{ м}^3$ – расход поступающей сточной воды [3];

$N_a = 1$ – количество ячеек.

$$V = \frac{1211,7}{1} = 1211,7 \text{ м}^3$$

Степень рециркуляции активного ила в аэротенках рассчитывается по формуле:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}, \quad (6)$$

где $a_i = 3 \text{ г/л}$ – доза ила в аэротенке [12];

$J_i = 120 \text{ см}^3/\text{Г}$ – иловый индекс, [12].

$$R_i = \frac{3}{\frac{1000}{120} - 3} = 0,56$$

Удельная скорость окисления субстрата рассчитывается по формуле:

$$R_L^j = R_{max} \cdot \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_i \cdot C_0 + K_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i}, \quad (7)$$

где R_{max} – максимальная скорость окисления, мгБПК_{полн}/(Г·ч);

$L_{вх} = 6,2$ мг/л – БПК_{полн} очищенной воды [12];

$C_0 = 3$ мг/л – концентрация растворённого кислорода [3];

K_i – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мгБПК_{полн}/л;

K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, мгО₂/л;

φ – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г;

Так как в работе рассматриваются городские очистные сооружения то принимаем: $R_{max} = 85$ мгБПК_{полн}/(Г·ч); $K_i = 33$ мгБПК_{полн}/л; $K_0 = 0,625$ мгО₂/л; $\varphi = 0,07$ – данные взяты из учебного пособия [12].

Подставляем значения в формулу (7):

$$R_L^j = 85 \cdot \frac{6,2 \cdot 3}{6,2 \cdot 3 + 33 \cdot 3 + 0,625 \cdot 6,2} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 3} = 10,66 \text{ мг/л} \cdot \text{ч}$$

Для решения уравнения (1) в качестве краевых условий приняты параметры первой ячейки:

$$L_{out(i-1)} = \frac{(L_{out} \cdot R_i + L_{in})}{(1 + R_i)}, \quad (8)$$

где $L_{in} = 120$ мг/л – концентрация j-го компонента в поступающей на очистку воде.

Подставляем значение в формулу (8):

$$L_{out(i-1)} = \frac{(84 \cdot 0,56 + 120)}{(1 + 0,56)} = 107,08 \text{ мг/л}$$

Динамика концентрации активного ила оценивается по формуле:

$$\frac{dX_i}{dt} = \frac{Q \cdot (1 + R_i)}{V} \cdot (X_{i-1} - X_i) + V_{xi}, \quad (9)$$

где X_i и X_{i-1} – концентрация активного ила в рассматриваемой i-той ячейке и в предыдущей ячейке, г/л;

V_{xi} – скорость накопления активного ила, г/л·ч.

Скорость накопления активного ила рассчитывается по формуле:

$$V_{xi} = 5 \cdot \frac{84}{95 + 84} = 2,34 \text{ г/л·ч}$$

Параметры первой ячейки рассчитываются по формуле:

$$X_{i-1} = X_r \cdot \frac{C}{(1 + R_i)}, \quad (10)$$

где X_r – концентрация активного ила в рециркуляционном потоке, г/л.

Подставим значения и получим:

$$X_{i-1} = 10 \cdot \frac{0,56}{(1 + 0,56)} = 3,6 \text{ г/л}$$

Система дифференциальных уравнений, описывающая процесс биологической очистки имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dL_{out}^j}{dt} = \frac{Q \cdot (1+R_i)}{V} \cdot (L_{out(i-1)}^j - L_{out(i)}^j) + R_{Li}^j \\ \frac{dX_i}{dt} = \frac{Q \cdot (1+R_i)}{V} \cdot (X_{i-1} - X_i) + V_{xi} \\ L(t) \leq L_{max} \\ X(t) \leq X_{max} \end{array} \right.$$

Расчёт проводится по загрязняющим веществам: БПК_{полн}, взвешенные вещества, нитрат-ион, фосфаты, сульфаты, АПАВ, железо общее, цинк, алюминий, медь.

Составлена система уравнений, отражающая динамику загрязнений и концентраций биомассы в аэротенке.

Расчёт выполнен с помощью лицензионной программе Mathcad Prime 6.0, исходные данные представлены на рисунке 7, алгоритм решения представлен ниже на рисунке 8. На рисунке 9 представлено решение, полученное в программе Mathcad. На рисунках 10 и 10.1 представлена динамика изменения концентрации загрязняющих веществ и активного ила. На рисунках 11-20 показаны изменения концентрации каждого из загрязнённых веществ и концентрация биомассы в течение времени.

<i>ORIGIN</i> := 1	<i>Cu0</i> := 0	<i>АПАВ0</i> := 0	<i>X</i> :=	72.4
<i>R</i> := 0.56	<i>БПК0</i> := 0	<i>N0</i> := 0		6.2
<i>V</i> := 12111.7	<i>Vzv0</i> := 0	<i>Al0</i> := 0		7.45
<i>Q</i> := 12111.7	<i>Zn0</i> := 0	<i>S0</i> := 0		8.1
<i>Rc</i> := 7.46	<i>P0</i> := 0	<i>I</i> := 6		124.3
<i>Ri</i> := 2.6	<i>Fe0</i> := 0			5.7
				7.81
				6.18
			5.12	
			8.96	
			3	

Рисунок 7 – Исходные данные

$$D(t, X) := \begin{bmatrix} \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (N0 - X_1) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (BPK0 - X_2) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (Vzv0 - X_3) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (P0 - X_4) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (S0 - X_5) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (Zn0 - X_6) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (Fe0 - X_7) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (Al0 - X_8) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (Cu0 - X_9) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (APAV0 - X_{10}) + Rc \\ \frac{Q \cdot (1+R)}{V} \cdot (I - X_{11}) + Ri \end{bmatrix}$$

Рисунок 8 - Алгоритм решения

$$f := \text{rkfixed}(X, 0, 1, 10, D)$$

$$f = \begin{bmatrix} 0 & 72.4 & 6.2 & 7.45 & 8.1 & 124.3 & 5.7 & 7.81 & 6.18 & 5.12 & 8.96 & 3 \\ 0.1 & 62.633 & 5.995 & 7.065 & 7.621 & 107.037 & 5.567 & 7.373 & 5.978 & 5.071 & 8.357 & 3.674 \\ 0.2 & 54.277 & 5.82 & 6.735 & 7.211 & 92.267 & 5.454 & 6.998 & 5.805 & 5.029 & 7.84 & 4.251 \\ 0.3 & 47.128 & 5.67 & 6.453 & 6.86 & 79.631 & 5.357 & 6.678 & 5.658 & 4.994 & 7.399 & 4.744 \\ 0.4 & 41.012 & 5.542 & 6.212 & 6.56 & 68.82 & 5.274 & 6.404 & 5.531 & 4.963 & 7.021 & 5.166 \\ 0.5 & 35.779 & 5.432 & 6.005 & 6.303 & 59.57 & 5.203 & 6.17 & 5.423 & 4.937 & 6.697 & 5.527 \\ 0.6 & 31.302 & 5.338 & 5.828 & 6.083 & 51.656 & 5.142 & 5.97 & 5.33 & 4.915 & 6.421 & 5.836 \\ 0.7 & 27.471 & 5.258 & 5.677 & 5.895 & 44.886 & 5.09 & 5.798 & 5.251 & 4.895 & 6.184 & 6.101 \\ 0.8 & 24.194 & 5.189 & 5.548 & 5.735 & 39.093 & 5.046 & 5.651 & 5.183 & 4.879 & 5.981 & 6.327 \\ 0.9 & 21.39 & 5.13 & 5.437 & 5.597 & 34.137 & 5.008 & 5.526 & 5.125 & 4.865 & 5.808 & 6.52 \\ 1 & 18.991 & 5.08 & 5.343 & 5.479 & 29.897 & 4.975 & 5.418 & 5.076 & 4.853 & 5.66 & 6.686 \end{bmatrix}$$

Рисунок 9 – Таблица решений

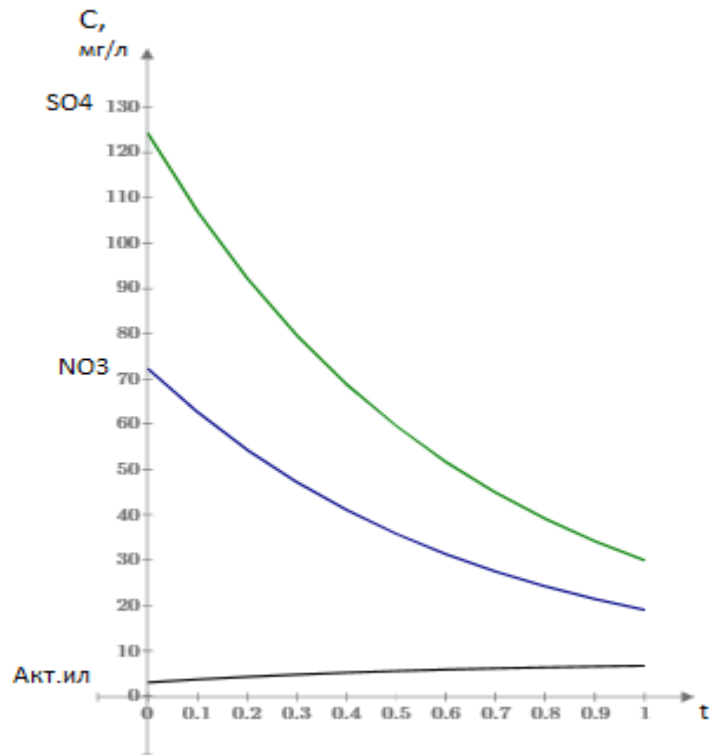


Рисунок 10 – Динамика изменения концентрации загрязняющих веществ и активного ила

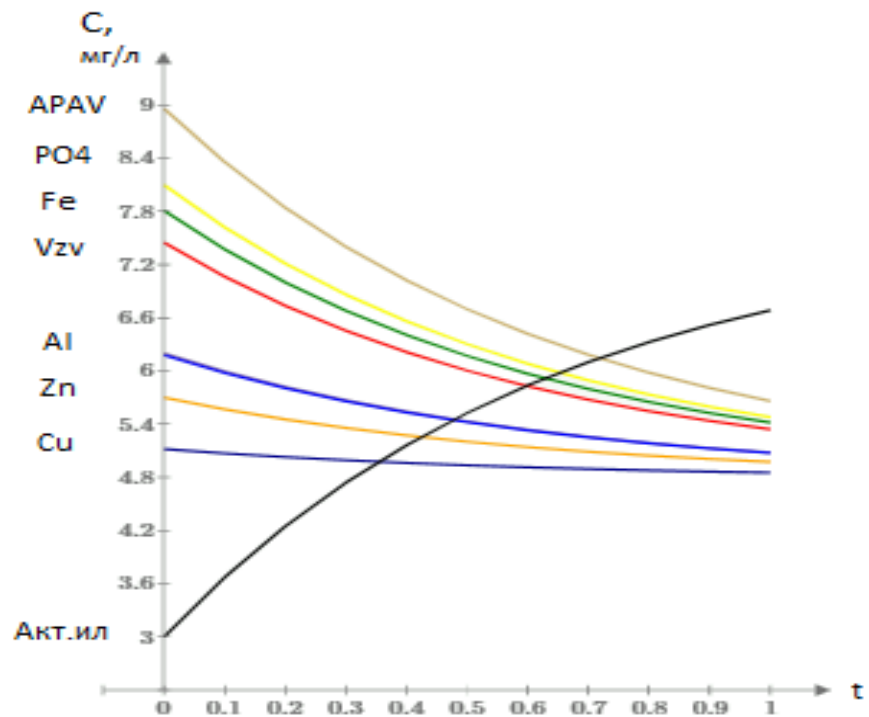


Рисунок 10.1 – Динамика изменения концентрации загрязняющих веществ и активного ила

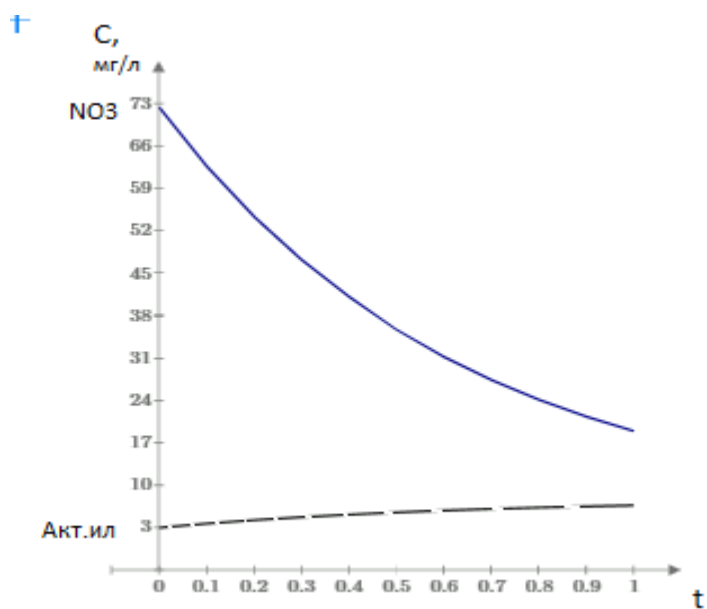


Рисунок 11 – Зависимость концентраций нитрат-иона и биомассы активного ила от времени

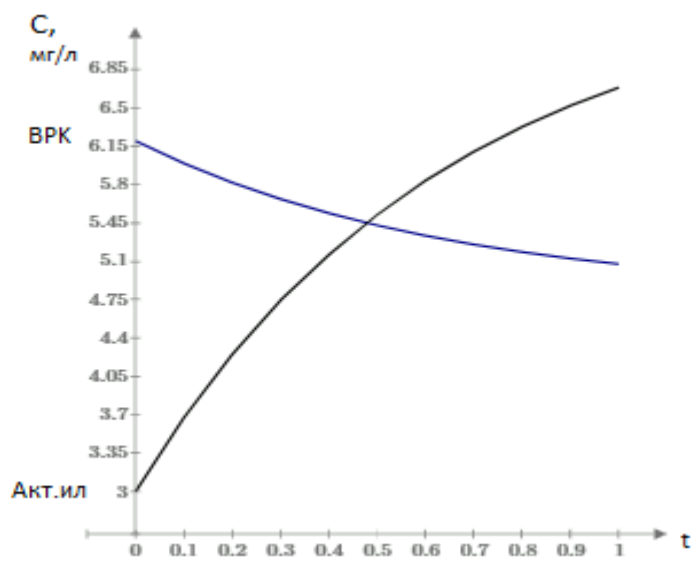


Рисунок 12 – Зависимость концентраций БПК_{полн} и биомассы активного ила от времени

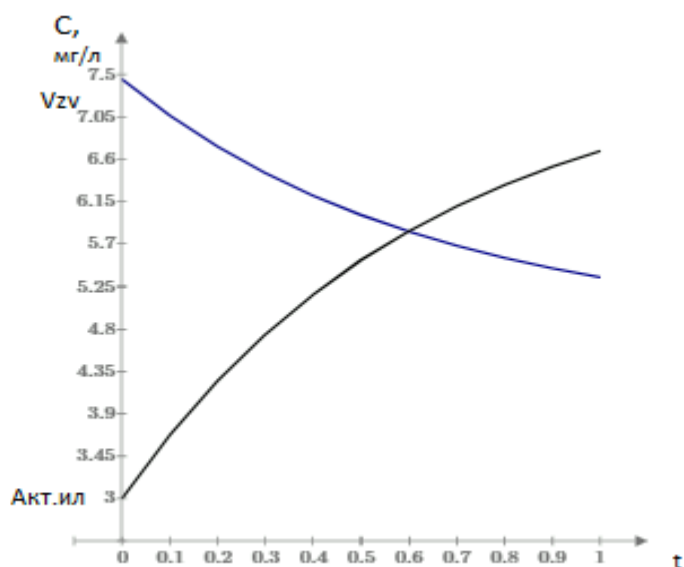


Рисунок 13 – Зависимость концентраций взвешенных веществ и биомассы активного ила от времени

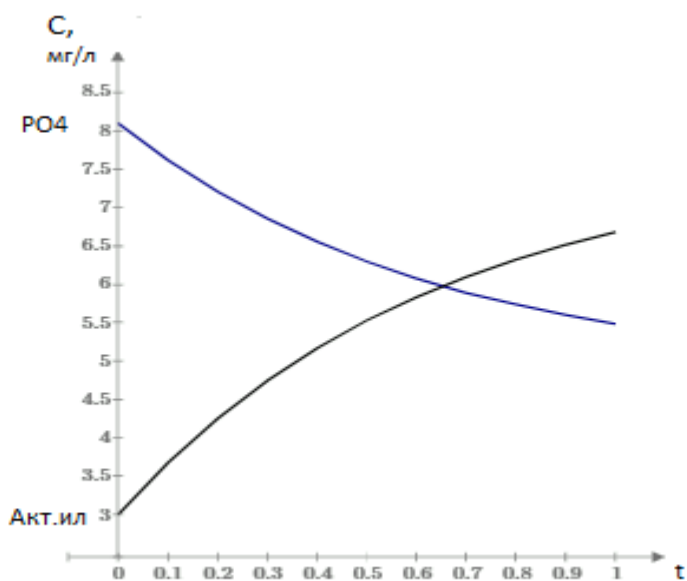


Рисунок 14 – Зависимость концентраций фосфатов и биомассы активного ила от времени

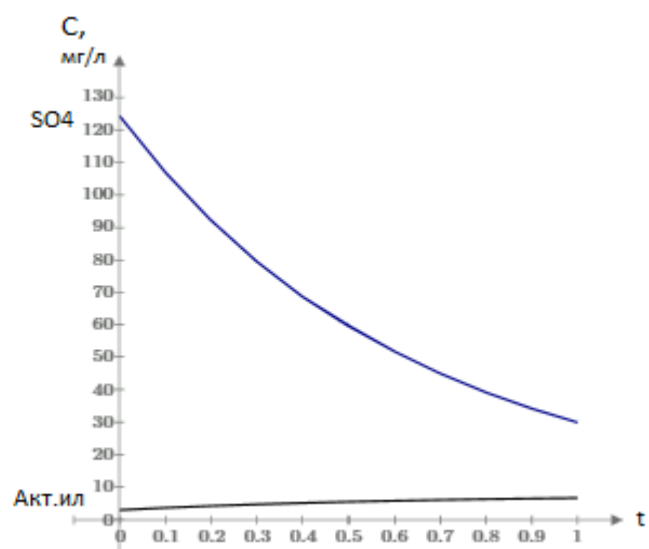


Рисунок 15 – Зависимость концентраций сульфатов и биомассы активного ила от времени

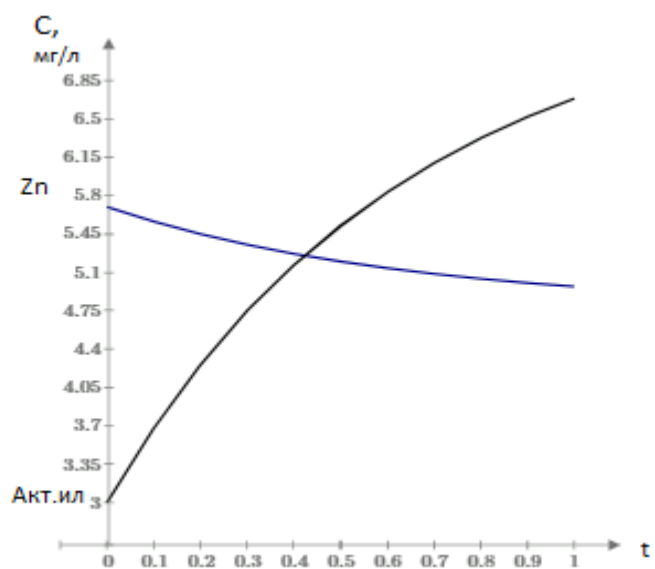


Рисунок 16 – Зависимость концентраций цинка и биомассы активного ила от времени

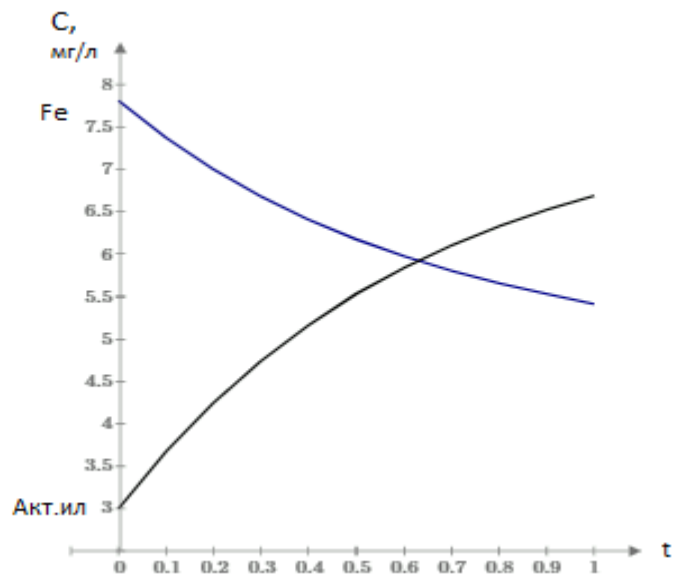


Рисунок 17– Зависимость концентраций железа и биомассы активного ила от времени

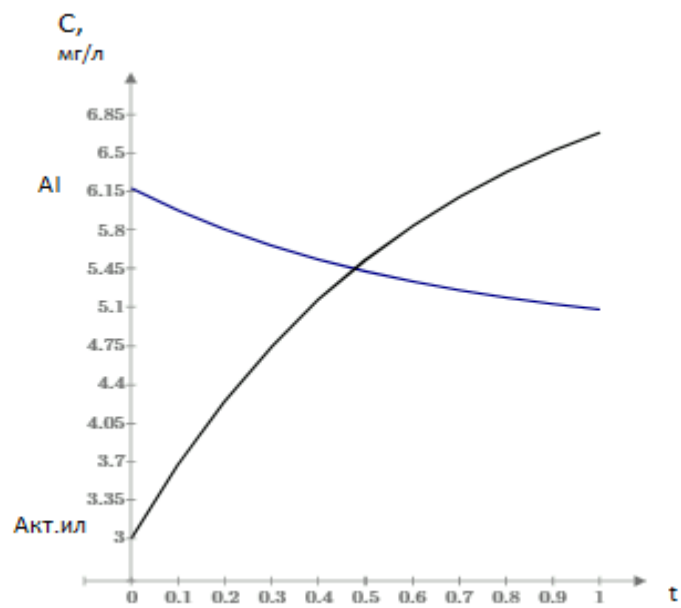


Рисунок 18 – Зависимость концентраций алюминия и биомассы активного ила от времени

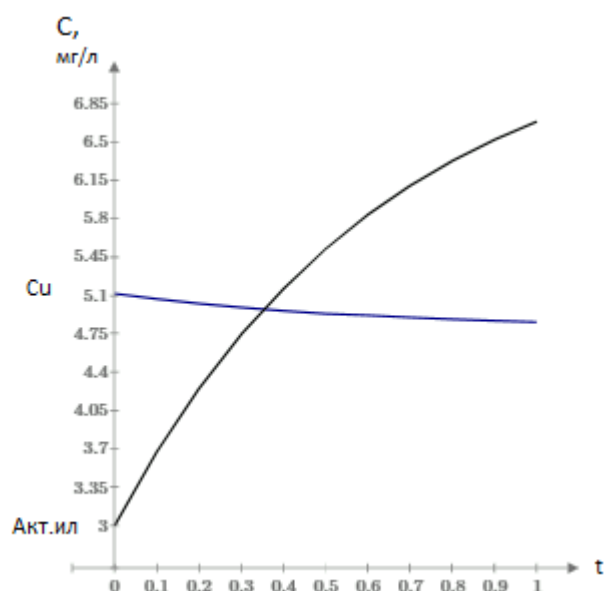


Рисунок 19 – Зависимость концентраций меди и биомассы активного ила от времени

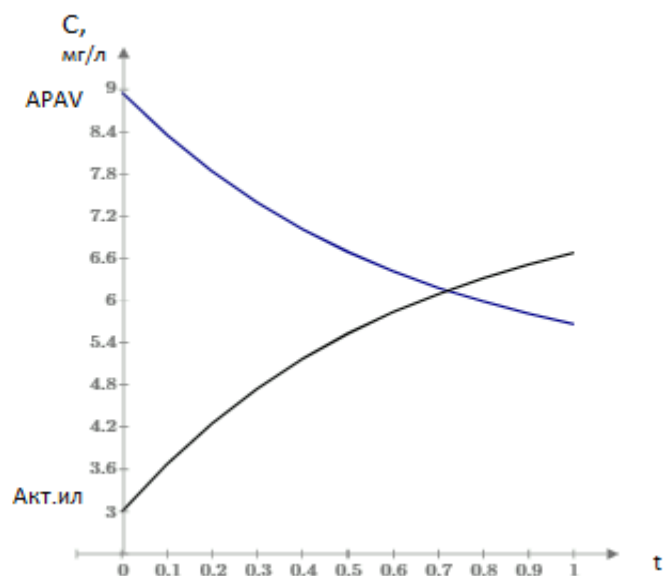


Рисунок 20 – Зависимость концентраций АПАВ и биомассы активного ила от времени

Анализ: представленная на графиках зависимость показывает изменения концентраций загрязняющих веществ и активного ила со временем. Нахождение иловой смеси в аэротенке равно пяти часам. Данное время на графике взято за единицу. Этапы роста биомассы представлены на

рисунке 6. Кривая линия активного ила растёт и вместе с этим происходит снижение концентраций загрязняющих веществ, так как они служат питательными веществами для биомассы активного ила. Фаза эндогенного дыхания (фаза самоокисления) на графике не показана, так как задача работы стоит в снижении концентраций загрязнённых веществ до предельно-допустимых значений, а не в полном их удалении. Так же не все вещества достигли предельно-допустимых концентраций из-за высоких концентраций на входе в аэротенк. Следовательно, питательных веществ для биомассы предостаточно и отсутствует преобладание отмирания клеток над их ростом.

«В настоящее время нет общепринятой математической модели роста популяции микроорганизмов, которая достаточно точно описывала бы кинетику накопления биомассы в условиях периодического культивирования» [33].

Эффективность очистки зависит от количества и качества активного ила в очищаемой сточной воде. На качество активного ила влияет нагрузка на активный ил и его возраст. Количество активного ила или доза активного ила принимается от 2 до 4 г/л (в данной работе концентрация ила равна 3 г/л). Чем больше концентрация ила в воде, тем интенсивнее будет протекать процесс очистки. Но при условии, что будет достаточное количество кислорода и хорошее перемешивание очищаемой воды, активного ила и воздуха.

«Одной из главных характеристик эффективности очистки является окислительная мощность аэротенка, которая является показателем нагрузки на ил, а так же показателем удельной скорости окисления, т.е. потенциальной эффективностью разложения органических загрязнений. Это основной технологический параметр, определяющий уровень развития биоценоза активного ила на городских очистных сооружениях» [33].

Данная величина находится по формуле:

$$G=24 \cdot a_{cp} \cdot X \cdot \rho, \quad (11)$$

где $X = 0,3$ – доля беззольного вещества ила [12];

24 – постоянный коэффициент, служащий для перевода;

ρ – удельная скорость окисления загрязняющих веществ, г/г·час;

$a_{cp} = 3$ г/л – средняя доза активного ила [12].

ρ находится по формуле:

$$\rho = \frac{L_{ocв} \cdot L_{очищ}}{a_{cp} \cdot (1-S) \cdot T}, \quad (12)$$

где $L_{ocв} = 0,15$ г/л - биохимическое потребление кислорода после
первичных отстойников, мг/л [3];

$L_{очищ} = 0,06$ г/л - биохимическое потребление кислорода после
вторичных отстойников, мг/л [3];

$S = 30\%$ – зольность ила [12];

$T = 5$ ч – период аэрации [3].

Подставляем значения в формулу (12):

$$\rho = \frac{0,15 \cdot 0,006}{3 \cdot (1-0,3) \cdot 5} = 0,0085 \text{ г/г} \cdot \text{час}$$

Полученное значение подставляем в формулу (11):

$$G = 24 \cdot 3 \cdot 0,7 \cdot 0,0085 = 0,43 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$$

Полученная окислительная мощность аэротенков укладывается в интервал от 0,1 до 1,5 кг/(м³·сут), который устанавливается для очистки воды

на городских очистных сооружениях, следовательно очистка является удовлетворительной.

3.2 Проектирование системы биологической очистки сточных вод на городских очистных сооружениях на основе представленной математической модели

Представленная математическая модель является инструментальным средством при разработке систем управления процессами водоочистки на стадии проектной проработки, а так же отработки алгоритмов управления в режиме имитации объекта и системы управления. Она может применяться на любых городских или производственных очистных сооружениях. Для более эффективной работы модели необходимо разработать алгоритм автоматизации системы очистки сточных вод. Это возможно сделать с помощью специальных датчиков, которые контролируют состав и параметры сточных вод на входе в очистные сооружения. Устройство для устранения возможных отклонений – резервуар для разбавления сточной воды, выравнивающий концентрации веществ и температурный параметр.

«Датчик измеряет концентрацию данного вещества, преобразует и усиливает сигнал, подает его на контроллер, а оператор или автоматизированная система управления принимает решение о дальнейших действиях. Если допустимые концентрации загрязняющих веществ, которые могут вывести систему биологической очистки из равновесия, превышены, поток сточных вод в аэротенки прекращается, они направляются в усреднитель, где они разбавляются до приемлемой концентрации» [18].

Для проведения подготовительного этапа биологической очистки используются различные модели установок усреднения сточных вод. В зависимости от требуемой суточной производительности, конструкции и оснащения дополнительными функциями, возможно выбрать любую установку для биологической очистки на очистных сооружениях.

Выводы к разделу:

В данном разделе была спроектирована математическая модель, которая определяет воздействие загрязняющих веществ на рост биомассы активного ила. Она может обнаруживать отклонения концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, избегая критических значений, при которых биоценоз активного ила может смертельно подвергаться воздействию токсичных веществ. Это может привести к вспуханию ила, что крайне нежелательно.

С помощью разработанной модели концентрации загрязняющих веществ снизились, но не все вещества достигли предельно-допустимые значения, из-за высоких показателей концентраций на входе в аэротенк. Для эффективной работы данной модели необходимо специальное оборудование для разбавления стоков до подачи на биологическую очистку.

Заключение

В данной бакалаврской работе для решения поставленных задач была проанализирована система биологической очистки сточных вод на городских очистных сооружениях и были выявлены приоритетные загрязняющие вещества.

Для снижения концентраций данных веществ была спроектирована модель, которая строится на максимальных концентрациях загрязняющих веществ и позволяет улучшить качество очистки сточной воды за счёт обнаружения отклонения концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на очистные сооружения.

Данная модель определяет воздействие загрязняющих веществ на рост биомассы активного ила и избегает критических значений, при которых биоценоз активного ила может смертельно подвергаться воздействию токсичных веществ. Это воздействие было отражено на графиках. Так же была рассчитана окислительная мощность аэротенков. По полученным данным эффективность очистки является удовлетворительной. Но из-за того, что не все концентрации загрязняющих веществ снизились до предельно-допустимых значений, из-за высоких концентраций на входе в аэротенк, необходима установка специального оборудования для разбавления сточных вод перед поступлением на этап биологической очистки. Это поможет улучшить эффективность очистки.

Таким образом, цель и поставленные задачи были выполнены.

Список используемой литературы

1. Ануфриев В.Н. Технологии обработки осадков сточных вод. Экология на предприятии. 2017. №5(71). с. 84-95.
2. Аэрируемые песколовки. URL: <https://msd.com.ua/kanalizaciya/aeriruemye-peskolovki/> (дата обращения: 02.05.2020).
3. Биологические очистные сооружения. URL: <https://www.avkvoda.ru/about/activities/voo> (дата обращения: 01.04.2020).
4. Биологическая очистка сточных вод. URL: <http://global-aqua.ru/ochistka-stochnykh-vod/biologicheskaya-ochistka-stochnykh-vod.html/> (дата обращения: 20.02.2020).
5. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М. : Наука. 1978.
6. Понкратова С.А., Емельянов В.М., Сироткин А.С, Шулаев М.В. Математическое моделирование и управление качеством очистки сточных вод. 2014. 10 с.
7. Гельфанд Е.Д. Основы биологической очистки сточных вод : учеб. пособие; Архангельск. 2012. 12 с.
8. Журавлёва Л.Л. Эффективная технология очистки сточных вод. Саратов, 1998. 144 с.
9. Назмудинова Ж.В., Соболева С.В. Исследование моделирования процесса биологической очистки сточных вод// Техносферная безопасность. 2018.
10. Постановление мэрии городского округа Тольятти от 05.02.2010 №254-п/1 «Об утверждении нормативов водоотведения(сброса) по составу сточных вод в системы канализации городского округа Тольятти».

11. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

12. Гудков А.Г. Биологическая очистка сточных вод : учеб. пособие; Вологда : ВоГТУ. 2012. 127 с.

13. Гирявец Е.Д. Разработка математической модели, позволяющей регулировать процессы вспухания активного ила на примере предприятия ЗАО «Тольяттисинтез». 2016.

14. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзилфер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод. М.: Стройиздат, 1977.

15. Игнатов Д.В. Совершенствование технологии очистки сточных вод на примере очистных сооружений г.о. Жигулевск. 2017.

16. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. МИР. 2004. 471 с.

17. Каракеян В.И.. Процессы и аппараты защиты окружающей среды в 2 ч. Часть 1: учебник и практикум для академического бакалавриата. М : Юрайт. 2019. 277 с.

18. Гирявец Е.Д. Моделирование системы биологической очистки сточных вод на городских очистных сооружениях. 2018.

19. Смирнов Н.В. Математическое моделирование процесса биологической очистки сточных вод// Ярославский педагогический вестник. 2012. №3. с. 44-49.

20. Кольцов В.Б., Кольцова О.В.. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. М. : Юрайт, 2016. 588 с.

21. Очистка сточных вод. URL: <http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/1868/3/00752.pdf/> (дата обращения 02.05.2020).

22. Кулаков А.А., Лебедева Е.А.. Пат. 123772 МПК C02F 3/34. Устройство для моделирования процессов искусственной биологической очистки сточных жидкостей. 2012132201/10; опубл. 2013.01.10. 13 с.
23. Семёнов И.П., Скоробогатая И.В. Сооружения по очистке хозяйственно-бытовых сточных вод и оценка эффективности их работы. Минск БГМУ. 2017.
24. Смирнов Н.В. Управление процессом биоочистки воды в аэротенке. Москва. 2014.
25. Технологии очистки стоков. URL: https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00607147_0.html/ (дата обращения 27.03.2019).
26. Фабер Е.С. Разработка технологических решений по повышению качества очистки сточных вод на предприятие ООО «АВТОГРАД ВОДОКАНАЛ». 2016.
27. Швецов В.Н., Морозова К.М. Расчёт сооружений биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №11. с. 42-47.
28. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. Москва, 2016. 704 с.
29. Схема водоснабжения и водоотведения городского округа Тольятти на период с 2014 до 2028 года. №745-14/67-ПЗ-НК.
30. Composition of bacterial communities in municipal wastewater treatment plant / Lei Zhang, Zhen Shen, WangkaiFang, Guang Gao// Elsevier. 2019. № 689. 11 с.
31. Municipal wastewater treatment plants coupled with electrochemical biological and bio-electrochemical technologies: Opportunities and challenge toward energy self-sufficiency / Jiawei Tang, Chunhui Zhang, Xuelu Shi, Jiajun Sun, Jeffrey A. Cunningham// Elsevier. 2019. №234. с. 397-403.

32. Recent advances in energy efficient biological treatment of municipal wastewater / Achlesh Daverey, Deepshikha Pandey, Priyanka Verma, Kusum Arunachalam // Elsevier. 2019. №7. 12 с.

33. Кинетика роста микроорганизмов. URL: <http://www.spec-kniga.ru/tehnohimicheski-kontrol/obshchaya-tekhnologiya-mikrobiologicheskikh-proizvodstv/tipovaya-skhemamikrobiologicheskogo-proizvodstva-kinetika-rostamikroorganizmov.html> (дата обращения 17.06.2020)

34. Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants – A review of the state of the art / Giorgio Mannina, Taise Ferreira Rebouças, Alida Cosenza, Miquel Sànchez-Marrè, Karina Gibert // Bioresource Technology. 2019. 52 с.

35. Cost analysis of the facilities deterioration in wastewater treatment plants: A dynamic approach / Vicent Hernández-Chover Lledó, Castellet-Viciano, Francesc Hernández-Sancho. Elsevier. 2019 №49. 9 с.