

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт химии и инженерной экологии

---

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология

(направленность)

---

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Совершенствование технологии очистки сточных вод на  
примере очистных сооружений г.о. Жигулевск

---

Студент Д.В. Игнатов \_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Научный М.В. Кравцова \_\_\_\_\_  
руководитель (И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент, С.В. Афанасьев \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.п.н., доцент, М.В. Кравцова \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г.

Тольятти 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ Г.О. ЖИГУЛЕВСКА	6
1.1 Характеристика рассматриваемого объекта исследования	6
1.2 Технологический регламент очистки сточных вод канализационных очистных сооружений (КОС) г.о. Жигулевска	9
1.3 Анализ качества стоков на очистных сооружениях г.о. Жигулевск	21
1.4 Оценка воздействия приоритетных загрязняющих веществ на окружающую среду	31
Выводы по 1 главе	45
ГЛАВА 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОКОВ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ Г.О. ЖИГУЛЕВСКА	46
2.1 Моделирование процесса очистки стоков на этапе биологической очистки	46
2.2 Построение математической модели динамических процессов биологической очистки сточных вод	58
2.3 Очистка сточных вод с помощью мембранных биореакторов	82
Выводы по 2 главе	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	94
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	96

## ВВЕДЕНИЕ

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в настоящее время – одна из обсуждаемых проблем современности. Организация очистки сточных вод на очистных сооружениях промышленных предприятиях до нормативных показателей сброса загрязняющих веществ в водоем является одной из основных задач современного производства.

Приоритетными направлениями в решении проблемы охраны Куйбышевского и Саратовского водохранилищ являются сокращение сбросов сточных вод и повышение качества их очистки.

Проблема загрязнения окружающей среды сточными водами приобрела катастрофический масштаб. В настоящее время сточные воды являются не только источником существенного загрязнения окружающей среды, нарушают почвенный слой, засоряют водные объекты, а так же разрушают естественные экологические системы, они так же оказывают негативное влияние на здоровье человека.

**Актуальность данной темы** определена необходимостью снижения количества сбросов загрязняющих веществ в Саратовское водохранилище и потребностью рационального использования ресурсов, в частности, возврата части стоков с целью вторичного использования для производственных нужд, а также обусловлена следующими факторами:

–повышением контроля над соблюдением требований к нормативам сбросов сточных вод, что приведет к необходимости внедрения локальных сооружений по очистке и использованию новых доступных технологий по ресурсосбережению;

–динамикой увеличения численности населения, в результате чего воздвигаются новые жилые дома и проводятся канализационные системы, что является дополнительной нагрузкой на очистные сооружения города;

– увеличением числа загрязняющих веществ и превышением предельно-допустимых концентраций (ПДК) по загрязняющим веществам: поверхностно-активным веществам (ПАВ), фосфатам, нитритам и т.д.

- очистные сооружения, рассчитанные на меньшие концентрации загрязнителя, не всегда в достаточной мере справляются с процессом очистки сточных вод и, в частности, с нитрификацией. Это приводит к повышенным выбросам в экосистему азота в аммонийной форме.

**Проблема исследования** заключается в несоответствие сбросов загрязняющих веществ предельно-допустимым значениям в Саратовское водохранилища, как следствие его загрязнения при отсутствии мероприятий, устраняющих или снижающих поступление загрязненных стоков на очистные сооружения г.о. Жигулевск и совершенствования технологий их очистки.

**Объект исследования:** очистные сооружения г.о. Жигулевск.

**Предмет исследования:** система очистки стоков на очистных сооружениях г.о. Жигулевск.

**Цель:** снижение негативного воздействия на Саратовское водохранилище на основе повышения качества очистки стоков за счет совершенствования системы очистки сточных вод на очистных сооружениях г.о. Жигулевск.

Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

1. Провести анализ качества очистки сточных вод и состава загрязняющих веществ при сбросе на очистных сооружениях г.о. Жигулевска, определить приоритетные загрязняющие вещества, поступающие на очистные сооружения и их воздействия на окружающую среду.

2. Представить модель биологической очистки стоков на очистных сооружениях.

3. Предложить более эффективную технологию очистки стоков на примере очистных сооружений г.о. Жигулевск.

**Научная новизна исследования** заключается в предложении эффективного способа контроля очистки стоков на этапе биологической очистки при использовании метода моделирования.

**Теоретическая значимость исследования** обусловлена использованием методов моделирования процесса биологической очистки для разработки системы автоматизированного контроля на городских очистных сооружениях с целью повышения качества очистки.

**Практическая значимость исследования:** результаты исследования могут быть использованы на очистных сооружениях г.о. Жигулевска для совершенствования системы очистки и повышения качества сброса.

**Защищаемые положения:**

1. Принцип очистки стоков, основанный на моделировании этапа биологической очистки для обеспечения необходимого соотношения субстрата и биомассы (активного ила) в реакторе.

2. Система совершенствования очистки сточных вод на очистных сооружениях г.о. Жигулевска, которая основана на МБР-технологии.

**Структура магистерской диссертации:** обусловлена логикой и последовательностью изложения результатов решения задач исследования. Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения, списка использованных источников, включающего 80 наименований. Объем работы составляет 96 страниц машинописного текста, содержит 41 рисунок, 7 таблиц.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ Г.О. ЖИГУЛЕВСКА

## 1.1 Характеристика рассматриваемого объекта исследования

Загрязненные хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды от г.о. Жигулевск по сетям канализации и с помощью насосных станций направляются на канализационные очистные сооружения полной биологической очистки ООО «СамРЭК-Эксплуатация» г.о. Жигулевск. Проектная производительность канализационных очистных сооружений составляет 16200,00 м<sup>3</sup>/сут, 5913,000 тыс. м<sup>3</sup>/год.

В состав канализационных очистных сооружений входят: приемная камера; решетки-дробилки РД-600 - 2 шт.; песколовки с круговым движением воды - 2 шт.; первичные вертикальные отстойники - 6 шт.; аэротенки-смесители - 2 шт.; аэробный минерализатор; вторичные вертикальные отстойники - 6 шт.; контактный резервуар 1 шт.; воздухоподводящая станция; хлораторная; илоуплотнители вертикальные, иловые площадки; песковые площадки.

Сточные воды от г.о. Жигулевск поступают в приемную камеру очистных сооружений. Решетки предназначены для улавливания из сточных вод крупных нерастворимых загрязнений. далее вода поступает в песколовки. Песок, задержанный в песколовках, удаляют с помощью гидроэлеватора и в виде песчаной пульпы перекачивают на песковые площадки.

Сточная вода из песколовков поступает в первичные вертикальные отстойники для предварительной очистки. В них происходит выделение из сточных вод грубодисперсных примесей, которые под действием гравитационных сил оседают на дно отстойника или всплывают на поверхность.

Далее после первичных отстойников, осветленная вода самотеком направляется на биологическую очистку в аэротенк, включающий две секции.

Для лучшего и непрерывного контакта, вода и ил постоянно перемешиваются путем подачи сжатого воздуха. Затем сточная вода поступает во вторичные вертикальные отстойники, которые задерживают активный ил, поступающий из аэротенка.

Для уничтожения патогенных микроорганизмов, и исключения заражения ими водоемов, сточные воды перед спуском обеззараживаются путем хлорирования.

Для обеспечения контакта с хлором предусмотрен контактный резервуар.

Избыточный активный ил из вторичных отстойников поступает на иловые площадки с рабочей глубиной до 2 м. Площадки организованы в виде прямоугольных карт-резервуаров с водонепроницаемыми стенками и дном.

Учет водоотведения ведется косвенным методом, по продолжительности и производительности работы насосов. Очищенная и обеззараженная сточная вода через рассеивающий выпуск сбрасывается в р. Волга (Саратовское водохранилище). Сброс сточных вод осуществляется в северо-восточной части г.о. Жигулевск (за пределами г.о.Жигулевск), ниже ВоГЭС на 4 км.

Выпуск очищенных сточных вод осуществляется через русловой, рассеивающий выпуск длиной 850 м и диаметром 800 мм. Приемником сточных вод является р. Волга (Саратовское водохранилище).

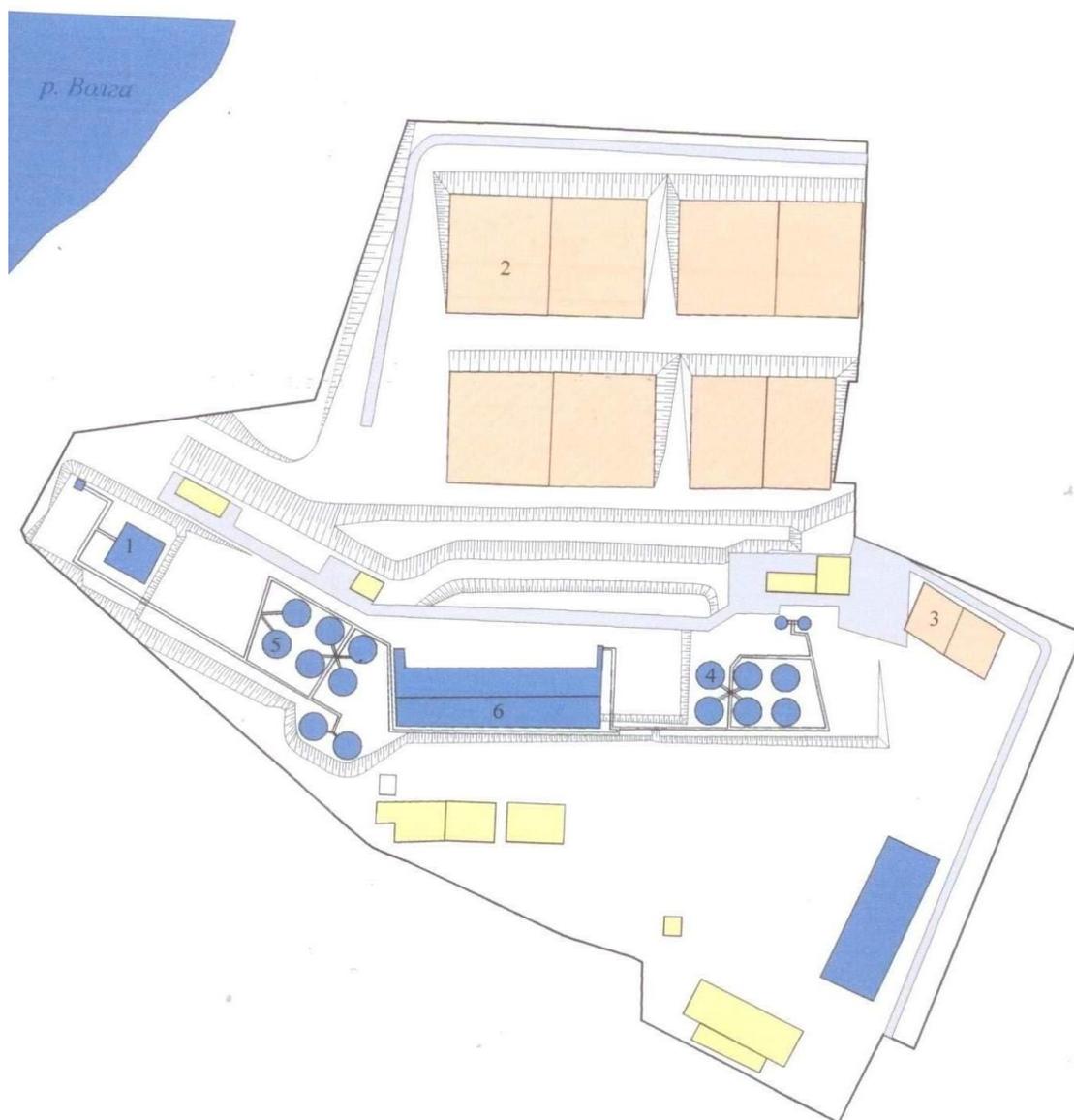
Контроль за качеством сточных вод осуществляет ФГБУ «Приволжское УГМС Тольяттинская СГМО и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Самарской области в городе Тольятти».

Канализационные очистные сооружения г.о. Жигулевск. Адрес: Самарская область, г.о. Жигулевск Морквашинская, 1Г КОС работает

круглогодично, по непрерывному графику. Загрязненные хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды от г.о. Жигулевск по сетям канализации и с помощью насосных станций направляются на канализационные очистные сооружения полной биологической очистки ООО «СамРЭК-Эксплуатация» г.о. Жигулевск. Проектная производительность канализационных очистных сооружений составляет 16200,00 м<sup>3</sup>/сут, 5913,000 тыс. м<sup>3</sup>/год.

В состав технологической линии входит (рис.1):

- Здание решеток
- Песколовки с круговым движением воды – 2 шт.
- Песковые площадки спаренные – 1 шт.
- Первичные отстойники – 6 шт.
- Аэротенки двухкоридорные – 3 шт.
- Вторичные отстойники – 6 шт.
- Контактный резервуар – 1 шт.
- Здание хлораторной
- Здание склада хлора
- Насосно-воздуходувная станция
- Цех механического обезвоживания осадка
- Здание лаборатории
- Здание станции УФО
- Аэробный минерализатор – 2шт.
- Фильтр биореактор – 1 шт.
- Резервуар загрязненной промывной воды.
- Иловые площадки – 4 карты.

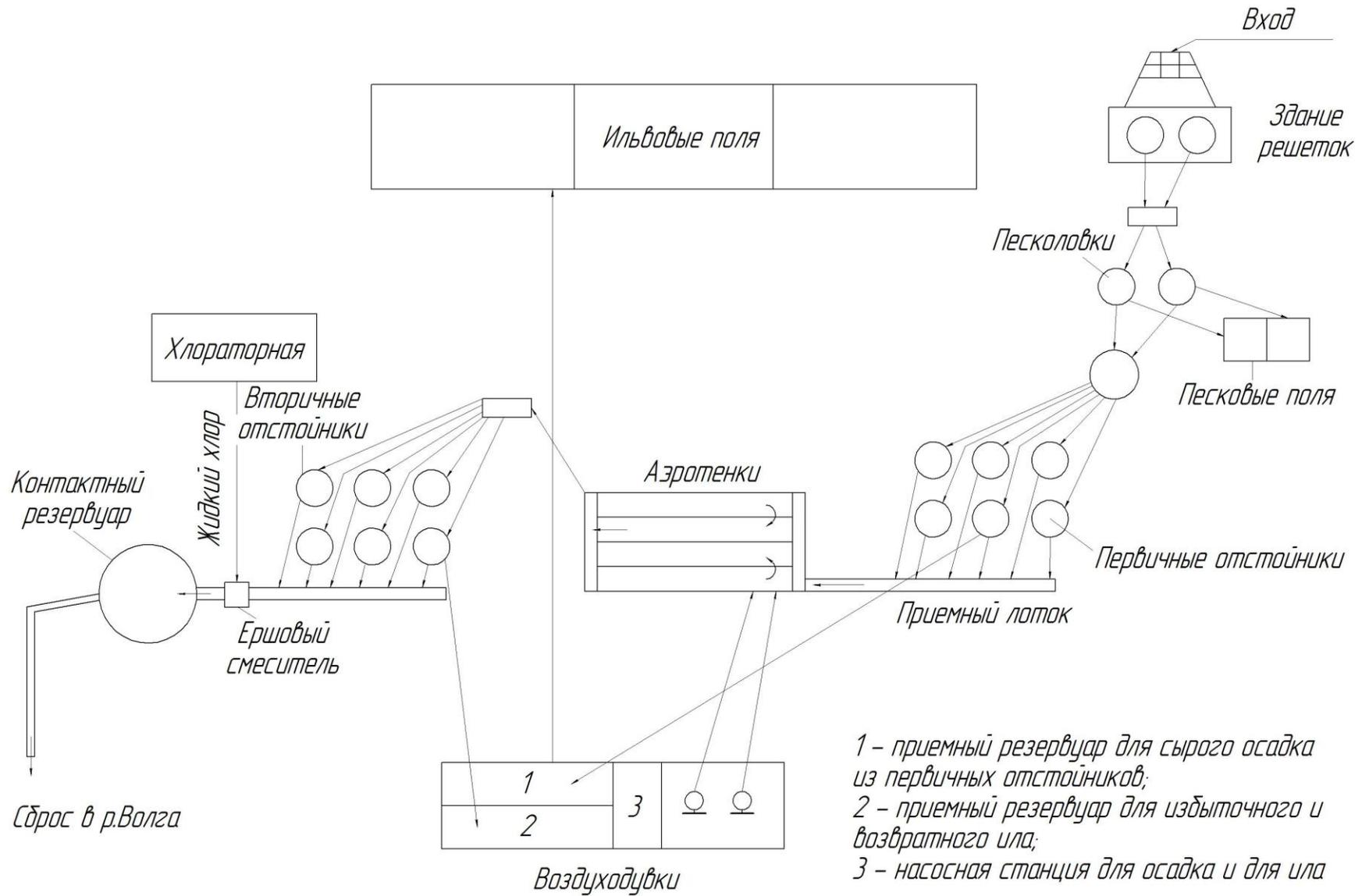


**Рисунок 1 – План схема расположения КОС**

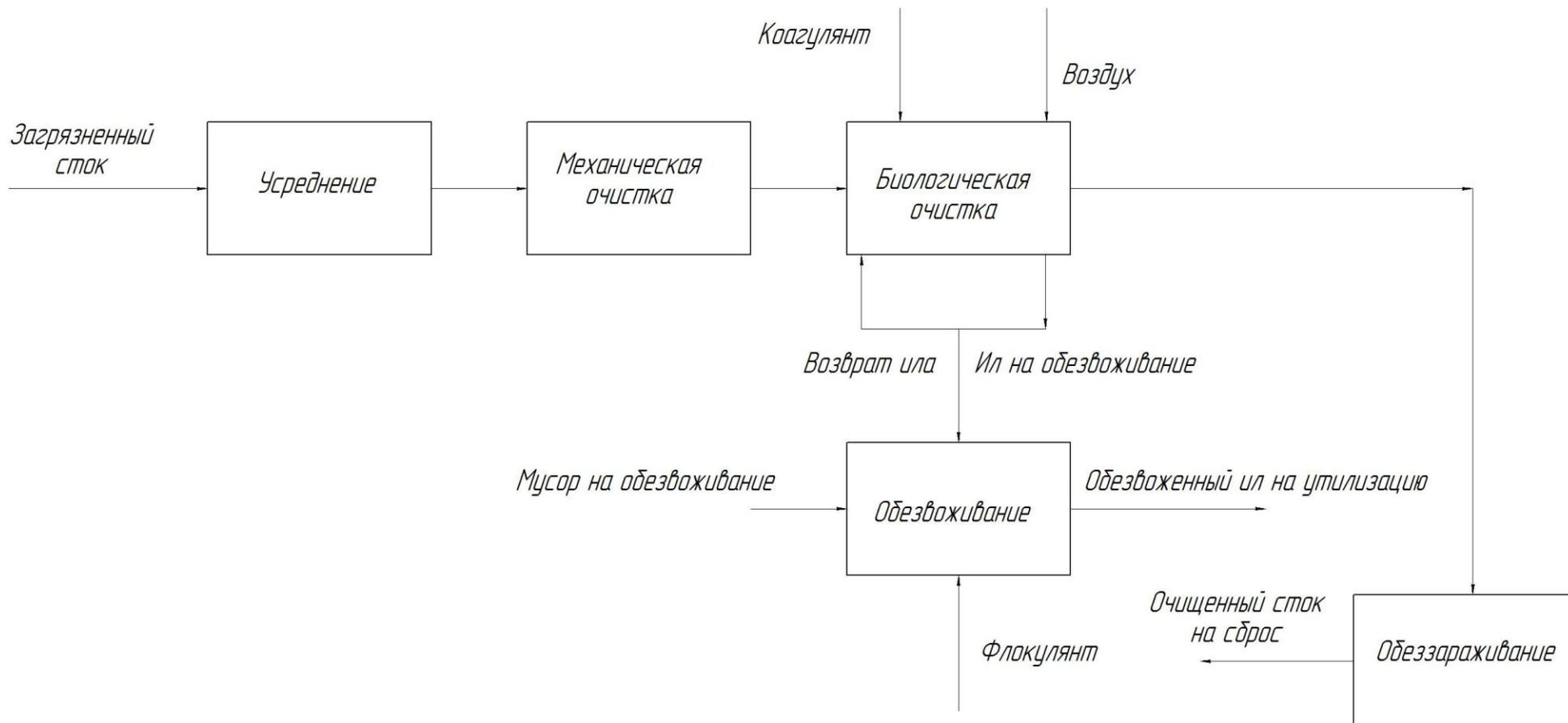
1 – здание решеток; 2 – иловые площадки; 3 – песковые площадки; 4 – отстойники вторичные вертикальные; 5 – отстойники первичные вертикальные; 6 – аэротенк двухсекционный

## **1.2 Технологический регламент очистки сточных вод канализационных очистных сооружений (КОС) г.о. Жигулевска**

Схема технологической очистки сточных вод на очистных сооружениях г.о. Жигулевск представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Схема технологического порядка очистки бытовых сточных вод г. Жигулевска**



**Рисунок 3 – Схема очистки бытовых сточных вод**

## **Механическая очистка сточных вод**

К механической очистке сточной воды относится:

1. Улавливание отбросов (крупной фракции) на решетках.
2. Размельчение отбросов на решетках-дробилках РД-600.
3. Осаждение песка в песколовках.
4. Осаждение твердых органических веществ и снятие жировой пленки

и плавающих веществ в первичных отстойниках.

### **Решетки**

Две решетки установлены в лотках перед решетками-дробилками для улавливания наиболее крупных отбросов. По мере накопления, уловленный на решетках мусор регулярно очищают граблями, лопатами, складывают в ведро и выносят для захоронения, предварительно обеззаразив хлорной известью.

### **Решетки-дробилки РД-600**

Далее сточная вода поступает по лоткам на две параллельно установленные решетки-дробилки марки РД-600, производительностью по 2000 м<sup>3</sup>/час каждая.

Твердые взвешенные и плавающие вещества, содержащиеся в стоках, которые не улавливались на решетках, задерживаются у наружной поверхности вращающегося барабана решеток-дробилок.

Щелевые отверстия барабана решеток-дробилок равны 6-10 мм. Барабан, приводимый в движение электромотором, подает их на режущие гребни (зубья), которые и перемалывают твердые вещества. Измельченные отбросы поступают в сточную воду и далее осаждаются в отстойники.

### **Песколовка**

Песколовки предназначены для выделения из сточной воды тяжелых минеральных примесей (главным образом песка). На КОС г.о. Жигулевск действуют две горизонтальные песколовки с круговым движением воды, диаметром 3 м, общей производительностью 17000 м<sup>3</sup>/сутки. Скорость движения воды 0,3 – 0,5 м/сек. При такой скорости в песколовках оседает

только тяжелый песок и минеральные примеси, затрудняющие удаление органического осадка из отстойников.

Осевший на дно песок, удаляется из песколовков при помощи гидроэлеватора и транспортируется по трубопроводу потоком воды, закачиваемой насосом из первичного отстойника, на песковую площадку для обезвоживания. Вода с песковой площадки дренируется по самотечному коллектору в резервуар местной канализационной насосной станции («иловая»), затем насосами перекачивается в лоток перед первичными отстойниками.

Осевший на песковой площадке песок, по мере накопления, удаляется при помощи механических средств (бульдозер, погрузчик и т.п.)

### **Первичные отстойники**

После песколовков стоки по магистральным лоткам направляются в шесть первичных вертикальных отстойников, представляющих собой железобетонные цилиндрические резервуары с коническим дном диаметром 9м, Н=8,4м, объем 334 м<sup>3</sup> каждый.

В первичных отстойниках происходит оседание веществ с удельным весом более 1г/см<sup>3</sup> и всплывание веществ с удельным весом менее 1г/см<sup>3</sup>. Осадок скапливается в нижней иловой части отстойника. Под действием гидростатического давления осадок выпускается в колодец и далее по самотечному коллектору направляется в приемную камеру сырого осадка №1. Из камеры №1 насосами марки СМ 100х65х200 осадок откачивается на иловые поля. Производительность насосов 100 м<sup>3</sup>/час.

Удаление плавающих на поверхности веществ производится через жироборник поднятием уровня воды в отстойнике, путем закрытия шиберов на выходном лотке. Из жироборника вода с жировой пленкой и плавающими веществами переливается в колодец и далее по самотечному коллектору №1 направляется в приемную камеру сырого осадка №1. Крупные плавающие предметы вылавливаются сетчатой лопатой.

Осветленная в отстойнике вода переливается через зубчатые переливы в периферийный лоток (кольцевой) и далее поступает в отводящий лоток и затем по магистральному лотку в аэротенки.

### **Биологическая очистка сточных вод. Аэротенки**

Аэротенки - два железобетонных двухкоридорных аэротенка, ширина каждого 4,5м и длина 60м.

Биологическая очистка сточных вод заключается в том, что органические вещества, находящиеся в сточной воде в коллоидном, растворенном и взвешенном состоянии, оставшиеся после механической очистки, разрушаются (минерализуются) живыми микроорганизмами, содержащимися в активном иле, в условиях обильного обеспечения стоков кислородом воздуха (равномерная и интенсивная аэрация). Концентрация растворенного кислорода не менее 2 мг/л. Воздух в аэротенки подается непрерывно воздуходувками марка ТВ 80-1,6 (1-рабочая, 1-резервная), производительностью 5000 м<sup>3</sup>/час.

Активный ил в количестве 30-40% от расхода сточной воды непрерывно подается в аэротенки насосами марки СМ 200х150х315, производительностью 360 м<sup>3</sup>/час (1-рабочий, 1-резервный).

Сточная вода в смеси с активным илом находится в аэротенках от 6 до 12 часов. За этот период происходит биологический процесс очистки сточных вод, протекающий в два этапа:

- А) адсорбция загрязнений из сточной воды на активном иле;
- Б) окисление адсорбированных на иле веществ.

Первыми окисляются легко окисляемые органические вещества, содержащие углерод, до воды и углекислого газа. Затем окисляются органические вещества, содержащие азот до азотной и азотистой кислот. Этот процесс называется нитрификацией.

### **Вторичные отстойники**

Вторичные отстойники в количестве 6 шт. представляют собой железобетонные цилиндрические резервуары с коническим днищем, диаметром 9м, глубиной 8,4м, объемом 334м<sup>3</sup>.

Очищенная от органических соединений вода из аэротенка по лотку самотеком (в смеси с активным илом) поступает во вторичные отстойники. Во вторичных отстойниках активный ил под действием силы тяжести опускается на дно, а осветленная, очищенная вода через зубчатые переливы по лоткам направляется в ершовый смеситель на дезинфекцию (стоки хлорируются) и далее в контактный резервуар.

От правильной работы вторичных отстойников зависит эффективность очистки сточных вод. **Недостаточное количество ила, перекачиваемое в аэротенки или низкое его качество, снижает эффективность очистки воды. Не допускается сильное уплотнение и залеживание ила на дне отстойников. Во избежание снижения качества активного ила, продолжительность отстаивания иловой смеси во вторичных отстойниках 1,5-2 часа. При нормальной эксплуатации вторичных отстойников – содержание в чистоте лотков, колодцев, камер, задвижек, при равномерности поступления и выхода сточной воды – выносятся небольшое количество ила (= 1мг/л).**

**Различные причины: перегрузка, залповые сбросы, залежи ила на дне отстойника, присутствие вредных веществ в стоках и т.д. – могут вызвать избыточный выброс ила (до 50-200мг/л).**

Активный ил самотеком через колодцы и коллектор попадает в приемную камеру возвратного ила №2, оттуда насосами марки СМ 200х150х315 перекачивается в распределительную камеру и далее в 1-й и 3-й коридоры аэротенков. Поступление ила в аэротенки из распределительной камеры регулируется шиберами.

Уровень жидкости в приемной камере определяется визуально.

Избыточный активный ил перекачивается на иловые поля через перелив в приемную камеру для сырого осадка №1.

## **Дезинфекция и выпуск сточной воды**

Для обеззараживания очищенных стоков используется сжиженный хлор. На хлораторной установке «ЛЮНИИ-100», расположенной в специальном здании хлораторной, сжиженный хлор превращается в газообразный и дозируется через эжектор в питьевой трубопровод. Хлор, смешанный с водой, поступает по трубопроводу в сточную воду в «ершовом смесителе», который представляет собой построенный зигзагом фрагмент бетонного лотка. Из «ершового смесителя» очищенная вода с концентрацией остаточного хлора от 1 до 2,5 мг/л поступает в контактный резервуар. Взаимодействие хлора со стоками в контактном резервуаре не менее 1 часа.

Контактный резервуар - представляет собой железобетонное сооружение, состоящее из 4-х секций прямоугольной формы с днищем в виде четырехгранных перевернутых вверх основанием пирамид, с подводящим и отводящим воду лотками.

Уровень воды в контактном резервуаре регулируется шибером. Отмерший ил, осевший на днищах секций, ежедневно выпускается путем открывания задвижек на трубах выпуска осадка в каждой секции контактного резервуара и направляется по самотечному коллектору в приемную камеру сырого осадка №1. Кроме удаления осадка, необходимо ежедневно удалять с поверхности воды в контактном резервуаре плавающие вещества и случайно попавшие предметы. Содержать в чистоте лотки, желоба, все сооружения. Обеззараженная хлором сточная вода из контактного резервуара поступает в измерительный лоток. Проверка качества очистки воды производится лаборантами ежедневно. С измерительного лотка вода сливается в коллектор. Выпуск из коллектора в Саратовское водохранилище по дну реки Волга рассеивающий, протяженность 1,5 км.

## **Обработка осадка сточных вод**

По схеме работы очистных сооружений возможны два варианта обработки осадка:

1. Избыточный ил из приемной камеры перекачивается в илоуплотнители, параллельно с перекачкой в азротенки тем же насосом марки СМ 200х150х315, путем открытия специальной задвижки, расположенной в машинном отделении насосной станции. Ил по коллектору через «гусак» поступает в распределительную чашу (камеру) илоуплотнителей, представляющие собой железобетонные резервуары диаметром 9м, глубиной 8м. Поступление ила из распределительной чаши в илоуплотнители регулируется шиберами. По мере наполнения илоуплотнителей и отстаивания ила не менее 5-ти часов, открываются задвижки в колодцах для спуска ила в приемную камеру №1, куда он поступает самотеком с влажностью 92-94%.

Из приемной камеры №1 смесь избыточного ила, сырого осадка из первичных отстойников, осадка из контактного резервуара перекачивается в аэробный минерализатор, представляющий собой прямоугольный железобетонный двух коридорный резервуар с шириной резервуара с шириной 9м каждый и длиной 45м. Общий объем минерализатора 3664м<sup>3</sup>. Общее количество осадков в сутки составляет 89,4м<sup>3</sup>/сут. Время пребывания осадка в минерализаторе от 3 до 5 суток. Аэробно стабилизированный осадок из минерализатора подается в илоуплотнители, которые в количестве 2 шт. встроены в минерализатор. Далее осадок подается в цех механического обезвоживания. Из цеха ил перевозится автотранспортом для складирования на иловых площадках.

По временной схеме смесь осадка и ила перекачивается непосредственно на иловые площадки, минуя аэробный стабилизатор и цех механического обезвоживания.

Иловые площадки (спаренные) в кол-ве 4 штук, представляют собой бетонные площадки прямоугольной формы с дренажной системой для сушки осадка. Напуск осадка на площадки производится поочередно, по мере их наполнения. Регулировка напуска осуществляется задвижками в колодцах,

расположенных в нижнем ряду между площадками №6 и №7, в верхнем ряду между площадками №2 и №3.

2. По второму варианту обработки осадка производится без использования илоуплотнителей. В этом случае ил из камеры №2 направляется в камеру сырого осадка №1 через перелив. Дальнейший процесс протекает по варианту №1.

Очистка и выгрузка подсохшего ила с иловых площадок производится при помощи специальной техники: механическая лопата, экскаватор и вывозится автотранспортом в места складирования после согласования с санитарными службами.

### **Нормы технологического режима**

Производительность очистных сооружений составляет 16125 м<sup>3</sup>/сут.

**Таблица 1 – Наименование сооружений и процессов**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование сооружений и процессов</b>	<b>Ед. изм.</b>	<b>Величины</b>
1.	Решетки – 2 шт. Скорость движения воды	м/сек	0,8-1,0
2.	Песколовка – 2 шт. 1)Скорость движения воды 2)Периодичность удаления осадка 3)Время удаления осадка	м/сек час час	0,15-0,3 Через 12-24 0,5-1
3.	Первичные отстойники – 6 шт 1)Время отстаивания 2)Периодичность удаления осадка 3)Влажность удаляемого осадка	час час %	До 24 12-24 98
4.	Аэротенк – 2 шт 1)Время аэрации 2)Интенсивность аэрации 3)Концентрация активного ила 4)Расход воздуха на 1 м <sup>3</sup> сточной воды	час м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> /ч г/л м <sup>3</sup>	6-12 Не менее 4 1,5-2,5 Не менее 5

	5)Кол-во возвратного ила относительно кол-ва сточной воды при циркуляции	%	30-50
	Вторичные отстойники – 6 шт.	Час	2
5.	1)Время отстаивания иловой смеси		Непрерывно
	2)Отбор возвратного ила для регенерации		
	Илоуплотнители – 2 шт.	Час	5-11
6.	1)Время уплотнения избыточного ила	%	92-94
	2)Влажность уплотненного ила		Непрерывно
	3)Отбор уплотненного ила	мг/л	Не более 20
	4)Взвешенные вещества в осветленной воде	кг/час	4,86
	Хлораторная установка		
7.	1)Расход хлора	шт	3 (1-раб.2-резерв)
	Воздуходувная и насосная станция	час	Непрерывно
	Воздуходувка ТВ 80-1,6	м3/час	5000
8.	1)Подача воздуха в аэротенки	кгс/см2	1-1,6
	2)Количество подаваемого воздуха	А	160-180
	3)Давление в нагнетательном патрубке на моном.	°С	75-80
	4)Сила тока на амперметре	Шт	2 (1-раб.,1-резерв)
	5)Температура масла в подшипниках	Час	Непрерывно
	Насосы СМ 200х150х315		
9.	1)Подача активного ила в аэротенки	М3/час	
	Работа насоса контролируется свечением лампочки на щите – горит постоянно	Шт	360
	2)Количество ила		6-8 ступеней лестницы внутри камеры
	3)Уровень жидкости в приемной камере №2.	Мин.	

10.	<p>При поднятии уровня жидкости выше критического(3 ступени) загорается сигнальная лампочка на щите и включается звуковой сигнал</p> <p>Насосы СМ 100х65х200</p> <p>1)Подача сырого осадка и избыточного ила на иловые площадки. Работа насоса контролируется загоранием лампочки на щите</p> <p>2)Производительность насоса</p> <p>3)Уровень жидкости в приемной камере сырого осадка №1</p>	<p>М3/час</p> <p>Шт.</p> <p>Шт</p> <p>Мин.</p> <p>М3</p> <p>Час</p> <p>Час</p>	<p>15-20, периодически, по мере наполнения камеры</p> <p>100</p> <p>6-8 ступеней лестницы внутри камеры</p> <p>3</p> <p>10-15</p>
11	<p>Канализационная насосная станция</p> <p>Насосы СМ 100х65х200, 3Ф-12</p> <p>1)Время откачки</p> <p>2)Уровень в камере контролируется поплавком, соединенным с отвесом, который включает и отключает насос и звуковым сигналом на воздух.станции.</p> <p>Работа насоса контролируется свечением эл.лампочки на здании насосной и на щите в операторской воздух.станции.</p>	<p>М</p> <p>%</p> <p>%</p>	<p>864</p> <p>1-2</p> <p>12-24</p> <p>4</p> <p>0,7-0,8 не более1,0м от края загражд.валика</p>
12	<p>Контактный резервуар</p> <p>1)Общий объем</p> <p>2)Время пребывания осадка</p> <p>3)Периодичность удаления осадка</p>		<p>94</p> <p>Поочередно</p> <p>80</p>
13	<p>Иловые площадки</p> <p>1)Высота слоя осадка на площадках</p> <p>2)Влажность загруженного осадка</p>		<p>По мере высыхания</p>

3)Периодичность заполнения площадок		
4)Влажность высушенного осадка		
5)Периодичность удаления осадка		

### **1.3 Анализ качества стоков на очистных сооружениях г.о Жигулевск**

ООО «СамРЭК-Эксплуатация» г.о. Жигулевск получает согласно требованиям природоохранного законодательства разрешение на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду. Утвержденный расход сточных и дренажных вод составляет 673,275 м<sup>3</sup>/час; 5748,161 тыс. м<sup>3</sup>/год. На очистные сооружения ООО «СамРЭК-Эксплуатация» г.о. Жигулевск поступают сточные воды от следующих организаций:

1. ООО «ЖАТХ»
2. ООО «Жигулевский водочный завод»
3. ООО «Белые облака»
4. АО «Волжская металлургическая компания»
5. АО «Жигулевский радиозавод»
6. ООО НПФ «МЕТА»
7. ЗАО «ЖКУ»
8. ООО «ПЗСК»
9. ООО «СКК»
10. ООО «Жигулевский хлебозавод»
11. ООО «ОЗОН»
12. ООО «Коралл»
13. ПАО «РусГидро»
14. ЗАО «АКОМ»
15. ООО «ВВС» (автомойка)
16. Батайкин В.П. (автомойка)
17. ООО «СУМР-17» (автомойка)

18. ООО «Созвездие» (автомойка)
19. ООО «МАЙ-Холдинг» (пивоварня)
20. ООО «Миндаль»
21. Куницкий А.А. (производство мин. добавок)
22. Локтионов Е.А. (автомойка)
23. Амроян Р.С. (автомойка)
24. ООО «Корона» (автомойка)
25. ПАО МРСК Волги (автомойка)
26. Федосеев В.Н.
27. МКУ «ТОЭЗ», детские сады и школы

В таблице представлен сводный перечень веществ, поступающих от предприятий-абонентов, а также допустимые концентрации загрязнений.

**Таблица 2 – Перечень веществ, поступающих от предприятий-абонентов**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование загрязняющего вещества</b>	<b>Класс опасности загрязняющего вещества (I-IV)</b>	<b>Допустимая концентрация загрязняющего вещества на выпуске сточных и (или) дренажных вод в пределах норматива допустимого сброса, мг/дм<sup>3</sup></b>	<b>Разрешенный сброс загрязняющего вещества в пределах норматива допустимого сброса, т/год</b>
1.	БПК пол.	–	3,0	17,6937
2.	Сухой остаток	–	521,0	3072,8002
3.	Фосфаты по фосфору	IV	0,2	1,1796
4.	Взвешенные вещества	IV	4,44	26,1866
5.	Сульфаты	–	65,1	383,9526
6.	Хлориды	IV	76,04	448,4755
7.	СПАВ	IV	0,1	0,5898
8.	Азот-нитратный	IV	9,0	58,0810
	Нитрат-анион		40,0	235,9156
9.	Азот аммонийный	IV	0,4	2,3592
	Ион аммония		0,5	2,9489
10.	Азот нитритный	IV	0,02	0,1180
	Нитрит-ион		0,08	0,4718
11.	Железо общее	IV	0,1	0,5898
12.	Нефтепродукты	III	0,05	0,2949
13.	Медь	III	0,001	0,0059
14.	Хром б+	III	0,01	0,0590
15.	Цинк	III	0,01	0,0590
16.	Никель	III	0,01	0,0590

В организации выстроена система контроля за сбросом загрязняющих веществ от абонентов, данные представлены в таблице 3, 3а,б,в.

**Таблица 3 – Сводный перечень веществ, поступающих от предприятий**

№	Наименование компонента	Максимальное допустимое значение концентрации, Постановление №644	Обл. аккр. СГАСУ	Обл. аккр. СамРЭК	ЗАО АКОМ	АО «Радиоавтомобиль»	ООО «ВМК»	ООО «ОЗОН»	ООО «Коралл»	ООО НПФ «Мета»	ПАО «РусГидро»	ООО «ПЗСК»
1.	Водородный показатель Ед.рН	6,0-9,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,39	8,61	8,97	6,92	7,29	7,84	8,74	12,14
2.	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	20		29,4		57			65,6
3.	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2.110-97	ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009	40	308,8	32	720	134	7,2	123	230
4.	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	3000	ПНД Ф 14.1:2.114-97	ПНД Ф 14.1:2.114-97								
5.	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	1000	ПНД Ф 14.1:2.111-97	ПНД Ф 14.1:2.96-97	40,4	5,67	64,62	65,94	44,7	100	78	52,11
6.	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	св.1000	173,5	264,78	54,3	47,25	89,96	71,5	781,5
7.	Ион аммония, - мг/дм <sup>3</sup>	50	ПНД Ф 14.1.1-95	ПНД Ф 14.1.1-95	0,84	0,27	6,5	26,9	3,63	0,78	42,8	1,04
8.	Нитрит-ион, мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.3-95	ПНД Ф 14.1.2.4.3-95	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	Нитрат-ион, мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.4-95	ПНД Ф 14.1.2.4.4-95	-	-	-	-	-	-	-	-
10.	Фосфаты по фосфору, мг/дм <sup>3</sup>	12	ПНД Ф 14.1:2.112-97	ПНД Ф 14.1:2.4.112-97	0,09	<0,05	<0,05	4,7	10,6	<0,05	3,61	<0,05
11.	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	3	ПНД Ф 14.1:2.50-96	ПНД Ф 14.1:2.4.50-96	0,6	<0,05	<0,05	2,09	0,54	<0,05	0,89	<0,05
12.	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	10	ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000	ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000	0,07	<0,02	10,8	-	0,195	<0,02	0,14	10,6
13.	Сероводород, сульфиды, мг/дм <sup>3</sup>	1,5	ПНД Ф 14.1:2.109-97	ПНД Ф 14.1:2.109-97	-	-	-	-	-	-	-	-
14.	ПАВ анионоактивный, мг/дм <sup>3</sup>	10	ПНД Ф 14.1:2.15-95	ПНД Ф 52.24.368-2006	25,9	0,2	<0,01	9,33	2,36	<0,01	2,17	2,01
15.	Алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	3	ПНД Ф 14.1:2.4.166-2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Продолжение таблицы 3**

16.	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	ПНД Ф 14.1:2:48-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,001	0,55	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	0,0015	<0,001
17.	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	1	ПНД Ф 14.1:2:60-90	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
18.	Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1.46-96	РД 52.24.494- 2006	0,048	0,048	0,27	0,27	0,26	0,31	0,26	0,066
19.	Кадмий, мг/дм <sup>3</sup>	0,015	ПНД Ф 14.1:2:45-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	0,015	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
20.	Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1:2:52-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	0,26	0,013	0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
21.	Фенолы, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1:2.105-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.	Хром (+3) мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1:2:52-96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23.	Хром (+6,) мг/дм <sup>3</sup>	0,05	ПНД Ф 14.1:2:52-96	РД 52.24.446- 2008	<0,001	<0,01	0,022	0,066	0,057	<0,01	0,067	1,08
24.	Жиры, мг/дм <sup>3</sup>	50	ПНД Ф 14.1:2.189-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Таблица 3 а – Сводный перечень веществ, поступающих от предприятий**

№	Наименование компонента	Максимальное допустимое значение концентрации, Постановление №644	Обл. аккр. СГАСУ	Обл. аккр. СамРЭК	Батайкин В.П.	Белье облака	ЖВЗ	ЖКУ	ВВС	ЖАТХ	ЖИЗ
1.	Водородный показатель Ед.рН	6,0-9,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,02	7,84	7,95	8,04	9,18	6,66	7,23
2.	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	300,1	74	32,5	8,2	48,6	403	11,4
3.	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2.110-97	ПНД Ф 14.1:2.4.254-2009	325,5	164	288	8	57	28227	45,2
4.	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	3000	ПНД Ф 14.1:2.114-97	ПНД Ф 14.1:2.114-97	-	-	-	-	-	-	-
5.	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	1000	ПНД Ф 14.1:2.111-97	ПНД Ф 14.1:2.96-97	38,99	31,2	41,7	95,72	64,52	67,4	10
6.	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	32,45	66	87,41	97,61	35,57	49,76	10

Продолжение таблицы 3а

7.	Ион аммония, - мг/дм <sup>3</sup>	50	ПНД Ф 14.1.1-95	ПНД Ф 14.1.1-95	62,6	1,1	4,5	14,18	2,3	63	1,72
8.	Нитрит-ион, мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.3-95	ПНД Ф 14.1.2.4.3-95	-	-	-	-	-	-	-
9.	Нитрат-ион, мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.4-95	ПНД Ф 14.1.2.4.4-95	-	-	-	-	-	-	-
10.	Фосфаты по фосфору, мг/дм <sup>3</sup>	12	ПНД Ф 14.1.2.112-97	ПНД Ф 14.1.2.4.112-97	4	2,08	<0,05	0,94	0,41	5,72	0,64
11.	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	3	ПНД Ф 14.1.2.50-96	ПНД Ф 14.1.2.4.50-96	0,91	1,05	<0,05	0,44	0,58	2,05	<0,05
12.	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	10	ПНД Ф 14.1.2.4.168-2000	ПНД Ф 14.1.2.4.168-2000	10,3	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	11	<0,02
13.	Сероводород, сульфиды, мг/дм <sup>3</sup>	1,5	ПНД Ф 14.1.2.109-97	ПНД Ф 14.1.2.109-97	-	-	-	-	-	-	-
14.	ПАВ анионоактивный, мг/дм <sup>3</sup>	10	ПНД Ф 14.1.2.15-95	ПНД Ф 52.24.368-2006	1,16	0,4	<0,01	0,64	10,33	1,16	<0,01
15.	Алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	3	ПНД Ф 14.1.2.4.166-2000	-	-	-	-	-	-	-	-
16.	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	ПНД Ф 14.1.2.48-96	ПНД Ф 14.1.2.4.149-99	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
17.	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	1	ПНД Ф 14.1.2.60-90	ПНД Ф 14.1.2.4.149-99	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
18.	Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1.46-96	РД 52.24.494-2006	0,066	0,04	<0,02	0,03	0,062	0,28	0,04
19.	Кадмий, мг/дм <sup>3</sup>	0,015	ПНД Ф 14.1.2.45-96	ПНД Ф 14.1.2.4.149-99	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
20.	Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1.2.52-96	ПНД Ф 14.1.2.4.149-99	<0,002	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
21.	Фенолы, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1.2.105-97	-	-	-	-	-	-	-	-
22.	Хром (+3) мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.52-96	-	-	-	-	-	-	-	-
23.	Хром (+6,) мг/дм <sup>3</sup>	0,05	ПНД Ф 14.1.2.52-96	РД 52.24.446-2008	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,19	<0,01
24.	Жиры, мг/дм <sup>3</sup>	50	ПНД Ф 14.1.2.189-02	-	-	-	-	-	-	-	-

**Таблица 3 б – Сводный перечень веществ, поступающих от предприятий**

№	Наименование компонента	Максимальное допустимое значение концентрации, Постановление №644	Обл. аккр. СГАСУ	Обл. аккр. СамРЭК	Хлебозавод	СКК	Школа 16	д/с Жемчужинка	д/с Аленушка	Федосеев	СУМР-17	Созвездие	ЖИЗ
1.	Водородный показатель Ед.рН	6,0-9,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,67	8,04	9,02	6,4	6,93	7,68	7,42	8,19	7,23
2.	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	22,8	52,6			390	90	0,5		11,4
3.	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2.110-97	ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009	14,4	60,7	1370	2258	90	1868	4551	1888	45,2
4.	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	3000	ПНД Ф 14.1:2.114-97	ПНД Ф 14.1:2.114-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	1000	ПНД Ф 14.1:2.111-97	ПНД Ф 14.1:2.96-97	25,71	100,7	141,8	32,61	57,7	45,38	61	709	10
6.	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	41,47	56,78	90	23	102	46,57	109	58,06	10
7.	Ион аммония, - мг/дм <sup>3</sup>	50	ПНД Ф 14.1.1-95	ПНД Ф 14.1.1-95	14,4	1,69	123,1	1,6	36,1	5,92	5,03	1,03	1,72
8.	Нитрит-ион, мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.3-95	ПНД Ф 14.1.2.4.3-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	Нитрат-ион, мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.4-95	ПНД Ф 14.1.2.4.4-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.	Фосфаты по фосфору, мг/дм <sup>3</sup>	12	ПНД Ф 14.1:2.112-97	ПНД Ф 14.1:2.4.112-97	<0,05	0,33	6,9	0,73	11,4	0,37	0,17	0,23	0,64
11.	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	3	ПНД Ф 14.1:2.50-96	ПНД Ф 14.1:2.4.50-96	<0,05	1,45	1,21	2,58	1,7	1,54	0,8	3,09	<0,05
12.	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	10	ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000	ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000	<0,02	<0,02	0,96	<0,02	<0,02	1,76	0,324		<0,02
13.	Сероводород, сульфиды, мг/дм <sup>3</sup>	1,5	ПНД Ф 14.1:2.109-97	ПНД Ф 14.1:2.109-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.	ПАВ анионоактивный, мг/дм <sup>3</sup>	10	ПНД Ф 14.1:2.15-95	ПНД Ф 52.24.368-2006	<0,01	0,09	0,83	0,34	0,44	3,13	0,19	1,63	<0,01
15.	Алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	3	ПНД Ф 14.1:2.4.166-2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Продолжение таблицы 36**

16.	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	ПНД Ф 14.1:2:48-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	0,01	<0,001	<0,001
17.	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	1	ПНД Ф 14.1:2:60-90	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005		<0,005	<0,01	<0,005	<0,005
18.	Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1.46-96	РД 52.24.494- 2006	0,046	0,015	<0,02	<0,02	0,011	0,044	0,04	0,066	0,04
19.	Кадмий, мг/дм <sup>3</sup>	0,015	ПНД Ф 14.1:2:45-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005		<0,005	<0,0003	<0,005	<0,005
20.	Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1:2:52-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002		<0,002	<0,0003	<0,002	<0,002
21.	Фенолы, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1:2.105-97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.	Хром (+3) мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1:2:52-96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23.	Хром (+6,) мг/дм <sup>3</sup>	0,05	ПНД Ф 14.1:2:52-96	РД 52.24.446- 2008	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01
24.	Жиры, мг/дм <sup>3</sup>	50	ПНД Ф 14.1:2.189-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Таблица 3 в – Сводный перечень веществ, поступающих от предприятий**

№	Наименование компонента	Максимальное допустимое значение концентрации, Постановление №644	Обл. аккр. СГАСУ	Обл. аккр. СамРЭК	Куницы й	Амроян Р.С.	Локтионо в	Май-Холдинг	ООО "Миндал ь"	МРСК Волги	ООО "Корона"	Школа №10
1.	Водородный показатель Ед.рН	6,0-9,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	8,6	7,44	7,54	2,35	8	8,03	7,53	7,04
2.	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	св.300	60	80	4150	32	53	2	св.300
3.	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2.110-97	ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009	189	1010	249	1189	62	275	19	107
4.	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	3000	ПНД Ф 14.1:2.114-97	ПНД Ф 14.1:2.114-97	-							
5.	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	1000	ПНД Ф 14.1:2.111-97	ПНД Ф 14.1:2.96-97	53,5	79,2	66,7	7	35,1	51,4	85,4	30,2
6.	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	300	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	ПНД Ф 14.1:2.159-2000	111	115	110	74	83	126	82	62
7.	Ион аммония, - мг/дм <sup>3</sup>	50	ПНД Ф 14.1.1-95	ПНД Ф 14.1.1-95	9,9	1,5	7,5	16,3	10,3	0,3	7,3	11,2
8.	Нитрит-ион, мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.3-95	ПНД Ф 14.1.2.4.3-95	-							
9.	Нитрат-ион, мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1.2.4-95	ПНД Ф 14.1.2.4.4-95	-							
10.	Фосфаты по фосфору, мг/дм <sup>3</sup>	12	ПНД Ф 14.1:2.112-97	ПНД Ф 14.1:2.4.112-97	2,03	0,11	0,54	0,84	2,3	0,08	0,15	3,84
11.	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	3	ПНД Ф 14.1:2.50-96	ПНД Ф 14.1:2.4.50-96	4,4	0,95	0,88	4,3	1	0,11	0,49	2,7
12.	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	10	ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000	ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000	0,08	0,17	<0,02				0,05	
13.	Сероводород, сульфиды, мг/дм <sup>3</sup>	1,5	ПНД Ф 14.1:2.109-97	ПНД Ф 14.1:2.109-97	-							
14.	ПАВ анионоактивный, мг/дм <sup>3</sup>	10	ПНД Ф 14.1:2.15-95	ПНД Ф 52.24.368-2006	19,1	1,4	3	1,9	0,6		0,24	11,9
15.	Алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	3	ПНД Ф 14.1:2.4.166-2000	-	-							
16.	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	ПНД Ф 14.1:2:48-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	

**Продолжение таблицы 3в**

17.	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	1	ПНД Ф 14.1:2:60-90	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	
18.	Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1.46-96	РД 52.24.494-2006	0,06	0,04	0,05	0,03	0,018	<0,005	0,02	0,022
19.	Кадмий, мг/дм <sup>3</sup>	0,015	ПНД Ф 14.1:2:45-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003		<0,0003	<0,0003	
20.	Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1:2:52-96	ПНД Ф 14.1:2.4.149-99	<0,0003	<0,0003	0,006	<0,0003		<0,0003	<0,0003	
21.	Фенолы, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	ПНД Ф 14.1:2.105-97	-	-							
22.	Хром (+3) мг/дм <sup>3</sup>		ПНД Ф 14.1:2:52-96	-	-							
23.	Хром (+6,) мг/дм <sup>3</sup>	0,05	ПНД Ф 14.1:2:52-96	РД 52.24.446-2008	<0,001	0,035	0,06	0,001		<0,001	0,036	
24.	Жиры, мг/дм <sup>3</sup>	50	ПНД Ф 14.1:2.189-02	-	-	-	-	-			-	-

Проведенный анализ состава поступающих загрязняющих веществ позволил выявить ряд имеющихся превышений допустимых значений концентраций. В таблице 4 представлены компоненты и максимально достигающие значения концентраций.

**Таблица 4 – Перечень показатели, по которым наблюдается превышения допустимых концентраций поступающих загрязняющих веществ в сточных водах**

№ п/п	Наименование компонента	Максимальное допустимое значение концентрации, Постановление №644	Значения концентраций загрязняющих веществ, превышающих допустимые значения
1.	Водородный показатель Ед.рН	6,0-9,0	12,14
2.	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	300	403
3.	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	300	28227
4.	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	300	>1000
5.	Ион аммония, - мг/дм <sup>3</sup>	50	123,1
6.	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	3	4,4
7.	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	10	11
8.	ПАВ анионоактивный, мг/дм <sup>3</sup>	10	25,9
9.	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,55
10.	Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	0,31
11.	Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	0,26
12.	Хром (+6,) мг/дм <sup>3</sup>	0,05	1,08

#### **1.4 Оценка воздействия приоритетных загрязняющих веществ на окружающую среду**

Основная характеристика природной воды - это её химико-биологические свойства, от элементарного соединения водорода и кислорода до обогащения этого соединения (воды) простыми веществами, которые включают элементы практически всей таблицы Менделеева и продуктами жизнедеятельности организмов. В решении I Всесоюзного совещания по санитарной гидробиологии (Москва, 1969) было записано: «чистой», или

«биологически полноценной», можно считать воду, имеющую все соли, микроэлементы и метаболиты, т.е. вода должна включать наряду с минеральными веществами белки, ферменты, витамины и другие продукты жизнедеятельности гидробионтов», и далее: «Формирование биологически чистой (полноценной) воды, не содержащей токсических и радиоактивных веществ, патогенных организмов, представление о качестве воды как интегральном показателе состояния водных экосистем».

Качество воды характеризуется совокупностью качественных и количественных показателей, среди которых различают общие и специфические. К первым принадлежат обычные, присущие всей гидросфере ингредиенты, концентрация которых может изменяться под влиянием хозяйственной деятельности (гидрофизические, гидрохимические, гидробиологические); ко вторым - загрязняющие вещества, присутствие которых в воде характеризует эколого-токсикологическую и радиоэкологическую ситуации (О.П. Оксуюк и др., 1993).

Основными интегральными характеристиками качества воды, которые претерпевают существенные изменения в результате этих процессов, являются содержание органических веществ, концентрация растворенного кислорода и биомасса фитопланктона, величина которых регламентируется нормативными документами. Нормативное качество воды в естественных и искусственных водотоках обеспечивается с помощью водоохраных мероприятий.

В соответствии с использованием природных вод для нужд человека и производства различают пять аспектов качества воды: социально-гигиенический, гидробиологический (продукционный и санитарный), технологический, рекреационный и биосферный.

**1. Социально-гигиенический аспект.** В этом аспекте рассматриваются воды питьевого качества. Качество воды, используемой населением для питьевых, хозяйственных и производственных целей, должно соответствовать санитарным правилам. Требования к водам питьевого

назначения определяются гигиеническими показателями воды. Это органолептические свойства воды: запах, цвет и бактериологические показатели. Неблагоприятное влияние на качество питьевой воды, забираемой из открытых источников, могут оказывать такие явления, как гибель рыбы, цветение воды, различные загрязнения, которые дают те или иные примеси, ухудшая органолептические свойства воды: мутность, цветность, привкус. Но такие же явления и нежелательные свойства питьевой воды может вызвать плохая работа Водоканала по забору, фильтрации, очистке и обеззараживанию воды, но более того - старая и плохая система водоводов, в трубах которой накапливается ил, они зарастают водными грибами, в них могут попадать грунтовые, поверхностные и почвенные воды. Обеззараживание воды хлором может даже ухудшать органолептические качества природной воды с образованием хлорорганических веществ, например, тригалометаны, предшественниками которых в природной воде служат гуминовые кислоты.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в мире из-за низкого качества питьевой воды умирает около 5 млн. человек. Инфекционная заболеваемость населения, связанная с водоснабжением, достигает 500 млн. случаев в год.

Обладая свойствами универсального растворителя, она постоянно несет большое количество различных простых веществ и соединений, состав и соотношение которых определяется условиями формирования химического состава воды, составом водоносных пород и горизонтов. Предел минерализации питьевой воды (сухого остатка) 1 000 мг/л был в свое время установлен по органолептическому признаку. Воды с большим содержанием солей имеют солоноватый или горьковатый привкус. Основную часть сухого остатка пресных вод составляют хлориды, сульфаты и карбонаты. Допускается содержание их в воде на уровне порога ощущения: 350 мг/л для хлоридов и 500 мг/л для сульфатов.

Нижним пределом минерализации (ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая»), при котором гомеостаз организма поддерживается адаптивными реакциями, является сухой остаток в 100 мг/л, оптимальный уровень минерализации питьевой воды находится в диапазоне 200 – 400 мг/л. При этом минимальное содержание кальция должно быть не менее 25 мг/л, магния – 10 мг/л. Жесткость воды, обусловленная суммарным содержанием кальция и магния, обычно рассматривалась в хозяйственно-бытовом аспекте (образование накипи, повышенный расход моющих средств, плохое разваривание мяса и овощей, и т.п.). В то же время известна прямая высокая корреляция жесткости воды с содержанием в ней, кроме кальция и магния, еще 12 элементов (в том числе бериллия, бора, кадмия, калия, натрия) и ряда анионов.

#### ***Гигиенические требования к питьевой воде.***

Качество питьевой воды должно соответствовать требованиям СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования ...», обеспечиваться на протяжении всей водопроводной сети и не зависеть от вида источника водоснабжения и системы обработки воды.

Требования ГОСТа, обеспечивающие безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении, основываются на косвенных показателях - количестве сапрофитов в 1 мл воды (<100) и индексе бактерий группы кишечной палочки в 1 л воды (<3). Требования ГОСТа к химическому составу воды включают 20 показателей для веществ, встречающихся в природных водах или добавляемых в нее при обработке на станциях водоподготовки.

Государственный стандарт регламентирует требования к качеству питьевой воды, подаваемой централизованными системами хозяйственно-питьевого водоснабжения, т.е. системами, имеющими разводящую сеть труб.

***Гигиеническая характеристика источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.*** Источниками воды для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения могут быть поверхностные водные объекты (реки,

озера, водохранилища) и запасы подземных вод. По условиям залегания различают верховодку, грунтовые и межпластовые воды (напорные и безнапорные), значительно отличающиеся друг от друга по гигиеническим характеристикам.

Гигиенические требования к водоисточникам и вопросы их охраны изложены в СанПиН 2.1.4. 544-96 «Требования к качеству воды ...» (табл. 5).

**Таблица 5 - Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов у пунктов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования**

<b>Состав и свойства воды водоема или водотока</b>	<b>Категории водопользования для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также водоснабжения пищевых предприятий для купания, спорта и отдыха населения, а также для водоемов в черте населенных пунктов</b>	
Взвешенные вещества	Содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться больше чем на 0,25 - 0,75 мг/л. Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания взвешенных веществ в воде в пределах 5%	Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с - для проточных водоемов и более 0,2 мм/с - для водохранилищ к спуску запрещаются
Плавающие примеси (вещества)	На поверхности водоема не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна минеральных масел и скопление других примесей	
Запахи, привкусы	Вода не должна приобретать запахи и привкусы интенсивностью >2 баллов, обнаруживаемых: непосредственно или при последующем хлорировании	Вода не должна сообщать посторонних запахов и привкусов мясу рыб
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике 20 см	
Температура	Летняя температура воды в результате спуска вод не должна повышаться более чем на 30°C по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последующие 10 лет	
Реакция pH	Не должна выходить за пределы pH 6,5 - 8,5	

**Продолжение таблицы 5**

Минеральный состав	Минеральный состав Не должен превышать по сухому остатку 1000 мг/л, в том числе хлоридов 350 мг/л и сульфатов 500 мг/л	Нормируется по приведенному выше показателю «Привкусы»
Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной до 12 час. дня. Полная потребность воды в кислороде при 20°C не должна превышать 3 - 6 мг/л	
Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний	Сточные воды, содержащие возбудителей заболеваний, должны подвергаться обеззараживанию после соответствующей очистки. Отсутствие содержания в воде возбудителей заболеваний достигается путем обеззараживания биологически очищенных бытовых сточных вод до индекса не более 1000 в 1 л и остаточном хлоре - не менее 1,5 мг/л
Ядовитые вещества	Не должны содержаться в концентрациях, которые могут оказать прямо или косвенно вредное действие на здоровье населения	

**Таблица 6 – Воздействие загрязняющих веществ на окружающую среду**

№ п/п	Наименование загрязняющего вещества	Воздействие на окружающую среду
1.	Водородный показатель Ед.рН	Для всего живого в воде минимально возможная величина рН = 5, в питьевой воде допускается рН 6,0-9,0, в воде водоемов хозяйственно - питьевого и культурно-бытового водопользования - 6,5-8,5.
2.	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК является одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами, он определяет количество легкоокисляющихся органических загрязняющих веществ в воде.

**Продолжение таблицы 6**

3.	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Взвешенные частицы влияют на прозрачность воды и на проникновение в нее света, на температуру, состав растворенных компонентов поверхностных вод, адсорбцию токсичных веществ, а также на состав и распределение отложений и на скорость осадкообразования
4.	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Повышенные содержания сульфатов ухудшают органолептические свойства воды, приводит к нарушению работы пищеварительной системы у людей.
5.	Ион аммония, мг/дм <sup>3</sup>	Вызывает хронический ацидоз и изменения в тканях. Кроме того, раздражает конъюнктиву глаз и слизистые оболочки.
6.	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	Придает воде неприятную красно-коричневую окраску, ухудшает ее вкус, вызывает развитие железобактерий, отложение осадка в трубах и их засорение. Эти обрастания вторично ухудшают органолептические свойства воды за счет слизиобразования, присущего железобактериям. Высокое содержание железа в воде приводит к неблагоприятному воздействию на кожу, может сказаться на морфологическом составе крови, способствует возникновению аллергических реакций.
7.	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	Происходит замедление роста растений, хлороз, некроз, нарушение функции фотосинтеза и дыхания. Под влиянием углеводородов отмечается гибель неустойчивых видов растений. Вследствие этого происходит обеднение видового состава растительности, формирование ее специфических ассоциаций вдоль технических объектов, изменение нормального развития водных организмов. Изменяется химический состав растений, в них происходит накопление органических и неорганических загрязняющих веществ. Происходят изменения в структуре биоценозов: в почвах изменяется состав почвенных обитателей, в водоемах обедняется видовой состав и численность ихтиофауны вплоть до полного замора рыб, в наземных экосистемах изменяется численность птиц и млекопитающих.

**Продолжение таблицы 6**

8.	ПАВ анионоактивный, мг/дм <sup>3</sup>	Попадая в водоемы и водотоки, ПАВ оказывают значительное влияние на их физико-биологическое состояние, ухудшая кислородный режим и органолептические свойства, и сохраняются там долгое время, так как разлагаются очень медленно. Отрицательным, с гигиенической точки зрения, свойством ПАВ является их высокая пенообразующая способность. Хотя ПАВ не являются высокотоксичными веществами, имеются сведения о косвенном их воздействии на гидробионтов. При концентрациях 5-15 мг/дм <sup>3</sup> рыбы теряют слизистый покров, при более высоких концентрациях может наблюдаться кровотечение жабр.
9.	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	Повышенное содержание меди в воде вызывает поражение печени и почек, приводит к болезни Вильсона, при этом избыток меди откладывается в мозговой ткани, коже, печени, поджелудочной железе и миокарде
10.	Никель, мг/дм <sup>3</sup>	Может вызвать депигментацию кожи. Соединения никеля могут вызывать повышенную хрупкость костей, раковые опухоли носа и ряд других серьезных заболеваний.
11.	Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	Неорганические соединения Pb <sup>+2</sup> нарушают обмен веществ и выступают ингибиторами ферментов. Он способен замещать кальций в костях, что приводит к их хрупкости. Мутагенным действием свинец не обладает, однако его повышенное содержание в организме приводит к серьезным аномалиям развития плода (деформация скелета); он обладает способностью аккумуляции (накапливается) и имеет длительный период полувыведения
12.	Хром (+6,) мг/дм <sup>3</sup>	Рассогласование и повреждение комплекса метаболических и других регуляторных и компенсаторных механизмов гомеостаза, обеспечивающих адаптацию организма к условиям биосферы

**2. Гидробиологический аспект,** в котором различают гидробиологические характеристики водоема: продукционные (первичная и вторичная продукция, трофность водоема) и санитарное качество воды, в котором основное значение имеют наличие в воде яиц гельминтов и личинок различных паразитов. А.А. Былинкина и др. (1962, цит. по Драчеву, 1964) предложили классификации водоемов по химическим признакам загрязнения, бактериологическим и гидробиологическим признакам. Главнейшим показателем качества воды в гидробиологическом аспекте считается уровень первичного продуцирования в водоеме. Вторичная продукция имеет меньшее значение как зависящая от первичной, но также может определять качество воды по показателям зоопланктона (например, Cladocera) и зообентоса (например, Oligochaeta: pp. Tubifex, Limnodrilus, и Chironomidae: род Chironomus). Поскольку тема продуктивности достаточно полно рассматривается в курсе общей гидробиологии, мы не будем здесь останавливаться на существе вопроса, а относительно показателей качества воды в оценке по уровню продукционных процессов отсылаю к таблице 5 «Гидробиологические показатели»

**3. Технологический аспект.** В нем главное свойство воды – её качество, соответствующее технологическим требованиям производства.

**4. Рекреационный аспект.** Здесь основные требования к воде определяются нуждами человека в здоровом отдыхе на естественных водоемах или в бассейнах. Требования к качеству воды определяются ее санитарными, гигиеническими характеристиками, в которых основное значение имеют мутность, цвет, запах, наличие нефтяной пленки и содержание в воде продуктов жизнедеятельности человека.

Все, что может считаться загрязнением, имеет свои качественные и количественные параметры, определяющие вредность загрязнителей или загрязнения в целом. В.Д. Федоров (1980) рассматривает вредность загрязнителей как свойство вызывать нежелательные, опасные или губительные изменения в живом. Вредность определяется на основе ряда

физически разнородных критериев, относящихся к загрязнителям. К их числу относятся, прежде всего:

- потенциальная токсичность, устанавливаемая в токсикологических экспериментах;
- стойкость сохранения в окружающей среде, связанная с их химическим строением, физическим обликом и биологической доступностью (атакуемость) при процессах самоочищения;
- биоаккумулятивность, т.е. способность накапливаться в тканях, органах и т.д.;
- повсеместность и распространенность в окружающей среде, связанная прежде всего с основными путями их распространения;
- масштаб производства и характер использования их человеком в биосфере, а также доля их содержания в отходах промышленности и сельского хозяйства.

Всякое загрязнение оказывает то или иное и в разной степени повреждающее действие на отдельные организмы (популяции), биоценозы или, в целом, экосистему водоема. По Строганову (1964), все загрязнения делятся на две основные группы: загрязнения, имеющие аналоги в природе, и загрязняющие вещества, нормально в природе не встречающиеся (обычно токсические вещества - ксенобиотики). Загрязнение водоема веществами первой группы приводит к последовательной смене биоценозов, в зависимости от интенсивности загрязнения, так как в природе имеются виды организмов, адаптированных к жизни при различных количествах веществ, вызывающих загрязнения. Загрязнение веществами второй группы оказывает совершенно иное действие. Последовательной смены комплексов с более или менее богатым видовым составом не происходит. Здесь можно выделить три последовательные степени загрязнения. *Первая степень загрязнения* - это снижение продуктивности при относительно неизменном видовом составе биоценозов. Трудно выявляется.

*Вторая степень загрязнения* - исчезновение более чувствительных к токсическим веществам форм и развитие более выносливых. Иногда биомасса может быть высокой, но за счет очень немногих видов (одно-двух). Часто такая биомасса кормовых объектов приносит больше вреда, чем пользы, так как рыба, питающаяся этими организмами, приобретает неприятный привкус и запах (передача нефтяного привкуса через мотыля рыбе).

В зоопланктоне исчезает *Cladocera*, *Calanoida*, и остаются циклопы и коловратки. В бентосе в первую очередь исчезают личинки поденок, ручейников, ракообразные (*Gammarus*, *Mysida*). При большой степени загрязнения исчезают также многие хирономиды, личинки стрекоз и моллюски. Остается обедненная фауна из малоценных в кормовом отношении нематод и олигохет.

*Третья степень загрязнения* - исчезают и наиболее выносливые организмы. Остаются некоторые водоросли, грибы и бактерии. Рыбохозяйственная ценность таких участков практически равна нулю. Более того, поскольку рыба избегает далеко не всегда и не все типы загрязнения, такие участки могут играть роль «химических ловушек», в которые рыба заходит и погибает (Лесников, 1968); то же - эффект «черных дыр» (Моисеенко, 1997).

*Загрязнение бытовыми сточными водами.* Главными источниками загрязнения водоемов - ухудшения качества воды, нарушения нормальных условий обитания гидробионотов - является сброс хозяйственно-фекальных и промышленных сточных вод. В состав сточных вод городских канализаций входят фекальные сточные воды, стоки бань, прачечных, душевых, воды от мытья и уборки помещений и других видов бытового использования водопроводной воды. Кроме того, в городскую канализацию сбрасываются сточные воды промышленных предприятий, находящихся на территории города, прошедших в той или иной степени локальную очистку. Соотношение хозяйственно фекальных и промышленных сточных вод

бывает разным в связи с социальной и промышленной структурой городов и населенных пунктов.

Значительная часть органического вещества бытовых сточных вод приходится на живое органическое вещество - бактериальные тела (0,04% - от объема сточной жидкости, 400 мг/л - по расчетам С.Н. Строганова). Количество бактерий в сточных водах при определении методом прямого счета составляет сотни миллионов в 1 мл воды. Количество бактерий в пересчете на одного человека в сутки исчисляется величинами порядка многих миллиардов (Строганов, Корольков, 1934; по Драчеву, 1964).

Среди огромного микробиального населения канализационной жидкости наибольшее значение имеют возбудители инфекционных заболеваний: тифа, сальмонеллеза, холеры, туберкулеза и др. Наибольшее внимание уделяется кишечной палочке (*Escherichia coli*), выделенной в 1885 году Т. Эшерихом. Человек в сутки может выделять до 400 млрд. кишечных палочек - это доли процента от всей сапротрофной микрофлоры, выделяемой человеком. Хозяйственно-бытовые сточные воды содержат большое количество яиц гельминтов. По данным З.Г. Васильковой (1950), в сточных водах г. Москвы после отстаивания содержалось в 1 мл 1 590 яиц аскарид, 30 власоглавок и 50 тениид.

**5. Биологические загрязнения.** Основной вред состоит в поступлении огромного количества патогенных микроорганизмов в естественные водоемы: в коммунальных стоках содержится холерный вибрион, кишечная палочка и др., которые вызывают эпидемии инфекционного гепатита, тифа, дизентерии; в стоках бродильных производств: бойни, пивные, молочные, сыроваренные, сахарные заводы, спиртовые производства, ЦБК - содержится огромное количество бактерий и грибов, БПК<sub>5</sub> - 5 мг О<sub>2</sub>/л - более 80 мг О<sub>2</sub>/л. В природных водах БПК<sub>5</sub> 1 мг О<sub>2</sub>/л, в бытовых сточных водах - 300 - 500 мг О<sub>2</sub>/л. Отходы жизнедеятельности человека в год составляют 0,9 кг фосфора. На морских пляжных побережьях БПК<sub>5</sub> в год составляет 336 т О<sub>2</sub> на каждый

километр побережья. В р. Эльбе БПК составляет: 1880 год – 5 мг О<sub>2</sub>/л, 1910 - 13, 1930 - 30, 1940 - 42, 1950 - 70, 1960 - 80, 1990 год - более 200.

*Бактериально-вирусное* загрязнение:

- кишечная палочка (*Escherichia coli*) в воде, песке пляжей;
- сальмонелла (человек заболевает, если проглотит от 100 млн. до 1 млрд. клеток сальмонеллы, но 50% людей заболевает при 10 млн. клеток, а 30% - при 100 тыс. клеток - поедание устриц, мидий, яиц и др.);
- стрептококк;
- холера (заражение через мидий и воду).

Произведем расчет коэффициента уровня загрязнения по формуле:

$$Z_j = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{\Phi Zi}}{Q_{ПДВ i}}, \quad (1)$$

где

$Q_{\Phi Zi}$  – величина фактического загрязнения, мг/м<sup>3</sup>;

$Q_{ПДВ i}$  – допустимая величина загрязнения, мг/м<sup>3</sup>.

$$Z_{pH} = 12,14/9 = 1,35$$

$$Z_{БПК5} = 403/300 = 1,34$$

$$Z_{pH} = 12,14 / 9 = 1,35$$

$$Z_{вз.в-ва} = 28227/300 = 94,09$$

$$Z_{сульфаты} = 1000/300 = 3,33$$

$$Z_{ион аммония} = 123,1/50 = 2,46$$

$$Z_{ПАВ} = 25,9/10 = 2,59$$

$$Z_{никель} = 0,31/0,25 = 1,24$$

$$Z_{хром} = 1,08/0,05 = 21,6$$

$$Z_{общ} = 1,35 + 1,34 + 1,35 + 94,09 + 3,33 + 2,46 + 2,59 + 1,24 + 21,6 = 129,35$$

С учетом весового коэффициента (без учета других воздействий):

$$K = (Z_{поч} + 1)^{B^{вод}} - 1 \quad (2)$$

$$K = (129,35 + 1)^{0,3} - 1 = 3,32$$

где

$B^j$  – весовой коэффициент соответствующей компоненты ОС ( $B^{вод} = 0,3$ ).

Используя экспоненциальную функцию, получаются значения, изменяющиеся от 0 (наихудшее состояние) до 1 (наилучшее состояние) и являющиеся безразмерными величинами. Функция экспоненты удобна и часто используется специалистами в экологии и других науках:

$$P = 1 - e^{(-1/k)} \quad (3)$$

$$P = 1 - e^{(-1/3,32)} = 0,25 \text{ (с учетом весового коэффициента)}$$

$$P = 1 - e^{(-1/129,35)} = 0,0076 \text{ (без учета весового коэффициента)}$$

На основании рассчитанных значений показателя комплексной оценки  $P$  возможно проведение оценки состояния территории, соответствующей шкале представленной в таблице 7.

**Таблица 7 – Шкала оценки территории по экологическому показателю**

<b>№ п/п</b>	<b>Комфортность территории</b>	<b>Интервал значений показателей</b>
1	Зона неблагоприятных условий	0,20 – 0,00
2	Зона относительно неблагоприятных условий	0,37 – 0,20
3	Зона средней благоприятности	0,63 – 0,37
4	Зона относительно благоприятных условий	0,80 – 0,63
5	Зона благоприятных условий	1,00 – 0,80

В результате зона загрязнения определена в максимальном варианте как зона неблагоприятных условий или с учетом весового коэффициента воздействия как зона относительно неблагоприятных воздействий.

## **ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 1**

1. Проведен анализ работы очистных сооружений г.о. Жигулевск, на основе которого можно сделать вывод, что из-за поступления стоков от промышленных предприятий наблюдается регулярное нарушение требований к показателям загрязняющих веществ.

2. Определен перечень показателей, по которым наблюдаются превышения допустимых концентраций, к ним относятся: водородный показатель, БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, сульфаты, ион аммония, ПАВ анионоактивный, никель, хром (+6).

3. С позиции различных аспектов качества воды: социально-гигиенический, гидробиологический, технологический, рекреационный, проведена оценка воздействия приоритетных загрязняющих веществ на окружающую среду. Рассчитан интегральный показатель, в соответствие с которым зона загрязнения определена в максимальном варианте как зона неблагоприятных условий или с учетом весового коэффициента воздействия как зона относительно неблагоприятных воздействий.

Таким образом, обоснована необходимость в проведении совершенствования системы очистки на очистных сооружениях г.о. Жигулевск на этапе биологической очистки, так как этот блок не справляется с загрязненными стоками.

## ГЛАВА 2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОКОВ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ Г.О. ЖИГУЛЕВСКА

### 2.1 Моделирование процесса очистки стоков на этапе биологической очистки

#### 2.1.1 Системный анализ и компьютерное моделирование кинетики биохимической очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод

Сооружениям биохимического окисления принадлежит определяющая роль в общем комплексе сооружений очистной станции.

Биологическая очистка основана на деградации органической составляющей сточных вод бактериями и простейшими. На этой стадии осуществляется минерализация стоков, высвобождение органического азота и фосфора, снижение БПК является главной целью этого этапа.

Микроорганизмы освобождают воду от разнообразных загрязняющих веществ, а метаболизм этих загрязнений в клетках микроорганизмов обеспечивает их энергетические потребности, восстановление распавшихся веществ клетки и прирост биомассы.

Адсорбированные органические вещества подвергаются микроорганизмами ферментативной деструкции, в результате которой углеродосодержащие вещества разлагаются до углекислого газа и воды.

Схема реакций биологического окисления в аэробных условиях:

а) окисление вещества на энергетические потребности клетки



б) на синтез биомассы состава  $C_5H_7NO_2$



Затраты кислорода на эти две реакции соответствуют БПК<sub>полн</sub> сточной воды.

Процесс биохимического окисления в сооружениях идет в две стадии. Первая стадия – адсорбция на поверхности зоогелей ила загрязнений и окисление легко окисляемых органических веществ. Вторая стадия – доокисление трудноокисляемых веществ [14].

*Биохимический метод* очистки промышленных сточных вод основан на способности некоторых видов микроорганизмов использовать для питания в процессе своей жизнедеятельности органические и некоторые неорганические вещества, растворенные в промышленных стоках. Контактируя с органическими веществами, микроорганизмы частично разрушают их, превращая в воду, двуокись углерода, нитрит- и сульфат-ионы и др. Реакции, формирующие процесс очистки, происходят в особом виде рабочей среде – активном иле [1, 2].

Очистное устройство, реализующее биохимический метод, содержит активный ил, популяции микроорганизмов, загрязнения, промежуточные, конечные продукты химической активности микроорганизмов и представляет собой открытую систему, которая должна быть доступной управляющим воздействиям и удовлетворять определенным техническим требованиям (например, иметь заданную скорость очистки и предельно допустимый уровень загрязнений на выходе). Целью моделирования динамики процесса биохимической очистки является обоснованный выбор технических параметров очистных сооружений и поиск оптимальных решений комплексной задачи защиты окружающей среды.

### **2.1.2 Системный анализ функциональной среды: активный ил, загрязнения, популяции микроорганизмов**

Процессы биохимической очистки протекают в большом резервуаре – *танке*, наполненном смесью *активного ила* и сточных вод [1,2]. Основные подсистемы – активный ил, загрязнения, популяции живых организмов – функционально связаны взаимодействиями и организованы в единый процесс биохимической очистки.

Активный ил состоит из живых организмов и твердого субстрата. В танк поступают сточные воды, подлежащие очистке и свежий активный ил, из танка выводятся очищенные стоки и избытки активного ила, биомасса которого постоянно увеличивается. Живые организмы представлены скоплениями бактерий, простейшими организмами, одиночными бактериями, червями, плесневыми грибами, дрожжами, актиномицетами и реже водорослями, а также личинками насекомых, рачков и др. Сообщество всех живых организмов, населяющих ил – *биоценоз активного ила* – представлен 12 видами микроорганизмов и простейших.

Сухое вещество активного ила содержит 70 – 90% органических и 30 – 10% неорганических веществ. Субстрат, которого в активном иле может быть до 40%, представляет собой твердую отмершую часть остатков водорослей и различных водных организмов. Он служит для прикрепления организмов активного ила.

Биомасса основного вида микроорганизмов составляет 80 – 90% от общей биомассы всего активного ила. Основной вид микроорганизмов собственно и производит очистку сточных вод (окисление загрязнений). Остальные 10–20% составляют так называемые сопровождающие виды микроорганизмов, роль которых состоит в поддержании жизнедеятельности основной группы. Источником питания для основной группы являются загрязнения, находящиеся во входном потоке сточных вод. Микроорганизмы сопровождающей группы могут питаться частью загрязнений, микроорганизмами основной группы, метаболитами основной группы или других организмов сопровождающей группы. Сопровождающие виды микроорганизмов разделены на несколько групп по источникам питания.

### **2.1.3 Математическое моделирование биологической очистки сточных вод в аэротенке**

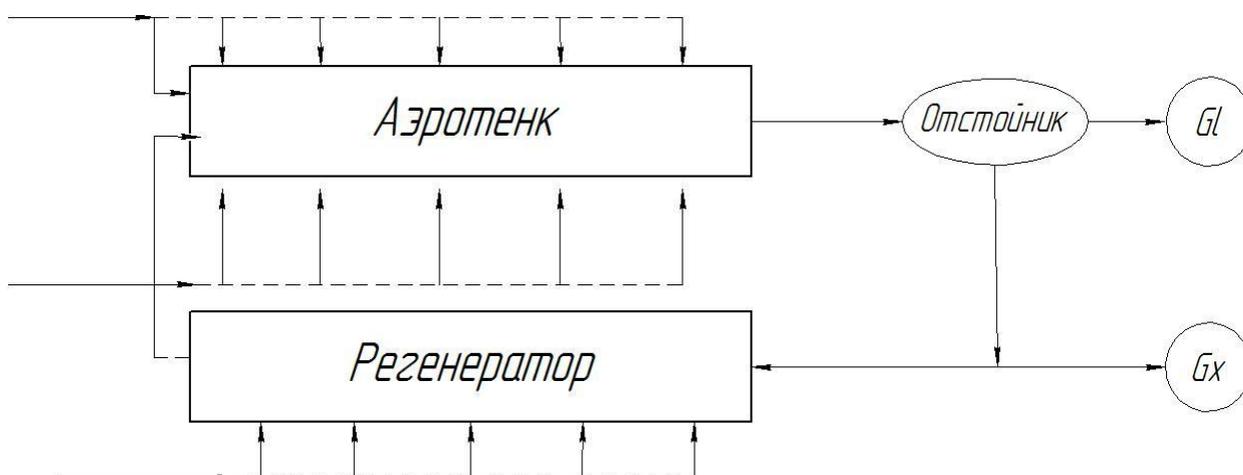
Известно, что структура биоценоза активного ила является чрезвычайно сложным, а обрабатываемые потоки жидкости включают

многокомпонентные органические и неорганические примеси. Аппаратурное оформление процесса существенно осложняется наличием трех фаз: газ – жидкость – хлопья активного ила (условно твердая фаза). Эффективность актов биохимического окисления, таким образом, в значительной степени определяется гидродинамической обстановкой и массообменными характеристиками аппарата.

Учитывая пространственную распределенность процессов в аэротенке, гетерогенность биоценоза активного ила и многокомпонентность обрабатываемых потоков, можно предположить неоднородность массообменных и биохимических стадий в разных зонах аппарата в зависимости от гидродинамических режимов и состояния активного ила.

В связи с этим в данной работе предложена математическая модель переменной структуры, имеющая системно-модульный принцип построения.

Общую схему системы биоочистки сточных вод можно представить следующим образом:



**Рисунок 4 – Схема системы биоочистки**

Схемой предусмотрена возможность распределенного питания по субстрату и воздуху. Обобщающая стационарная модель аэротенка, учитывающая распределенность потоков:

$$\left\{ \begin{array}{l} D \frac{d^2 L}{d\ell^2} + L_0 \frac{V_1(\ell)}{F} - U \frac{dL}{d\ell} - L \frac{dU}{d\ell} - W_1(L, X, C) = 0 ; \\ D \frac{d^2 X}{d\ell^2} + X_0 \frac{V_2(\ell)}{F} - U \frac{dX}{d\ell} - X \frac{dU}{d\ell} - W_2(L, X, C) = 0 ; \\ D \frac{d^2 C}{d\ell^2} + KC_0 \frac{V_3(\ell)}{F} - U \frac{dC}{d\ell} - C \frac{dU}{d\ell} - W_3(L, X, C) = 0 \end{array} \right. ; \quad (6)$$

Граничные условия записываются в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} D \frac{dL}{d\ell} = U(L - L_0) , \text{ при } \ell = 0 ; \\ D \frac{dX}{d\ell} = U(X - X_0) , \text{ при } \ell = 0 ; \\ D \frac{dC}{d\ell} = U(C - C_0) , \text{ при } \ell = 0 ; \\ \frac{dL}{d\ell} = \frac{dX}{d\ell} = \frac{dC}{d\ell} = 0 , \text{ при } \ell = \ell_K . \end{array} \right. \quad (7)$$

где:

$L, X, C$  - текущие концентрации органических примесей, биомассы активного ила и кислорода;

$L_0, X_0, C_0$  - соответствующие концентрации на входе в аэротенк;

$V_1(\ell), V_2(\ell), V_3(\ell)$  - распределенные объемные скорости потоков загрязнений, биомассы и кислорода;

$F$  - площадь поперечного сечения;

$D$  - коэффициент продольного перемешивания сплошной фазы;

$K$  - расход воздуха;

$W_1, W_2, W_3$  - соответствующие кинетические члены;

$U$  - линейная скорость сплошного потока, отнесенная ко входу.

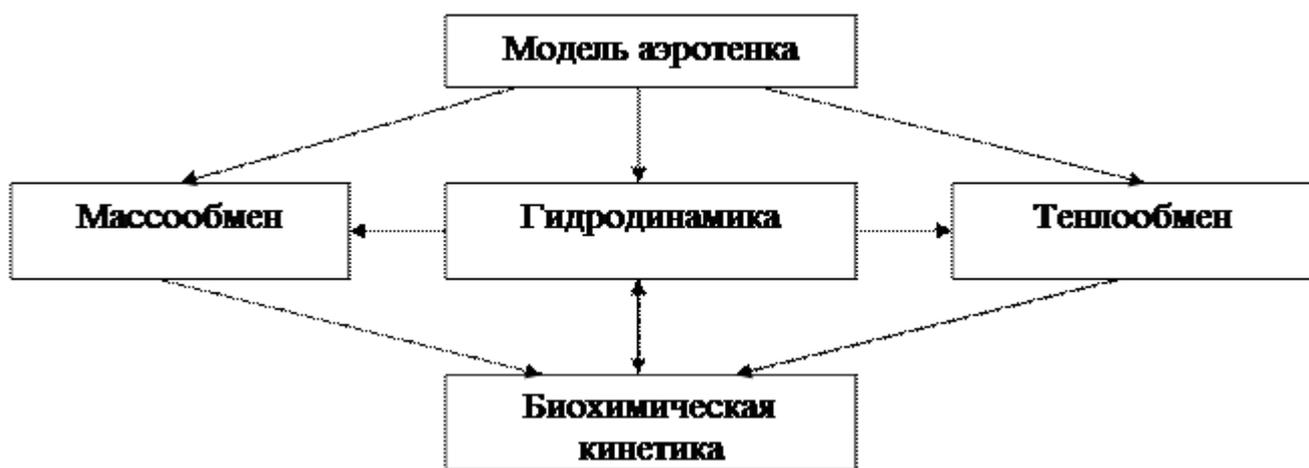
Таким образом, уравнения (6) соответствуют однопараметрической диффузионной модели и учитывают распределенность параметров питания.

Развитием этой модели могут служить подходы, основанные на

использовании более простых моделей структуры потоков (идеального вытеснения и ячеечной), а также конкретных моделей биохимической кинетики.

Следует отметить, что модель (6) не учитывает некоторые гидродинамические параметры, параметры структуры активного ила и адсорбционные эффекты на хлопьях активного ила.

Общая структура модели аэротенка может быть определена следующей схемой:



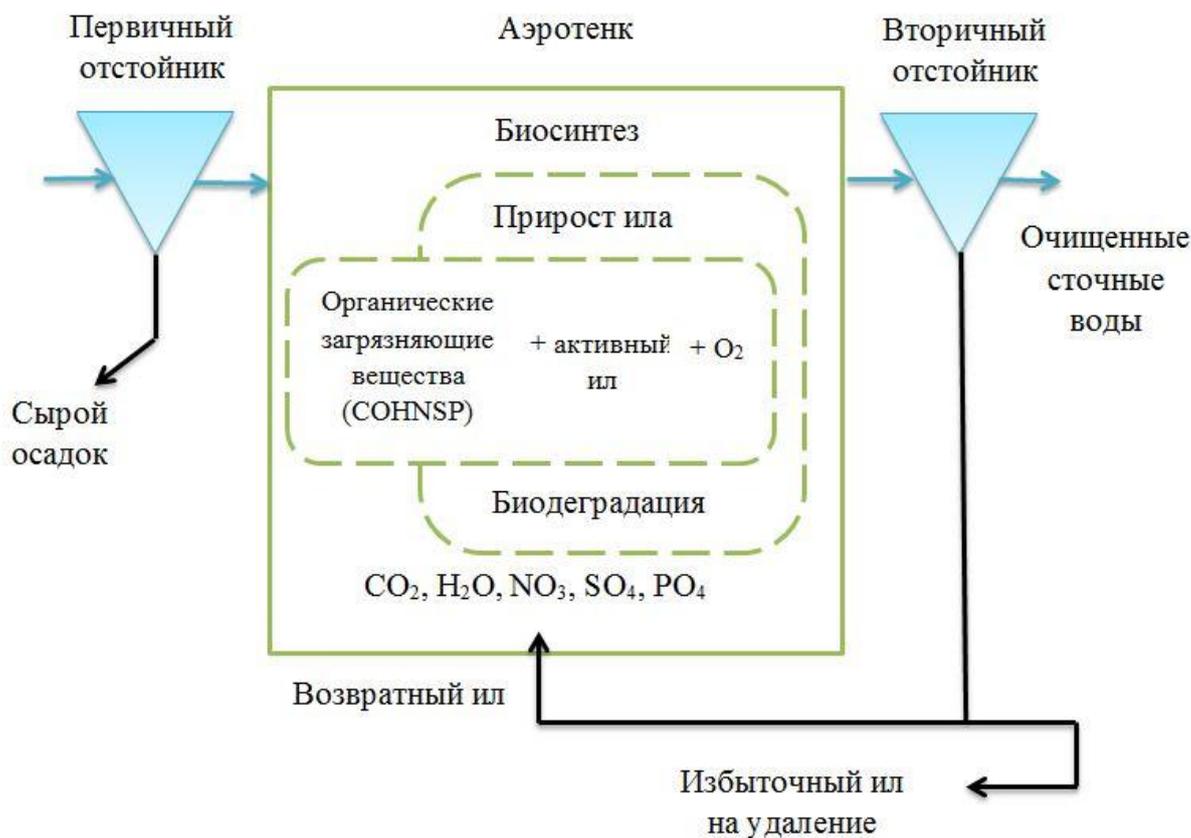
**Рисунок 5 – Структура модели аэротенка**

Концентрация активного ила в аэротенках регулируются в пределах 200-500 мг/дм<sup>3</sup>, а регенераторах 500-850 мг/дм<sup>3</sup> с выводом избыточного количества в первичные отстойники хозяйственно-бытовых сточных.

Окислительная способность активного ила насчитывает 90% и более от нагрузки в зависимости от БПК<sub>полн</sub> поступающих стоков.

Время пребывания сточных вод в аэротенках 17-19 часов. После аэротенков биологически очищенные сточные воды поступают во вторичные отстойники, где происходит разделение (отстаивание) активного ила в течение одного часа сорока двух минут и далее возврат его в регенераторы, а осветленные сточные воды подвергаются доочистке и обеззараживанию.

Принципиальная схема биологической очистки стоков представлена на рисунке 6.



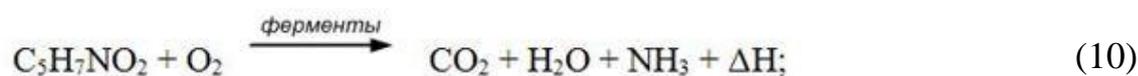
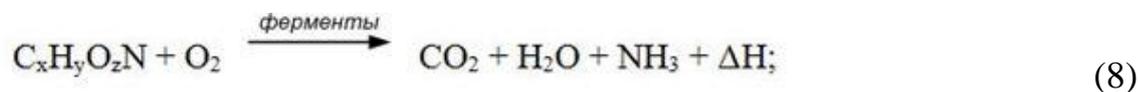
**Рисунок 6 – Принципиальная схема биологической очистки стоков**

Основное разрушение органических загрязнений в сточных водах осуществляют бактерии.  $1\text{ м}^3$  биомассы ила содержит  $2 \times 10^{14}$  бактерий. В биоценозе они находятся в виде скоплений, окруженных слизистой массой (зооглеи). Бактерии представлены такими типами, как псевдомонас, бациллулус, нитробактер, нитросомонас и др.

Процесс деструкции органики осуществляется в определенной последовательности и в присутствии катализаторов этих реакций – ферментов. Ферменты - сложные белковые соединения (молекулярная масса достигает сотен тысяч и миллионов), которые выделяются клетками бактерий и ускоряют биохимические реакции. Особенность ферментов заключается в том, что каждый из них катализирует только одно из многочисленных превращений. Для деструкции сложной смеси органических веществ нужно 80-100 различных ферментов, каждый из них имеет свою оптимальную температуру, выше которой скорость реакции падает [40].

Процесс биологического окисления состоит из множества ступеней и начинается с расщепления органического вещества с выделением активного водорода.

Суммарные реакции биохимического окисления в аэробных условиях можно схематично представить в следующем виде [54]:



где

$C_xH_yO_zN$  - все органические вещества в стоках;

$C_5H_7NO_2$  - условная формула клеточного вещества бактерий;

$\Delta H$  - энергия.

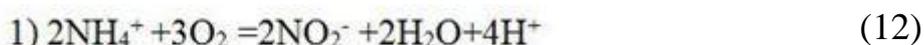
Реакция (8) описывает характер окисления вещества для удовлетворения энергетических потребностей клетки (катаболический процесс), реакция (9) - для синтеза клеточного вещества (анаболический процесс). Затраты кислорода на эти реакции составляют БПКполн сточной воды. Реакции (10) и (11) показывают превращение клеточного вещества в условиях недостатка питательных веществ. Расход кислорода на реакции (8) и (9) приблизительно вдвое меньше, чем на все четыре реакции [63].

Освобождение из стоков аммонийного азота осуществляется на этапе процесса нитрификации, осуществляемой автотрофными бактериями, которые потребляют неорганический углерод (углекислоту, карбонаты, бикарбонаты). Присутствующие в воде органические вещества могут замедлять рост бактерий-нитрификаторов. Этот факт связан с тем, что эти бактерии могут использовать только тот азот, который не использован гетеротрофными микроорганизмами, развивающимися при наличии органики и потребляющими азот в процессе конструктивного обмена. Помимо этого,

гетеротрофные бактерии интенсивно поглощают кислород, необходимый нитрификаторам.

Аммонийный азот окисляется до нитритов на первом этапе процесса бактериями рода *Nitrosomonas*. В качестве субстрата *Nitrosomonas* может использовать аммонийный азот, мочевины, гуанин, не потребляя органическую часть молекулы. На втором этапе процесса нитриты окисляются до нитратов бактериями рода *Nitrobacter* [64].

Реакции окисления азота аммонийного:

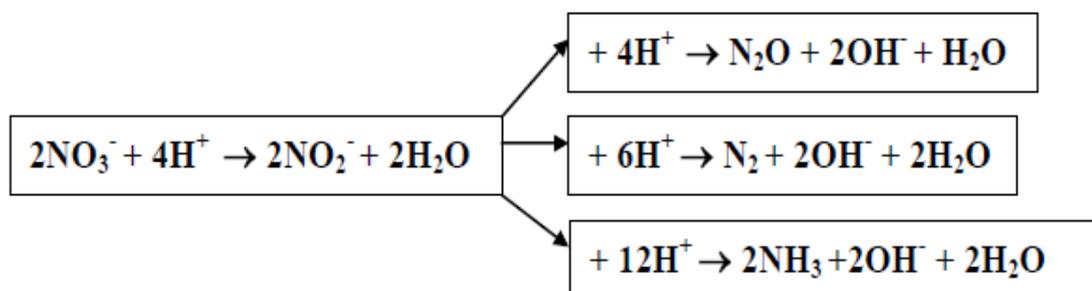


Оптимальными условиями для процесса нитрификации являются температура 20-25°C и pH более 8,4. При pH менее 6 и температуре менее 10°C интенсивность протекания процесса существенно уменьшается, наличие свободного аммиака и солей тяжелых металлов ингибируют процесс [62].

Для высвобождения из воды окисленных форм азота - нитритов и нитратов, которые образуются в процессе нитрификации, осуществляется процесс денитрификации, сущность которого заключается в том, что гетеротрофные бактерии денитрификаторы (*Thioresoccus*, *Denitrificans*, *Руасванеум*) в процессе своей жизнедеятельности для окисления органического вещества используют связанный кислород нитратов и нитритов, восстанавливая их до молекулярного азота.

Денитрификация проходит в анаэробных условиях в присутствии органических веществ, необходимых для жизнедеятельности бактерий. Органические вещества окисляются кислородом, извлеченным из нитритов и нитратов. Окисляются в основном легко окисляемые вещества: углеводы, органические кислоты, спирты. Денитрифицирующие бактерии не могут использовать высокомолекулярные полимерные соединения.

Максимальная интенсивность процесса достигается при рН 7.0-8.2. При значениях рН ниже 6,1 и выше 9,6 процесс полностью затормаживается. Повышение температуры интенсифицирует процесс. Денитрификация происходит согласно схеме, изображенной на рисунке 7.



**Рисунок 7 – Схема процесса денитрификации**

Процессы нитрификации и денитрификации проходят в аэротенке одновременно, так как в активном иле всегда есть аэрируемые зоны и зоны с дефицитом кислорода, где образовавшиеся в процессе нитрификации нитриты и нитраты восстанавливаются.

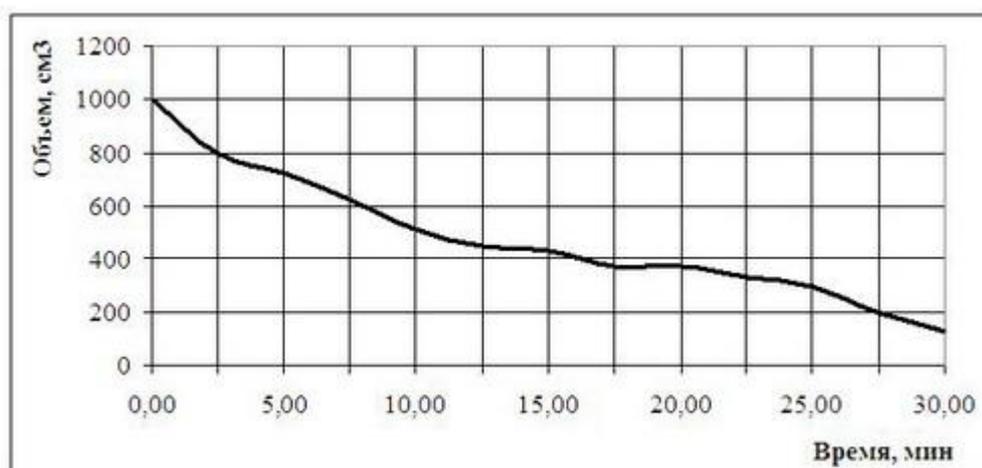
Разделение процессов нитрификации и денитрификации позволяет улучшить условия проведения каждого из них и, соответственно, обеспечить глубокое удаление азота.

Биогенные элементы и микроэлементы являются необходимыми для успешного протекания биохимических реакций в сточной воде. К ним относятся N, S, P, K, Mg, Ca, Na, Cl, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Zn, Си и др.

Среди них основными являются N, P и K. Недостаток азота тормозит окисление органических загрязнителей и приводит к образованию труднооседающего ила. Недостаток фосфора приводит к развитию нитчатых бактерий, и, в результате, к вспуханию активного ила [60].

Способность активного ила образовывать хорошо оседающие хлопья – важнейшее его свойство, т.к. эффективность очистки сточных вод в аэротенках в значительной степени зависит от последующего процесса отделения активного ила от очищенной воды.

На рисунке 8 показана осаждаемость активного ила при удовлетворительных седиментационных характеристиках и высоком качестве очистки, обеспечиваемом таким илом.



**Рисунок 8 – Зависимость объема, занимаемого активным илом с удовлетворительными седиментационными характеристиками, от времени оседания**

Способность активного ила к оседанию характеризуется значением илового индекса. Оптимальной величиной нагрузки считают величину илового индекса, которая не превышает  $100 \text{ см}^3/\text{г}$ . При иловом индексе более  $100 \text{ см}^3/\text{г}$  активный ил занимает большой объём, становится лёгким, теряет хлопьевидную структуру, плохо оседает, не уплотняется и в большом количестве выносится из вторичных отстойников, ухудшая эффективность работы очистных сооружений.

В нормально работающем активном иле кроме хлопьев зооглейных скоплений бактерий имеется большое количество простейших организмов (инфузорий), а также встречаются коловратки и черви. При нарушении нормальных условий работы аэротенка в иле развиваются нитчатые бактерии, водные грибы и др. Эти формы вызывают вспухание активного ила (резко возрастает иловый индекс), он плохо оседает во вторичном отстойнике и выносится с очищенной водой.

В искусственно создаваемом биоценозе активного ила аэротенков изначально поддерживаются благоприятные условия для развития

флокулообразующих бактерий, численное преобладание которых (порядка 80% численности биоценоза) является показателем благополучия. При нарушении этих условий флокулообразующие бактерии, имеющие высокие адсорбционные, окислительные и репродуктивные способности и низкую устойчивость к изменениям среды, начинают массово гибнуть. При этом освобождается пищевая ниша, которую занимают устойчивые к резким перепадам концентраций, кислотности и температуры нитчатые организмы, они начинают бурно развиваться и накапливаться [50].

В процессе биологической очистки концентрации загрязнителя и биомассы активного ила изменяются. Так как по окончании очистки концентрация загрязнителя должна быть достаточно мала, а утилизация избыточного активного ила требует существенных затрат, то существует проблема поддержания концентрации активного ила и загрязнителя в определенных границах.

Пусть  $s_{\max}$  и  $x_{\max}$  – это максимально допустимые концентрации загрязнителя и микроорганизмов соответственно. Тогда задача стабилизации состоит в том, чтобы поддерживать эти концентрации в допустимых пределах:

$$\begin{cases} s(t) \leq s_{\max}, \\ x(t) \leq x_{\max}. \end{cases} \quad (14)$$

### **Решение задачи стабилизации**

Процесс биоочистки может быть описан следующей системой дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = u(t)a_1 + \mu_0 \frac{x(t)s(t)}{k + s(t)} - (b + u(t))x(t), \\ \dot{s}(t) = ba_2 - \frac{\mu_0}{Y} \frac{x(t)s(t)}{k + s(t)} - (b + u(t))s(t), \\ t \in [0; T], \quad x(0) = x_0 > 0, \quad s(0) = s_0 > 0. \end{cases} \quad (15)$$

где

$s(t)$ ,  $x(t)$  – концентрации субстрата-загрязнителя и микроорганизмов в момент времени  $t$  ;

$u(t)$ ,  $a_1$  – скорость и концентрация биомассы в возвратном потоке;

$b$ ,  $a_2$  – скорость и концентрация субстрата на входе;

$\mu_0$  – максимальная удельная скорость роста биомассы;

$Y$  – коэффициент перехода загрязнителя в биомассу микроорганизмов;

$k$  – константа полунасыщения.

## **2.2 Построение математической модели динамических процессов биологической очистки сточных вод**

Этап биологической очистки осуществляется в целях освобождения осветленных вод от органических и минеральных примесей, которые находятся во взвешенном, коллоидном и растворенном состояниях.

Так как очистные сооружения находятся в постоянно изменяющихся условиях (изменение состава и объема сточных вод, возможные неполадки в оборудовании и т.д.), их удовлетворительная работа зависит от многих факторов. В таких условиях работы возникает необходимость прогнозирования поведения 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 [35].

Процесс биологической очистки ведется в аэротенках, где происходит непосредственный контакт сточных вод с организмами активного ила в присутствии определенного количества растворенного кислорода и с последующим отделением активного ила от очищенной воды в отстойниках. В процессе жизнедеятельности микроорганизмов происходит множество

ферментативных реакций. Встает задача моделирования роста микроорганизмов [42].

Кинетика роста популяций изучает изменение биомассы за единицу времени ( $dx/dt$ ). Модель Моно – это наиболее простая математическая модель, описывающая эту кинетику. Она описывает лимитирующее действие субстрата.

$$\frac{dx}{dt} = V \cdot x, \quad (16)$$

где

$x$  – биомасса, [г/л];

$V$  - удельная скорость роста микроорганизмов, подчиняющаяся закону Михаэля-Ментен:

$$V = V_{max} \cdot \frac{S}{K_M + S} \quad (17)$$

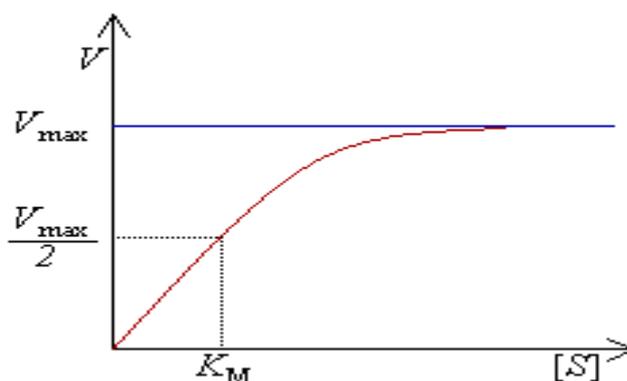
где

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

$S$  – концентрация субстрата;

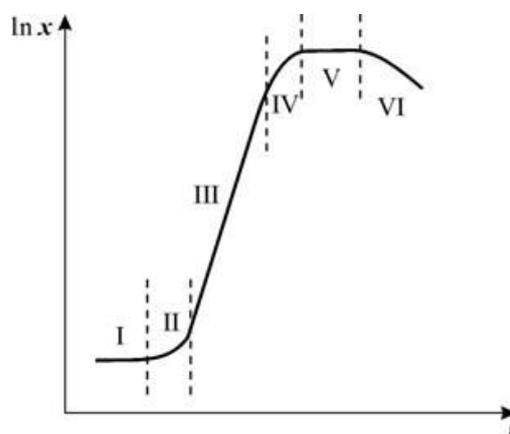
$K_M$  – константа полунасыщения, т.е. такая концентрация субстрата, при которой удельная скорость роста принимает значение половины максимальной.

На рисунке 9 показан график, отображающий уравнение Михаэлиса-Ментен.



**Рисунок 9 – Графическое изображение закона Михаэлиса-Ментен**

Как показывают экспериментальные исследования, микроорганизмы растут следующим образом (рис. 10):



**Рисунок 10 – Кривая роста популяции микроорганизмов**

I – лаг-фаза; II – фаза ускорения роста; III – фаза экспоненциального роста; IV – фаза замедления роста; V – фаза стационарная; VI – фаза отмирания культуры

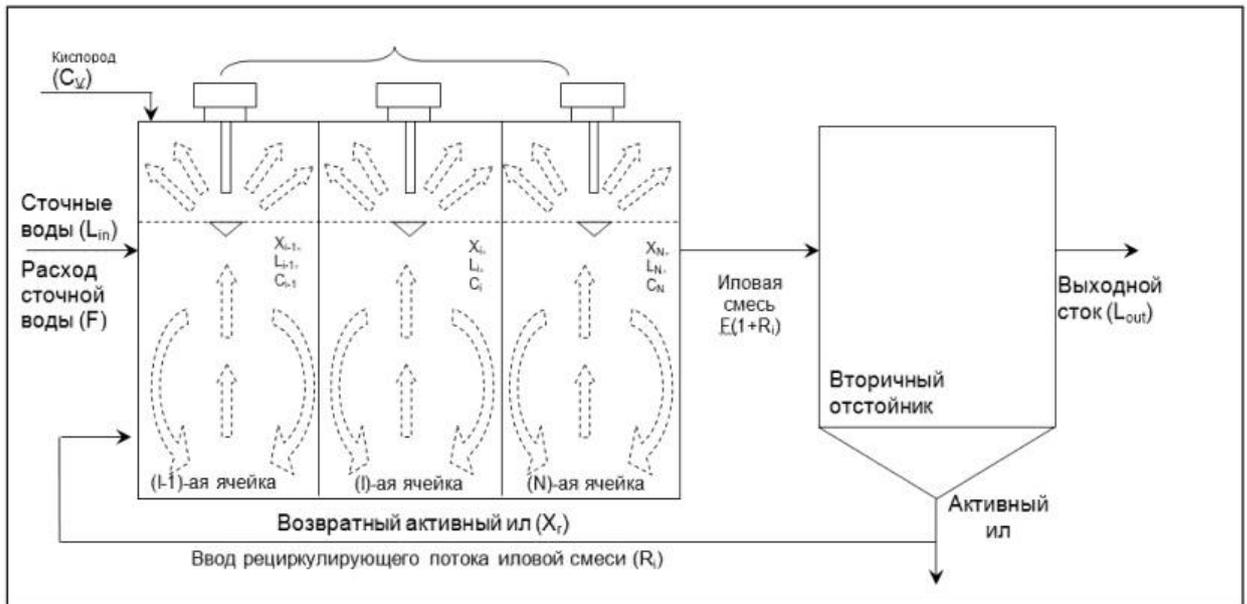
В течение лаг-фазы не происходит заметного увеличения числа клеток или образования каких-либо продуктов. В этот период перестраивается метаболизм клетки, синтезируются ферменты, специфичные к использованию новых субстратов, активизируется биосинтез белка. После адаптации культуры наступает фаза ускорения роста, которую в свою очередь сменяет фаза экспоненциального роста, в течение которой быстро накапливаются биомасса и продукты разных реакций. Эта фаза достаточно строго описывается экспоненциальной кривой. Замедление роста в IV фазе связано с недостаточным подводом кислорода еще при наличии субстрата. В некоторых случаях рост культуры может переходить в достаточно устойчивую и продолжительную стационарную фазу. В этих условиях культура развивается в режиме постоянства общего числа клеток. При этом скорость прироста биомассы полностью компенсируется скоростью гибели и лизиса клеток. Если система полностью истощается по субстрату, то скорость прироста биомассы становится равной нулю, происходят существенные физиологические изменения клеток и, как правило,

наблюдается фаза отмирания культуры, сопровождаемая часто полным лизисом клеток [45].

Активный ил – искусственно выращиваемый биоценоз микроорганизмов, которые трансформируют загрязняющие вещества и очищают сточные воды в результате биосорбции и биохимического окисления. Кислород подается в систему через сеть перфорированных труб на дне аэротенка.

Для определения оптимальных условий протекания процесса биологической очистки и для его разумного регулирования используется математическое моделирование. Под математической моделью понимают приближенное описание определенного процесса или явления, выраженное с помощью математической символики. Одной из самых простых и доступных моделей для описания процесса биоочистки является ячеечная модель. Физический смысл такой модели заключается в том, что движущийся поток рассматривается как состоящий из ряда последовательно соединенных ячеек. Предполагается, что в каждой такой ячейке происходит полное перемешивание потока, а между ячейками перемешивание отсутствует. Характеризует ячеечную модель параметр  $N$  – количество ячеек. При этом если  $N=1$ , ячеечная модель переходит в модель идеального перемешивания, как в нашем случае [46].

Упрощенная схема аэротенка вытеснителя ячеечной структуры представлена на рисунке 11.



**Рисунок 11 – Упрощенная схема аэротенка вытеснителя ячейечной структуры**

Концентрации загрязняющих веществ и биомассы активного ила в процессе биологической очистки изменяются. Таким образом, в настоящее время достаточно остро стоит проблема поддержания концентрации загрязнителя и микроорганизмов в определенных границах, так как по окончании процесса очистки концентрация загрязнителя должна быть достаточно мала, а утилизация избыточного активного ила требует существенных затрат.

Пусть  $L_{max}$  и  $X_{max}$  – максимально допустимые концентрации загрязняющих веществ и активного ила соответственно. Тогда задача стабилизации состоит в том, чтобы поддерживать эти концентрации в допустимых пределах:

$$\begin{cases} L(t) \leq L_{max}, \\ X(t) \leq X_{max}. \end{cases} \quad (18)$$

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 [43]:

$$\frac{dL_{out}^j}{dt} = \frac{Q \cdot (1 + R_i)}{V} \cdot (L_{out(i-1)}^j - L_{out(i)}^j) + R_{Li}^j, \quad (19)$$

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, м<sup>3</sup>/ч;

$V$  – объем ячейки, м<sup>3</sup>;

$R_i$  – коэффициент рециркуляции активного ила;

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

Объем ячейки вычисляется по формуле:

$$V = V_a / N_a, \quad (20)$$

где

$V_a = 1366,6$  м<sup>3</sup>/ч – расход поступающей сточной воды;

$N_a = 1$  – количество ячеек.

$$V = \frac{1366,6}{1} = 1366,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Степень рециркуляции активного ила в аэротенках рассчитывается по формуле:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i}, \quad (21)$$

где

$a_i = 5$  г/л – доза ила в аэротенке;

$J_i = 120$  см<sup>3</sup>/г – иловый индекс.

Подставляем значения в формулу (21):

$$R_i = \frac{5}{\frac{1000}{120} - 5} = 1,5.$$

Удельная скорость окисления субстрата рассчитывается по формуле:

$$R_{Li}^j = R_{max} \cdot \frac{L_{ex} \cdot C_0}{L_{ex} \cdot C_0 + K_i \cdot C_0 + K_0 \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i}, \quad (22)$$

где

$R_{max}$  – максимальная скорость окисления, мгБПК<sub>полн</sub>/(г·ч);

$L_{ex} = 30$  мг/л – БПК<sub>полн</sub> очищенной воды;

$C_0 = 1$  мг/л – концентрация растворенного кислорода;

$K_i$  – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мгБПК<sub>полн</sub>/л;

$K_0$  – константа, характеризующая влияние кислорода, мгО<sub>2</sub>/л;

$\varphi$  – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г;

$a_i = 5$  г/л – доза ила.

Для городских сточных вод и производственных сточных вод заводов синтетического каучука принимаем:  $R_{max} = 85$  мгБПК<sub>полн</sub>/(г·ч);  $K_i = 33$  мгБПК<sub>полн</sub>/л;  $K_0 = 0,625$  мгО<sub>2</sub>/л;  $\varphi = 0,07$ .

Тогда формула (16) имеет вид:

$$R_{Li}^j = 85 \cdot \frac{3,54 \cdot 1}{3,54 \cdot 1 + 33 \cdot 1 + 0,625 \cdot 3,54} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 5} = 5,7 \text{ мг/л·ч.}$$

Для решения уравнения (19) в качестве краевых условий приняты параметры первой ячейки:

$$L_{out(i-1)} = \frac{(L_{out} \cdot R_i + L_{in})}{(1 + R_i)}, \quad (23)$$

где

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

Тогда:

$$L_{out(i-1)} = (84 \cdot 1,5 + 120) \cdot (1 + 2,5) = 98,4 \text{ мг/л.}$$

Динамика концентрации активного ила оценивается по формуле:

$$\frac{dX_i}{dt} = \frac{Q \cdot (1 + R_i)}{V} \cdot (X_{i-1} - X_i) + V_{xi}, \quad (24)$$

где

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

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

Скорость роста микроорганизмов (скорость накопления активного ила) рассчитывается по формуле (17), подставляя значения в которую, получаем:

$$V_{xi} = 5,5 \cdot \frac{84}{93 + 84} = 0,47 \text{ г/л·ч.}$$

Параметры первой ячейки рассчитываются по следующей формуле:

$$X_{i-1} = X_r \cdot \frac{R_i}{(1 + R_i)}, \quad (25)$$

где

$X_r = 12 \text{ г/л}$  – концентрация активного ила в рециркуляционном потоке.

Подставив имеющиеся значения в формулу (25), получим:

$$X_{i-1} = 12 \cdot \frac{1,5}{(1 + 1,5)} = 7,5 \text{ г/л.}$$

Динамика изменения концентрации растворенного кислорода описывается следующим уравнением:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q \cdot (1 + R_i)}{V} \cdot (C_{i-1} - C_i) + KLa \cdot (C_a - C_i) + R_{ci}, \quad (26)$$

где

$C_i$  и  $C_{i-1}$  – концентрация растворенного кислорода в рассматриваемой  $i$ -й ячейке и в предыдущей, мг/л;

$KLa$  – коэффициент массопередачи кислорода, ч<sup>-1</sup>;

$C_a$  – концентрация насыщения воды кислородом при заданных температуре и давлении, мг/л;

$R_{ci}$  – скорость потребления кислорода, мгО<sub>2</sub>/л·ч.

В качестве краевых условий приняты следующие параметры первой ячейки:

$$C_{i-1} = \frac{(C_{sv} + C_{vi} \cdot R_i)}{(1 + R_i)}, \quad (27)$$

где

$C_{sv}$ ,  $C_{vi}$  – концентрация растворенного кислорода в поступающей на очистку воде и рециркуляционном потоке активного ила, мг/л. При отсутствии преаэрации принимают  $C_{sv} = 0$ ;  $C_{vi} = 0,8$ .

Тогда:

$$C_{i-1} = \frac{(0 + 0,8 \cdot 1,5)}{(1 + 1,5)} = 0,48.$$

С учетом условий (11) система дифференциальных уравнений, описывающая процесс биоочистки выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dL_{out}^j}{dt} = \frac{Q \cdot (1 + R_i)}{V} \cdot (L_{out(i-1)}^j - L_{out(i)}^j) + R_{Li}^j, \\ \frac{dX_i}{dt} = \frac{Q \cdot (1 + R_i)}{V} \cdot (X_{i-1} - X_i) + V_{xi}, \\ \frac{dC_i}{dt} = \frac{Q \cdot (1 + R_i)}{V} \cdot (C_{i-1} - C_i) + KLa \cdot (C_a - C_i) + R_{ci}, \\ L(t) \leq L_{max}, \quad X(t) \leq X_{max}. \end{array} \right. \quad (28)$$

Расчет проводится по БПК<sub>5</sub>, а также по приоритетным загрязняющим веществам: водородный показатель, БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, сульфаты, ион аммония, ПАВ анионоактивный, никель, хром (+6).

Для расчета составлена система уравнений, отражающая динамику загрязнений и концентрации биомассы в аэротенке:

Исходные данные:

$\text{ORIGIN} := 1$	$\text{pH0} := 0$	$\text{PAV0} := 0$
$R := 1.5$	$\text{BPK0} := 0$	$\text{Med0} := 0$
$V := 882$	$\text{Vzv0} := 0$	$\text{Nikel0} := 0$
$Q := 673.275$	$\text{Sul0} := 0$	$\text{Svin0} := 0$
$R_c := 7.26$	$\text{Ammon0} := 0$	$\text{Xrom0} := 0$
$R_i := 2.6$	$\text{Neft0} := 0$	$\text{II0} := 8.6$

$$\frac{d}{dt} \text{pH1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{pH1} - \text{pH0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{BPK1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{BPK1} - \text{BPK0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Vzv1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Vzv1} - \text{Vzv0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Sul1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Sul1} - \text{Sul0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Ammon1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Ammon1} - \text{Ammon0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Fe1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Fe1} - \text{Fe0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Neft1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Neft1} - \text{Neft0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{PAV1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{PAV1} - \text{PAV0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Med1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Med1} - \text{Med0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Nikel1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Nikel1} - \text{Nikel0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Svin1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Svin1} - \text{Svin0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{Xrom1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Xrom1} - \text{Xrom0}) + R_c$$

$$\frac{d}{dt} \text{II1} := \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{II1} - \text{II0}) + R_i$$

Решим систему:

- начальные условия

$$X := \begin{pmatrix} 7.5 \\ 300 \\ 300 \\ 300 \\ 50 \\ 3 \\ 10 \\ 10 \\ 0.5 \\ 0.25 \\ 0.25 \\ 0.05 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$D(x, X) := \begin{pmatrix} \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{pH}0 - X_1) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{BPK}0 - X_2) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Vzv}0 - X_3) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Sul}0 - X_4) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Ammon}0 - X_5) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Fe}0 - X_6) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Neft}0 - X_7) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{PAV}0 - X_8) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Med}0 - X_9) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Nikel}0 - X_{10}) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Svin}0 - X_{11}) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{Xrom}0 - X_{12}) + R_c \\ \frac{Q \cdot (1 + R)}{V} \cdot (\text{I}0 - X_{13}) + R_i \end{pmatrix}$$

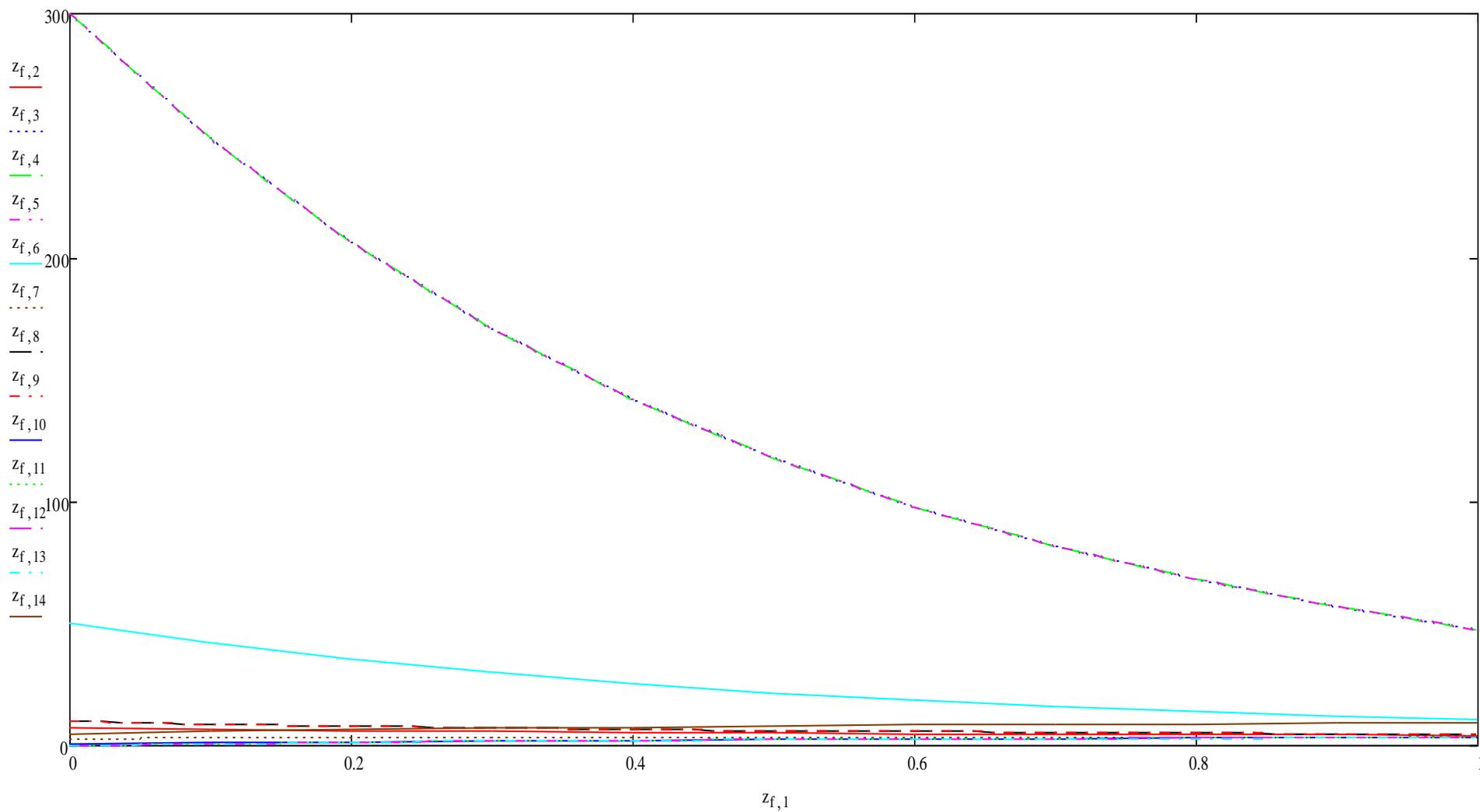
Решения системы представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Решения системы представлены

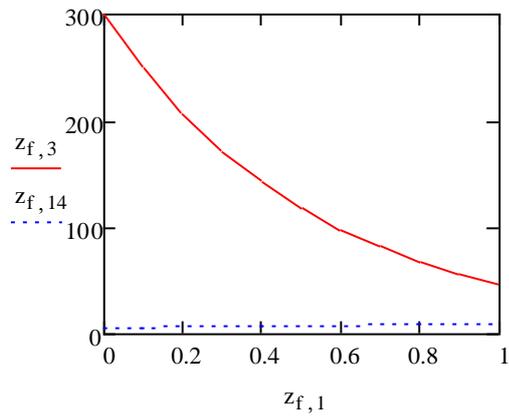
$z := \text{rkfixed}(X, 0, 1, 10, D) =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	7.5	300	300	300	50	3	10	10	0.5	0.25	0.25	0.05	5
1	0.1	6.858	248.542	248.542	248.542	41.974	3.14	8.924	8.924	1.074	0.867	0.867	0.702	5.862
2	0.2	6.327	206.023	206.023	206.023	35.343	3.255	8.034	8.034	1.548	1.378	1.378	1.241	6.574
3	0.3	5.889	170.891	170.891	170.891	29.864	3.351	7.299	7.299	1.94	1.799	1.799	1.686	7.163
4	0.4	5.527	141.863	141.863	141.863	25.336	3.429	6.692	6.692	2.264	2.148	2.148	2.054	7.649
5	0.5	5.228	117.878	117.878	117.878	21.596	3.495	6.19	6.19	2.532	2.435	2.435	2.358	8.051
6	0.6	4.98	98.06	98.06	98.06	18.505	3.548	5.776	5.776	2.753	2.673	2.673	2.61	8.383
7	0.7	4.776	81.685	81.685	81.685	15.951	3.593	5.433	5.433	2.935	2.87	2.87	2.817	8.658
8	0.8	4.607	68.154	68.154	68.154	13.841	3.63	5.15	5.15	3.086	3.032	3.032	2.989	8.884
9	0.9	4.468	56.975	56.975	56.975	12.097	3.66	4.916	4.916	3.211	3.166	3.166	3.13	9.072
10	1	4.352	47.737	47.737	47.737	10.656	3.685	4.723	4.723	3.314	3.277	3.277	3.247	9.226
11														
12														

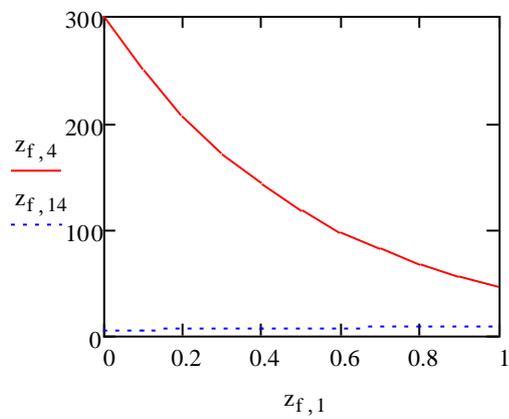
$f := 0..100$



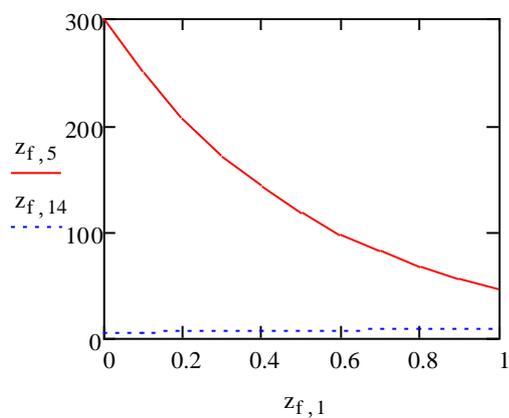
**Рисунок 12 – Динамика изменения концентрации загрязняющих веществ и активного ила**



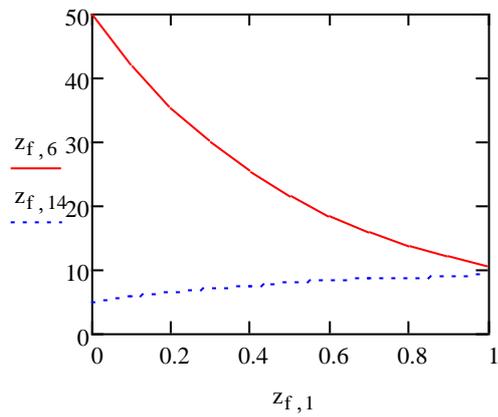
**Рисунок 13 – Зависимость концентраций БПК<sub>5</sub> и биомассы активного ила от времени**



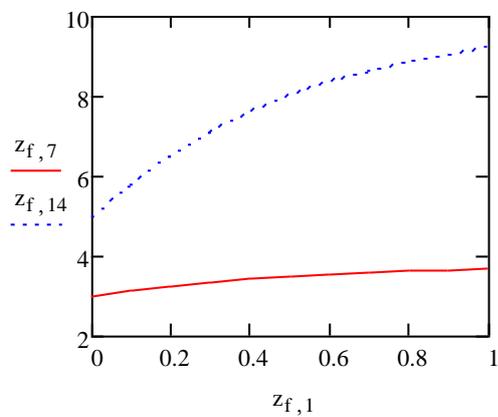
**Рисунок 14 – Зависимость концентраций взвешенного вещества и биомассы активного ила от времени**



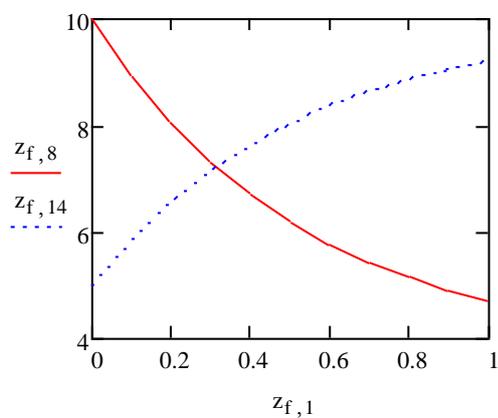
**Рисунок 15 – Зависимость концентраций сульфата и биомассы активного ила от времени**



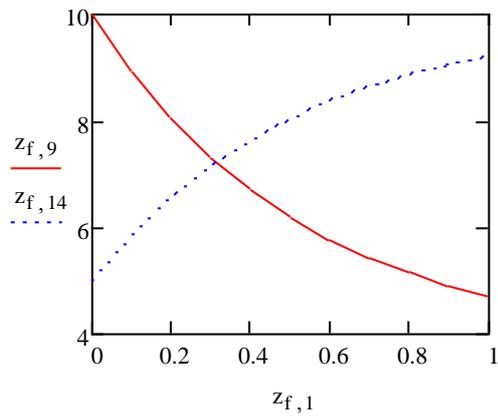
**Рисунок 16 – Зависимость концентраций иона аммония и биомассы активного ила от времени**



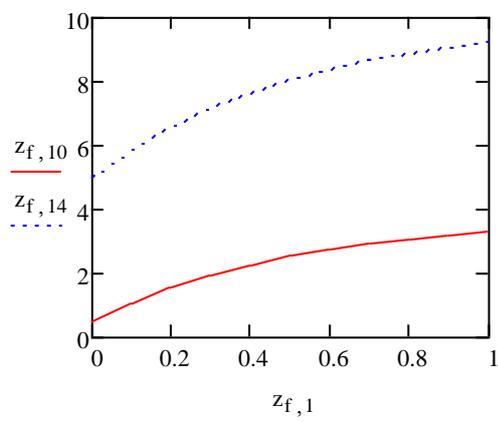
**Рисунок 17 – Зависимость концентраций железа общего и биомассы активного ила от времени**



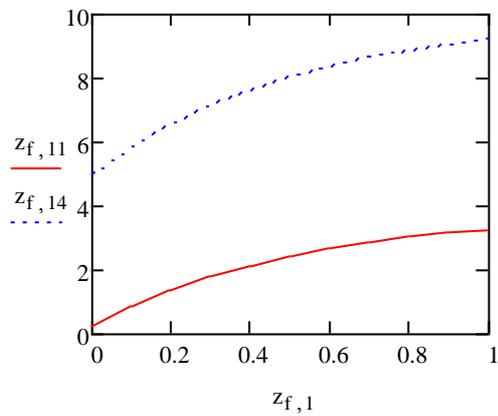
**Рисунок 18 – Зависимость концентраций нефтепродуктов и биомассы активного ила от времени**



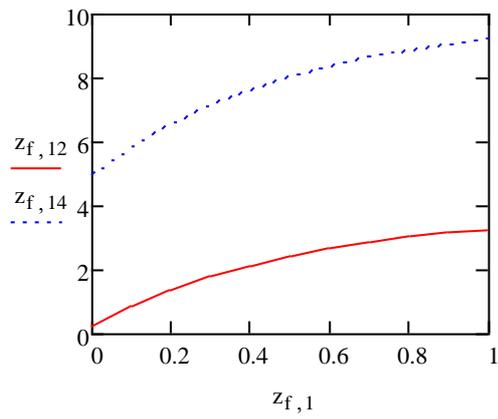
**Рисунок 19 – Зависимость концентраций ПАВ и биомассы активного ила от времени**



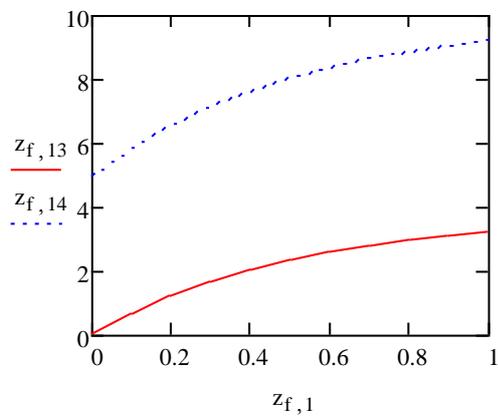
**Рисунок 20 – Зависимость концентраций меди и биомассы активного ила от времени**



**Рисунок 21 – Зависимость концентраций никеля и биомассы активного ила от времени**



**Рисунок 22 – Зависимость концентраций свинца и биомассы активного ила от времени**



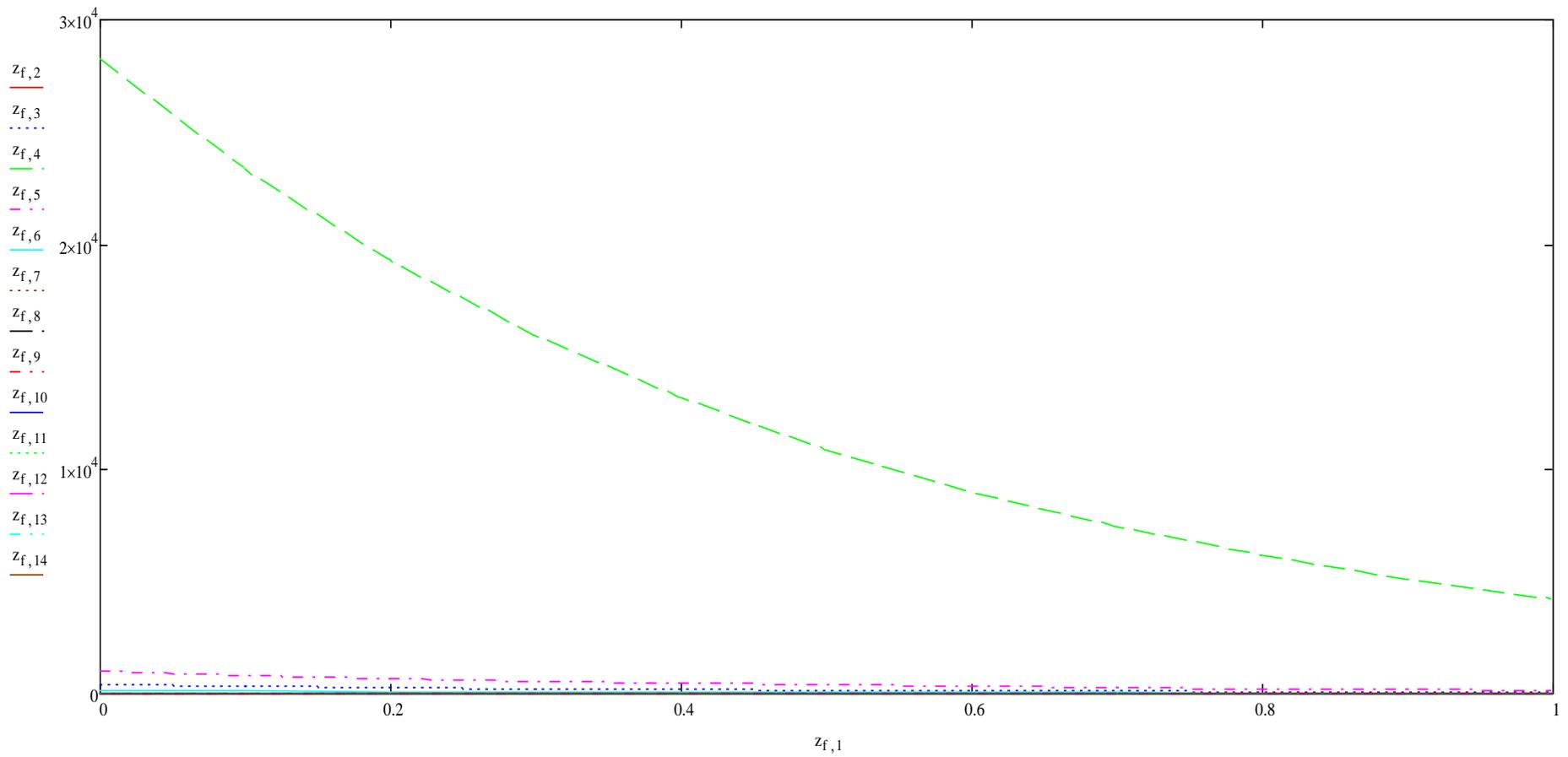
**Рисунок 23 – Зависимость концентраций хрома и биомассы активного ила от времени**

## Расчет с превышениями концентраций

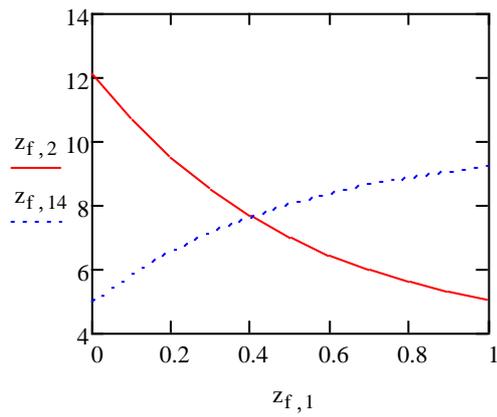
z := rkfixed (X, 0, 1, 10, D) =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	12.14	403	$2.823 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$	123.1	4.4	11	25.9	0.55	0.31	0.26	1.08	5
2	0.1	10.692	333.647	$2.332 \cdot 10^4$	826.93	102.375	4.297	9.75	22.061	1.115	0.917	0.876	1.553	5.862
3	0.2	9.495	276.343	$1.927 \cdot 10^4$	683.927	85.25	4.211	8.717	18.889	1.583	1.419	1.385	1.944	6.574
4	0.3	8.507	228.995	$1.592 \cdot 10^4$	565.769	71.1	4.14	7.863	16.269	1.969	1.833	1.805	2.267	7.163
5	0.4	7.69	189.872	$1.316 \cdot 10^4$	468.138	59.409	4.082	7.158	14.103	2.287	2.176	2.152	2.534	7.649
6	0.5	7.015	157.546	$1.087 \cdot 10^4$	387.469	49.749	4.034	6.576	12.314	2.551	2.459	2.439	2.755	8.051
7	0.6	6.457	130.837	$8.985 \cdot 10^3$	320.814	41.767	3.994	6.094	10.836	2.769	2.692	2.676	2.937	8.383
8	0.7	5.996	108.767	$7.425 \cdot 10^3$	265.74	35.171	3.961	5.696	9.614	2.949	2.886	2.872	3.088	8.658
9	0.8	5.615	90.532	$6.135 \cdot 10^3$	220.233	29.722	3.934	5.368	8.605	3.097	3.045	3.034	3.212	8.884
10	0.9	5.301	75.465	$5.07 \cdot 10^3$	182.633	25.219	3.911	5.096	7.771	3.22	3.177	3.168	3.315	9.072
11	1	5.041	63.015	$4.19 \cdot 10^3$	151.565	21.499	3.893	4.872	7.082	3.322	3.286	3.279	3.4	9.226
12														
13														

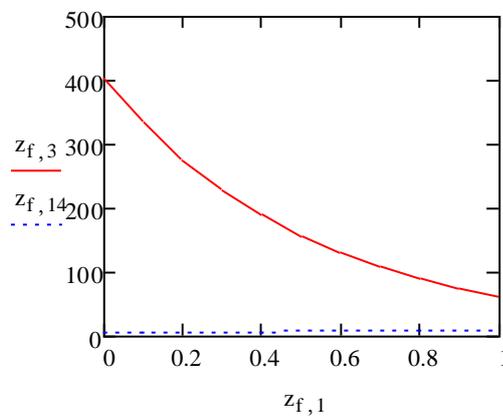
f := 0..100



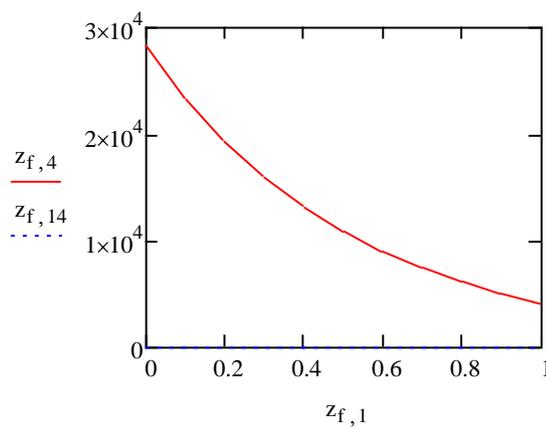
**Рисунок 24 – Динамика изменения концентрации загрязняющих веществ и активного ила**



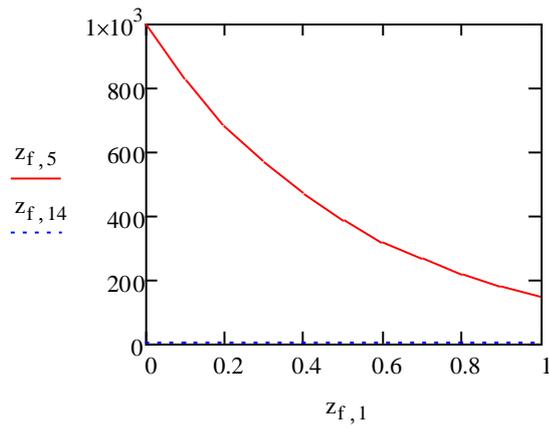
**Рисунок 25 – Зависимость концентраций БПК<sub>5</sub> и биомассы активного ила от времени**



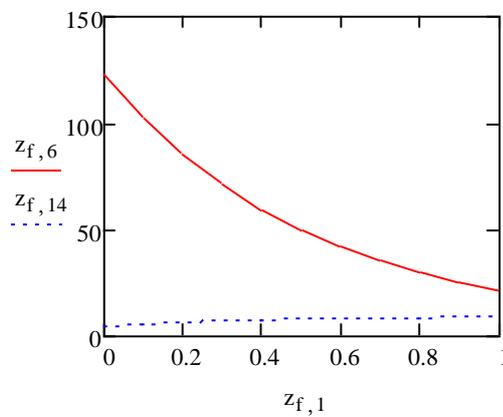
**Рисунок 26 – Зависимость концентраций взвешенного вещества и биомассы активного ила от времени**



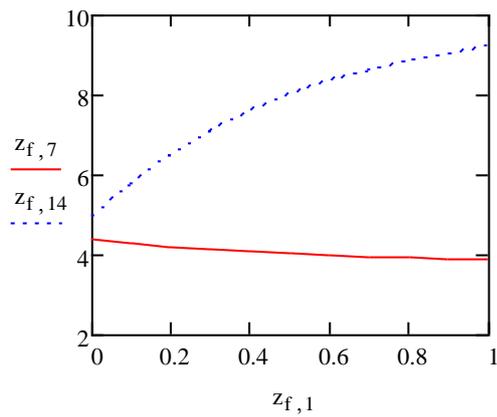
**Рисунок 27 – Зависимость концентраций сульфата и биомассы активного ила от времени**



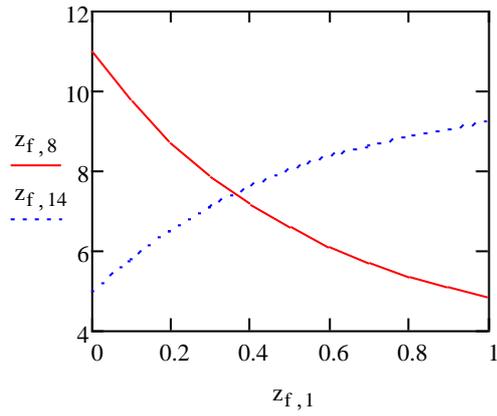
**Рисунок 28 – Зависимость концентраций иона аммония и биомассы активного ила от времени**



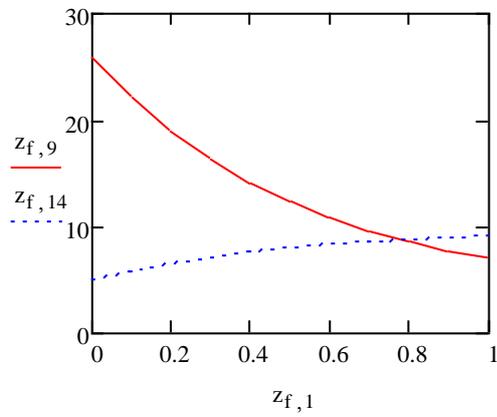
**Рисунок 29 – Зависимость концентраций железа общего и биомассы активного ила от времени**



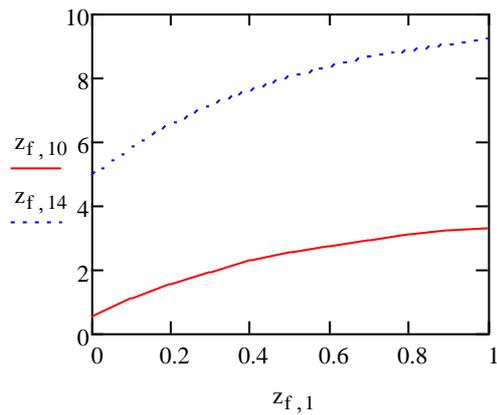
**Рисунок 30 – Зависимость концентраций нефтепродуктов и биомассы активного ила от времени**



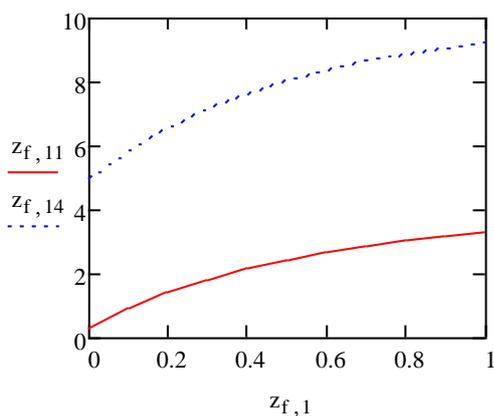
**Рисунок 31 – Зависимость концентраций ПАВ и биомассы активного ила от времени**



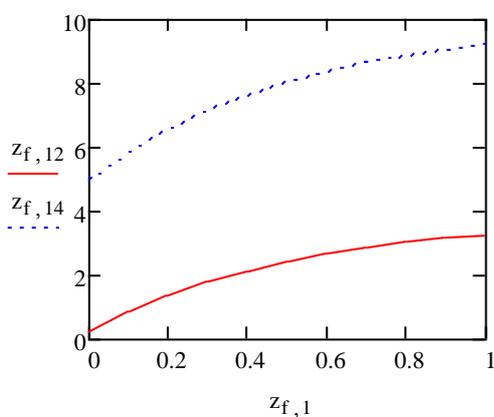
**Рисунок 32 – Зависимость концентраций меди и биомассы активного ила от времени**



**Рисунок 32 – Зависимость концентраций никеля и биомассы активного ила от времени**



**Рисунок 34 – Зависимость концентраций свинца и биомассы активного ила от времени**



**Рисунок 35– Зависимость концентраций хрома и биомассы активного ила от времени**

В данной главе разработана модель, отражающая динамику процессов биохимического окисления. С её помощью можно выявлять отклонения концентраций загрязняющих веществ в стоках, поступающих на очистку, не допуская критических значений, при которых биоценоз активного ила может быть подвергнут губительному воздействию токсичных веществ или пострадать от недопустимо высокой нагрузки. В результате таких процессов биомасса активного ила деградирует, могут возникнуть крайне нежелательные процессы вспухания и выноса активного ила, вследствие чего значительно ухудшается качество сточных вод на выходе, общая эффективность очистки.

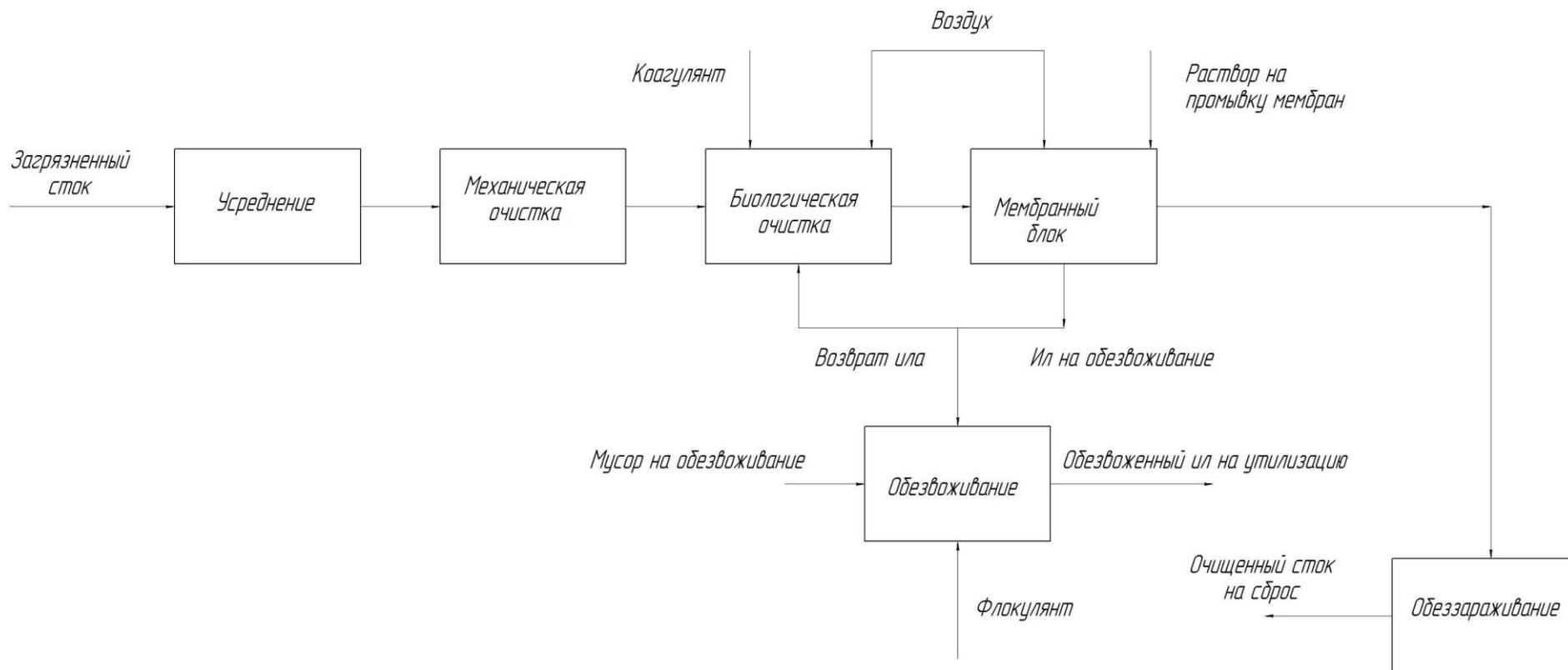
Чтобы не допустить появления описанных процессов крайне важно отслеживать и регулировать концентрацию загрязняющих веществ на входе в очистные сооружения, приостанавливать впуск воды при наличии

отклонений состава и параметров стоков, которые могут появиться вследствие залповых сбросов вод предприятий-абонентов, увеличении количества стоков из-за изменения технологического процесса какого-либо производства или какой-либо поломке оборудования.

### **2.3 Очистка сточных вод с помощью мембранных биореакторов**

Методика биологической очистки канализационных вод с применением мембранного биореактора (МБР), сочетающего в себе микро- и ультрафильтрацию, а также аэробную биологическую очистку сточных вод, дает возможность получения высококачественно очищенной воды и позволяет вернуть ее в гидрологический цикл, улучшить технико-экономические характеристики биологических очистных сооружений, понизить капитальные и эксплуатационные расходы на водоочистку.

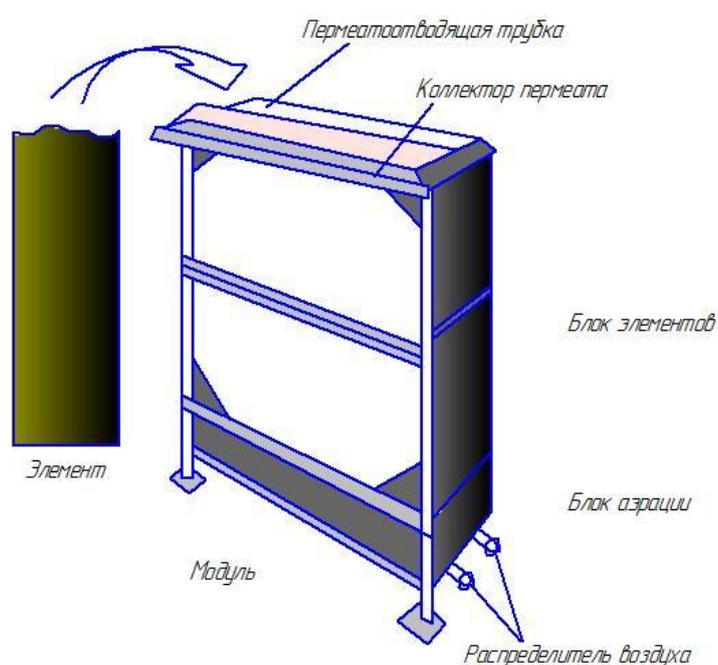
В аэробных условиях в сооружении аэротенка с помощью микрофильтрационных мембран, эффективно отделяющих активный ил с биологически очищенной воды. В целях «дыхания» активного ила в аэротенк подаётся сжатый воздух посредством системы мелкопузырчатой аэрации. Мембраны обеспечивают полное удержание микроорганизмов в биореакторах, образуя условия для неоднократного увеличения концентрации активной биомассы в аэротенке. Вторичные отстойники и блоки доочистки исключаются с технологической цепочки (рис. 36).



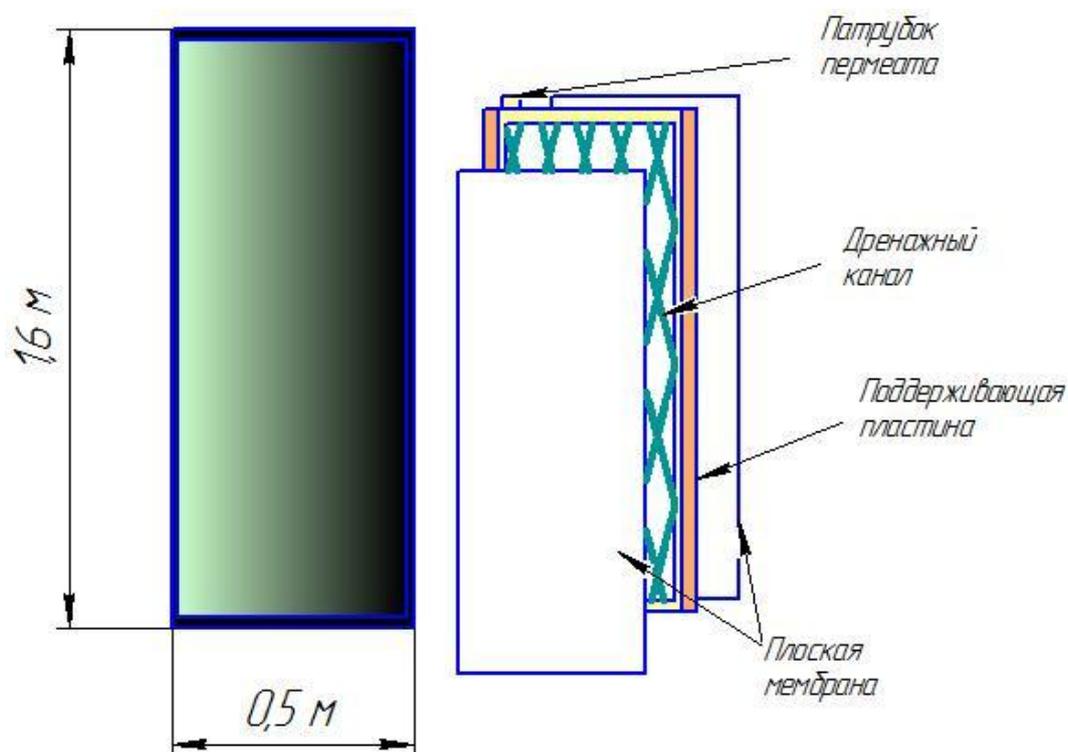
**Рисунок 36 – Принципиальная схема очистки хозяйственно-бытовых сточных вод с мембранным биореактором**

Для уничтожения микроорганизмов (в том числе патогенных) очищенная вода проходит стадию УФ-обеззараживания.

Главная отличительная черта мембранного биореактора – мембранный модуль, который применяется с целью отделения взвешенных веществ (биомассы) от очищенной воды и является альтернативой широко используемому способу осаждения активного ила в вторичных отстойниках. Погружные МБР-модули состоят из блока плоскорукавных мембранных элементов и блока аэрации. Мембранный элемент содержит в себе опорную пластинку и плоские мембраны, закреплённые по периметру клеевым швом по обе стороны пластины. В каждом мембранном элементе существует патрубок отвода пермеата, который объединяется трубкой с коллектором пермеата. Плоские мембраны зафиксированы по периметру по обе стороны опорной пластинки, изготовленной сАБС-пластмассы. Площадь элемента составляет 1,4 м, протяженность элемента – 1,6 м. Подобная конструкция мембранного элемента дает возможность более результативно применять подаваемый аэратором воздух (рис. 37). Мембранный модуль находится непосредственно в зоне биореактора с активным илом и формирует вакуум в подмембранном пространстве.

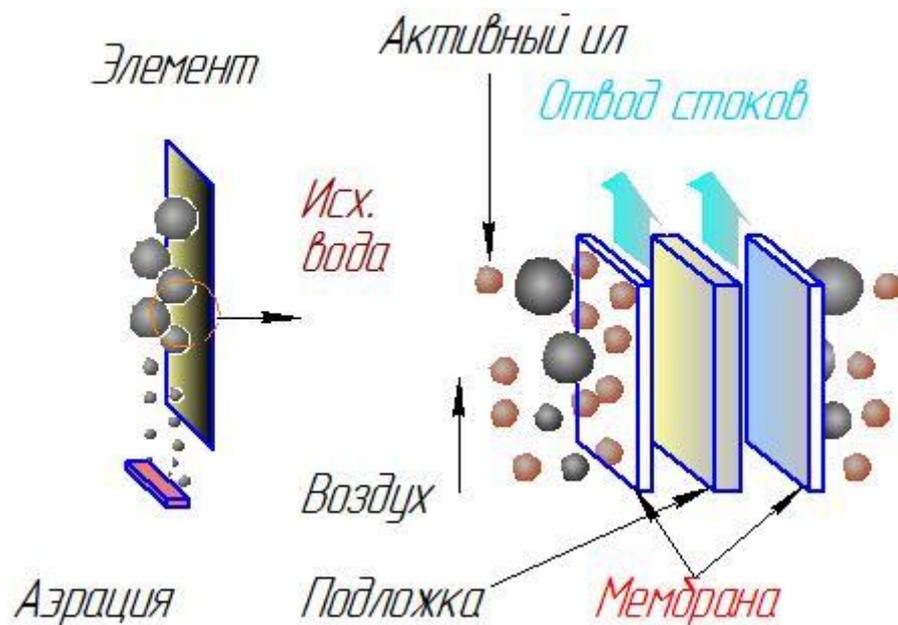


**Рисунок 37 – Стандартный МБР-модуль TMR 140-100S**



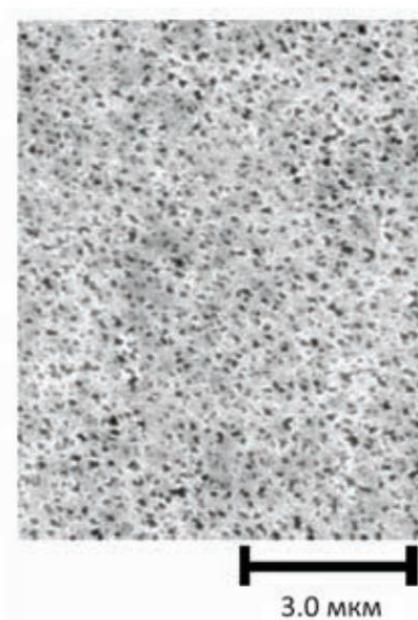
**Рисунок 38 – Конструкция мембранного модуля**

Поверхность мембраны эффективно очищается восходящим потоком активного ила и пузырьков воздуха. Такой механизм фильтрации обеспечивает стабильный фильтроцикл, поскольку активный ил в таких условиях обладает низким адгезионным взаимодействием с поверхностью мембраны (рис. 5). Размеры мембранного элемента оптимизированы таким образом, чтобы обеспечить максимальную механическую прочность, большую площадь поверхности мембраны и высокую плотность упаковки мембран в модуле, а также минимизировать затраты электроэнергии на аэрацию.

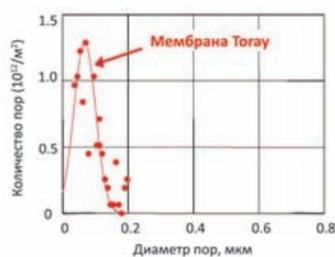


**Рисунок 39 – Процесс фильтрации с участием активного ила**

Функциональный материал мембраны – механически прочное и химически стойкое высокомолекулярное соединение ПВДФ. При этом мембрана имеет маленький размер пор, высокую пористость и узкое распределение пор по размерам (рис. 40). Благодаря этому обеспечивается её высокая удельная производительность и хорошее качество пермеата, а сама мембрана устойчива к забиванию и обрастанию. Средний размер пор мембраны – 80 нм (рис. 41).



**Рисунок 40 – Поверхность мембраны**



**Рисунок 41 – Распределение пор по размерам**

Две станции очистки на основе мембранных модулей ВВ-200mbr были смонтированы как части водоочистного комплекса на Чинаревском газоконденсатном месторождении (Казахстан) и трамплинном комплексе олимпийского резерва (Свердловская область). Они обеспечивают стабильную очистку хозяйственно-бытовых сточных вод с указанных площадок уже более года без потери эффективности до необходимых показателей БПК.

Принцип мембранной очистки сточных вод требует иного, нежели традиционная технология, подхода к эксплуатации, что на сегодня является основным тормозом для активного развития МБР-технологии в России (табл. 9).

**Таблица 9 – Эксплуатационные ограничения установок на основе МБР**

<b>Характеристика</b>	<b>Единица измерения</b>	<b>Условия эксплуатации</b>
Концентрация ила / доза ила	мг/л	Не выше 18000
Растворенный кислород	мг/л	1,0 или более
рН	–	5 – 10
Температура жидкости	°С	Не выше 40
Волокнистый материал		Должен задерживаться на механическом фильтре перед МБР
Жиры, масла и смазочные материалы	мг/л	Меньше 50 (на входе перед стадией биологической обработки)
Нефть		Содержание должно быть ниже следовых количеств

При проектировании установок должна быть максимально учтена специфика эксплуатации станций с мембранными биореакторами, что позволяет обеспечить биологическую очистку стоков с высокой степенью надёжности.

Подбор мембран для очистных сооружений осуществлялся, отталкиваясь из характеристик стойкости к загрязнению межклеточными органическими элементами (полисахаридами и протеинами) и оптимального восстановления проницаемости мембран уже после химической либо гидравлической промывки.

Предусмотрена результативная система очистки от частиц величиной больше 1 мм, предшествующая МБР, ее производительность спроектирована согласно часовому максимальному (предельному) расходу, с целью этого для того чтобы справиться с наиболее высокой нагрузкой по стокам.

Коэффициент питания микроорганизмов для хозяйственно-бытовых канализационных вод при средних температурах при условиях среднесуточной нагрузки с целью результативной биологической обработки был установлен не больше 0,08 килограмм БПК в 1 килограмм ила в сутки. Система спроектирована отталкиваясь из условия полной нитрификации. Возраст активного ила в данном случае – 15–20 сут.

С учётом этого что затраты в аэрацию (продувку) воздухом – один с ключевых образующих эксплуатационных расходов в МБР, система аэрации была спроектирована таким образом, что концентрация растворённого кислорода в аэротенке при обработке стандартных хозяйственно-бытовых канализационных стоков составляет не менее 3–4 мг/л. Но данное значение может колебаться в соответствии с характеристиками сточных вод. Для измерения концентрации растворённого кислорода в аэротенке и контролирования количества воздуха для аэрации применяется датчик растворённого кислорода, который работает в режиме «онлайн». Оборудование для подачи воздуха в аэротенки и МБР обладает дублирующим резерв. Система очистки диффузоров МБР (устройства распределения воздуха) спроектирована с применением автоматических

запорных вентилях и автоматизирована, что уменьшает риск забивания отверстий диффузора и, равно как следствие, предотвращает неравномерное распределение воздуха и забивание мембраны.

Проектирование стадии мембранной очистки выполнялось с таким расчётом, чтоб при остановке либо выводе с эксплуатации одной технологической проектной единицы (одной ёмкости с МБР-модулями, одной технологической линии и т.п.) в небольшой период времени (максимально в 1 неделю) оставшиеся мембранные модули сумели обеспечить установленную производительность установки. Плановая остановка модуля (технологической линии) в МБР-установке требуется по меньшей мере 1 один раз в 6 месяцев с целью выполнения химической промывки. Насосное оборудование спроектировано с условием наличия 1-го резервного насоса, способного гарантировать заданную производительность.

Поток пермеата, проходящий через мембрану, считается основным фактором, который влияет на скорость образования осадка на ее поверхности. Расход пермеата контролируется с помощью автоматического регулирующего вентиля и частотного привода всасывающего насоса. С целью откачки пермеата применяется насос объёмного действия (самовсасывающий), а также установлены датчики трансмембранного давления для избежания чрезмерной нагрузки на мембраны и их своевременной промывки.

При эксплуатации мембранных установок необходимо остерегаться забивания мембран и вовремя осуществлять гидравлические и химические промывки. Очищение мембран достигается длительным воздействием на них пузырьков воздуха и периодическим отключением насоса, откачивающего пермеат. Кроме того, предусмотрено оборудование с целью химической промывки мембран.

При эксплуатации биореактора в режиме низких нагрузок отказ от гравитационного метода разделения иловой смеси позволяет повысить концентрацию активного ила в биореакторе с 3 (в обычном аэротенке) до 18

г/л. Это создаёт резерв окисляющей способности, повышает устойчивость биоценоза активного ила к колебаниям состава сточных вод и пиковым нагрузкам, обеспечивает стабильное качество очистки, в том числе высококонцентрированных сточных вод с содержанием органических веществ по ХПК до 4–5 г/л.

В классических очистных сооружениях возраст ила никак не способен быть выше пятнадцати суток, так как при последующем его увеличении портятся седиментационные свойства хлопьев и прослеживается вынесение ила с вторичных отстойников. Возраст ила в МБР как правило составляет 25–30 суток, а в некоторых случаях и пятьдесят суток. При этом основная часть активного ила представлена медленнорастущей микрофлорой, что более результативно разлагает трудноокисляемые органические вещества в сточной воде (к примеру, азот). Преобладание медленнорастущей микрофлоры дает возможность в 30–40% уменьшить рост активного ила и, таким образом, требуемые мощности оборудования по обезвоживанию излишнего активного ила. Достичь высоких показателей в биологической очистке стоков от соединений азота и фосфора дает возможность чередование анаэробных (бескислородных) и аноксидных (бескислородных с присутствием ионов нитратов) зон в МБР.

Размер хлопьев активного ила в 5–10 раз меньше, нежели в распространённых конструкциях аэротенков. Подобная дисперсность активного ила приводит к росту площади контакта микроорганизмов с канализационными водами, при этом увеличивается эффективность сорбции активным илом инертных веществ, тяжёлых металлов, микрозагрязнений. Из-за того, что поры мембран обладают меньшим размером, нежели размеры клеток микроорганизмов, в частности бактерий, в МБР происходит неполное дезинфекция воды. Эффективность удаления бактерий составляет 99,999%, микробов – 99,9%. Непосредственно уже после МБР очищенная вода может быть сразу направлена в повторное использование с целью непитьевых целей.

Высокие дозы активного ила дают возможность уменьшить период пребывания канализационных вод в сооружении. Равно как следствие, площадь, занимаемая МБР, в 2–4 раза меньше площади, на которой размещаются традиционные сооружения биологической очистки. Вспухание ила перестало являться проблемой, вследствие того, что размер микроорганизмов активного ила, в этом числе нитчатых микроорганизмов, более чем в 5 раз больше размера пор ультрафильтрационных мембран, и видовой состав, размер и форма хлопьев активного ила более никак не оказывают воздействия на результативность илоотделения.

## ВЫВОДЫ ПО 2 ГЛАВЕ

В данной главе предложена модель, отражающая динамику процессов биохимического окисления. С её помощью можно выявлять отклонения концентраций загрязняющих веществ в стоках, поступающих на очистку, не допуская критических значений, при которых биоценоз активного ила может быть подвергнут губительному воздействию токсичных веществ или пострадать от недопустимо высокой нагрузки. В результате таких процессов биомасса активного ила деградирует, могут возникнуть крайне нежелательные процессы вспухания и выноса активного ила, вследствие чего значительно ухудшается качество сточных вод на выходе, общая эффективность очистки.

Мембранный метод очистки сточных вод имеет следующие преимущества:

— **высокое качество очищенной воды**, отвечающее самым строгим требованиям к сбросам. Относительная стерильность выходящей воды, упрощение систем обеззараживания и устранение проблем, связанных с побочными продуктами этих систем;

— **повышение эффективности и надёжности очистных сооружений**. Устойчивость к колебаниям концентраций загрязнений в исходной воде благодаря хорошей адаптации биоценозов и независимости от седиментационных характеристик активного ила. Продление контакта загрязнений с микроорганизмами до полной биологической деструкции. В традиционных системах эти частицы вымываются из аэротенка вместе с частью активного ила;

— **повышение производительности очистных сооружений в 1,5–2 раза**. Возможность отдельного управления возрастом активного ила и продолжительность пребывания коренным образом изменяют параметры работы биологических реакторов – накапливаются повышенные концентрации активного ила, в том числе медленно растущие виды микроорганизмов (нитрификаторы, денитрификаторы и микроорганизмы,

окисляющие биорезистентные соединения), и увеличивается возраст активного ила при больших гидравлических нагрузках на биореактор (малой продолжительности пребывания исходной воды);

— **сокращение требуемых площадей под очистные сооружения до 50%.** Создание компактных очистных сооружений благодаря замене вторичного отстаивания и фильтрации на мембранную доочистку. Применение резервуаров-усреднителей на стадии предочистки позволяет стабилизировать объём очистных сооружений с неравномерным поступлением стоков в течение суток.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**В процессе работы над диссертацией решены следующие вопросы и получены результаты:**

1. Проведен анализ работы очистных сооружений г.о. Жигулевск, на основе которого можно сделать вывод, что из-за поступления стоков от промышленных предприятий наблюдается регулярное нарушение требования к показателям загрязняющих веществ.

2. Определен перечень показателей, по которым наблюдаются превышения допустимых концентраций, к ним относятся: водородный показатель, БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, сульфаты, ион аммония, ПАВ анионоактивный, никель, хром (+6,).

3. С позиции различных аспектов качества воды: социально-гигиенический, гидробиологический, технологический, рекреационный, проведена оценка воздействия приоритетных загрязняющих веществ на окружающую среду. Рассчитан интегральный показатель, в соответствие с которым зона загрязнения определена в максимальном варианте как зона неблагоприятных условий или с учетом весового коэффициента воздействия как зона относительно неблагоприятных воздействий.

4. Проведен системный анализ кинетики биохимической очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, на основе которого предложена математическая модель биологической очистки, которая определяет воздействие загрязняющих веществ на рост биомассы активного ила в реакторе. Предложена модель, отражающая динамику процессов биохимического окисления. С её помощью можно выявлять отклонения концентраций загрязняющих веществ в стоках, поступающих на очистку, не допуская критических значений, при которых биоценоз активного ила может быть подвергнут губительному воздействию токсичных веществ или пострадать от недопустимо высокой нагрузки. В результате таких процессов биомасса активного ила деградирует, могут возникнуть крайне

нежелательные процессы вспухания и выноса активного ила, вследствие чего значительно ухудшается качество сточных вод на выходе, общая эффективность очистки. При использовании модели, возможно регулировать процесс регенерации активного ила и соответственно повысить качество очистки стоков.

5. Предложено совершенствование системы очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод на основе замены вторичного отстойника на МБР-технологию, которая имеет ряд преимуществ:

- высокое качество очищенной воды;
- повышение эффективности и надёжности очистных сооружений;
- повышение производительности очистных сооружений в 1,5–2 раза;
- сокращение требуемых площадей под очистные сооружения до 50%.

Предложенная технология имеет в качестве основного недостатка – это четкое соответствие эксплуатационных характеристик, что можно обеспечить при использовании представленной в работе модели биологической очистки стоков.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адлер, Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. - 279 с.
2. Аксенов, В.И., Аникин Ю.В., Никулин В.А., Ничкова И.И. Современное состояние и проблемы совершенствования водного хозяйства промышленных предприятий // Вода: экология и технология: Тезисы / VI Международный конгресс. М., 2004. - С. 892.
3. Алексеев, Л. С. Контроль качества воды. - М.: ИНФРА-М, 2004.
4. Алиева, Р.М. Илялетдинова А.Н. Реализация экологического принципа в микробиологической очистке сточных вод. Изв. АН СССР. 1986, № 4.
5. Архипченко, И.А. Микробиологические аспекты очистки сточных вод. Известия АН СССР, Сер. Биол. 1983, № 4.
6. Беляев, А.Б. Биотехнология. М., 1984.
7. Бодров, В.И. Попов Н.С., Арзамасцев А.А. Определение гидродинамической структуры водных объектов в нестационарных условиях // Химия и технология воды. 1984. Т. 6. № 5.
8. Вавилин, В.А. Время оборота биомассы и деструкция органических веществ в системах биологической очистки. М., Наука, 1986.
9. Вавилин, В.А. Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М.: Наука, 1978.
10. Варваров, В.В. Брындина Л.В., Ильина Н.М. Биологическая очистка сточных вод. Экология и безопасность жизнедеятельности, 1996, № 1.
11. Васильев, Г.В., Ласков Ю.М., Васильева Е.Г. Водное хозяйство и очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1976.
12. Гляденов, С.Н. Очистка производственных и поверхностных сточных вод / Экология и промышленность России. – 2001. – № 8.

13. Гляденов, С.Н. Очистка сточных вод: традиции и новации / Экология и промышленность России. – 2001. – № 2.
14. Голубовская, Э.К. Биологические очистки сточных вод. М.: Высшая школа, 1978.
15. Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии : учеб. пособие для вузов / А. С. Гринин, Н. А. Орехов, В. Н. Новиков. - М. : ЮНИТИ- ДАНА, 2003. - 269 с. : ил.; 21 см. - (Oikos). Библиогр.: с. 269 (18 назв.).
16. Громов, Б.В. Строение бактерий. Учебное пособие. Л., Изд-во ЛГУ, 1985.
17. Громов, Б.В. Павленко Г.В. Экология бактерий. Учебное пособие. Л., Изд-во ЛГУ. 1989.
18. Гюнтер, Л.И. Влияние технологических параметров работы аэротенков на формирование биоценозов и биохимические характеристики активного ила. Научн. тр. Академии коммун, хозяйства им. К.Д. Памфилова, 1976.
19. Гюнтер, Л.И. Рост и развитие гетерогенной популяции микроорганизмов активного ила в процессе очистки сточных вод. Научн.тр. Академии коммун, хозяйства им. К.Д. Памфилова, 1974.
20. Данилович, Д.А. Козлов М.Н., Мойжес (Харькина) О.В., Шотина К.В. Технологические мероприятия эксплуатации сооружений биологической очистки в аварийных и экстремальных условиях: Сб. статей и публикаций / МГУП Мосводоканал. М., 2008.
21. Дворецкий, Д.С. Дворецкий С.И., Муратова Е.И., Ермаков А.А. Компьютерное моделирование биотехнологических процессов и систем. Тамбов: Из-во Тамб. гос. ун-та. 2005.
22. Денисов, А.А. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод. М. ВНИИТЭИАгропром, 1989.
23. Документация цеха водоснабжения и водоочистки ЗАО «Тольяттисинтез».

24. Емельянов, А.Г.: Основы природопользования. - М.: Академия, 2011.
25. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.:Акварос, 2003.
26. Жмур, Н.С. Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.:Луч, 1997.
27. Каинума, М., Харасава Х., Найто М. О выборе структуры процесса очистки сточных вод // Канке гидзюцу. 1986. Т. 15. № 10.
28. Карелин, А .Я. Жуков Д.Д., Журов В.Н., Репин Б.Н. Очистка производственных сточных вод в аэротенках. М., Стройиздат, 1983.
29. Кафаров, В.В. Винаров А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование и системный анализ биохимических производств. М.: Лесная промышленность, 1985.
30. Кириллов, А. Н. Моделирование динамики малого предприятия и оптимальная схема кредитования / А. Н. Кириллов, Н. В. Смирнов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». — 2012.
31. Кичигин, В.И. Водоотводящие системы промышленных предприятий. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2011. - 656 с.
32. Козлов, М.Н. Харькина О.В., Пахомов А.Н., Стрельцов С.А., Хамидов М.Г., Ершов Б.А., Белов Н.А. Опыт эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10. Ч. 1.
33. Малыгин, Е.Н., Немтинов В.А. Автоматизированное проектирование на основе системного подхода // Экология и промышленность России. 2001.
34. Малыгин, Е.Н., Немтинов В.А., Егоров С.Я. Автоматизированный синтез сооружений биохимической очистки сточных вод // Теоретические основы химической технологии. 2002.

35. Мамаева, Н.В. Изменения состава и численности организмов активного ила в зависимости от условий очистки сточных вод. В сб.ст «Простейшие активного ила». Л., Наука, 1983.

36. Марчук, Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982.

37. Математические модели контроля загрязнения воды. Под редакцией Свирежева Ю.М. М.: Мир, 1981. - 471 с.

38. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.

39. Мойжес, О.В., Шотина К.В. / Динамическое моделирование - перспективный подход к проектированию сооружений биологической очистки сточных вод. Экология и промышленность России. 2009. № 2.

40. Мурыгина, В.П. Роль нитчатых микроорганизмов в процессах пенообразования на сооружениях очистки сточных вод / В.П. Мурыгина, С.В. Калюжный // Успехи современной биологии. – 2004. – Т. 124, № 1.

41. Назарова, С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. М.: Высшая школа, 1985. - 326 с.

42. Найденко, В.В., Кулакова А.П., Скирдов И.В. Методы оптимального проектирования систем очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1984.

43. Найденко, В.В., Кулакова А.П., Шеренков И.А. Оптимизация процессов очистки природных и сточных вод. М.: Стройиздат, 1984. - 151 с.

44. Нечаев, А.П., Славинский А.С. Интенсификация доочистки биологически очищенных сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника – М.: «Наука», 1991г.

45. Огольцов, И.И., Шеваль В.В. / Особенности компьютерного моделирования автоматизированных комплексов очистки сточной воды / Справочник. Инженерный журнал с приложением. Издательский дом "Спектр". – 2010. - №8.

46. ПАО «СИБУР Холдинг». [Электронный ресурс] <http://www.sibur.ru>  
[Дата обращения 28.03.2016].

47. Понкратова, С.А., Сироткин А.С., Нуруллина Е.Н., Ипполитов К.Г., Имитационный комплекс для управления очистными сооружениями в системах экологического мониторинга. – Математические методы в технике и технологиях: Сборник трудов XV Международной научной конференции, Тамбов, 2002.

48. Попов, Н.С., Немтинов В.А. Система автоматической аварийной защиты и управления станцией биохимической очистки сточных вод // Автоматизация и роботизация химических производств: Межвузовский сб. науч. тр. М., 1989.

49. Попов, Н.С., Немтинов В.А., Мокрозуб В.Г. Методика автоматизированного моделирования процессов самоочищения реки с малым расходом воды в условиях неопределенности // Химическая промышленность. 1992.

50. Попов, Н.С., Немтинов В.А., Толстых С.С. Методика идентификации математической модели реки с малым расходом для целей прогноза // Охрана от загрязнения сточными водами водоемов бассейнов внутренних морей: Тез. докл. Всесоюз. конф. Тбилиси, 1987.

51. Попов, Н.С., Толстых С.С. Расчет азротенков с рассредоточенной подачей воды и рециркуляцией активного ила / Тамб. ин-т хим. машиностр. Тамбов, 1985. 36 с. Деп. в ИНИИТЭХИМ 20.06.85, № 613 XII-85 Деп.

52. Проскураков, В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: Химия, 1977. - 463 с.

53. Пушкарев, В.В., Трофимов Д.И. Физико-химические особенности очистки сточных вод от ПАВ. М.: Химия, 1975. - 144 с.

54. Роговец, А.И. Санитарно-эпидемиологическая оценка состояния питьевого водоснабжения в Российской Федерации. ВСТ// Водоснабжение и санитарная техника. 1998.-№ 12.- С. 2.

55. Родзиллер, И.Д. Прогноз качества воды водоемов – приемников сточных вод. М.: Стройиздат, 1984.
56. Романовский, Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. – М.: Наука, 1975.
57. Рубенштейн, Ю.Б., Волков Л.А. Математические методы в обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1987. - 296 с.
58. Саати, Т. Принятие решений. Методы анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
59. Сироткин, А.С., Понкратова С.А., Шулаев М.В., Современные технологические концепции аэробной биологической очистки сточных вод. - Казань: КГТУ, 2002.
60. Смирнов, Д.И., Дмитриев А.С. Автоматизация процесса очистки сточных вод химической промышленности. М.: Химия, 1972.
61. Смирнов, Н. В. Математическое моделирование процесса биологической очистки сточных вод / Н. В. Смирнов // Ярославский педагогический вестник. Сер. «Естественные науки». — 2012. —Т. 3, № 3.
62. Трочешников, Н.С., Родионов А.И., Кельцев И.В., Клушин В.Н. Техника защиты окружающей среды: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Химия, 1981.
63. Фирсов, А.И. Формирование и очистка поверхностных стоков промышленных предприятий / Вода и экология. Проблемы и решения. – 2002.
64. Цыганов, С.П., Тарасенко Н.Ф. и др. Динамика численности микроорганизмов активного ила при аэробной биологической очистке сточных вод. Микробиологический журнал, 1985.
65. Чернобережский, Ю.М. Основы микробиологии и химии воды. М., Наука, 1988.
66. Шевцов, В.Н., Верещагина Л.М. Особенности расчета производительности очистных сооружений поверхностных сточных вод / Водоснабжение и санитарная техника. – 2006.

67. Щетинин, А. И. Особенности моделирования процессов биологической очистки при помощи имитационной программы «ЭкоСим»: Сб. докл. «ЭТЭВК–2001». – Ялта, 2001.

68. Щетинин, А. И., Реготун А. А. Определение возможного качества очистки сточных вод активным илом при помощи программы «ЭкоСим» // Водоснабжение и сан. техника. 2000. № 12, ч. 2.

69. Щетинин, А.И. Особенности реконструкции городских очистных сооружений канализации в настоящий период / Вода и экология. Проблемы и решения. № 2 / 2002.

70. Эпоян, С.М. Оценка прочности хлопьев, образующихся при флокуляционном перемешивании. ВСТ// Водоснабжение и санитарная техника. 1997. -№ 4.- С. 24.

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

72. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. - М.: АСВ, 2004 – 704 с.

73. Anderson, H.M., Edwarg R.W. A finite differing scheme for the dynamic simulation of continuous sedimentation // AIChE Symposium Sers. Water-80. 1980. V. 77. N 209.

74. Cristensen, M.H. Biological denitrification of sewage: A literature review // Progr. Wat. Tech., Pergamon Press. 1977. V. 8. N 4/5.

75. Ecology Problems // Transactions of the Tambov State Technical University. 2001. V. 7. N 2.

76. Grigorieva, V., Khalov E. N. Optimal control of a waste water cleaning plant // Eighth Mississippi State – UAB Conference on Differential Equations and Computational, Simulations. Electronic Journal of Differentia IEquations, Conf. 19. 2010.

77. Henze, M., Guer W., Matsuo T., Van Loosdrecht M. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3 // Scientific and Technical Reports. IWA Publishing, London, UK. 2000.

78. Malygin, E., Nemtinov V., Nemtinova Yu. Construction Principles of the System for Solving Industrial

79. Mathcad User's Guide. Mathcad 8 Professional Academic. MathSoft, Inc., Cambridge, MA, 1998.

80. Painter, H.A. A review of literature on inorganic nitrogen metabolism in microorganism // Water Res.1970. N 4.