

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и  
биотехнологии

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

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

на тему: Оптимизация работы азротенков на примере очистных сооружений  
ООО «ГазпромТрансгазСургут»

Обучающийся

Л.Б. Кущенко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

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

Тольятти 2022



**Росдистант**

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

## Аннотация

Целью работы является повышение качества очистки сточных вод предприятия ООО «Газпром трансгаз Сургут».

Актуальность работы связана с превышением в очищенных сточных водах ООО «Газпром трансгаз Сургут» НДС по аммиаку и аммоний-иону, БПК<sub>полн</sub>, железу. Помимо этого, в аэротенках не достигается необходимый уровень насыщения кислородом, что приводит к нарушению состава биоценоза активного ила и снижению эффективности очистки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ технологической схемы очистных сооружений;
- проанализировать состав сточных вод предприятия;
- определить видовой состав активного ила для выявления причин недостижения необходимой эффективности очистки;
- рассмотреть влияние различных факторов на процесс очистки сточных вод в аэротенках;
- провести расчеты параметров аэротенков, определив параметры, для которых требуется оптимизация;
- предложить вариант оптимизации работы существующей схемы очистных сооружений, направленный на повышение качества очистки, обосновать предложенное решение расчетами.

В первом разделе работы проанализирована технологическая схема очистных сооружений Пуртазовской промплощадки ООО «Газпром трансгаз Сургут». Представлен качественный состав сточных вод предприятия за период 2021-2022 года, в котором выявлены превышения НДС по некоторым веществам, недостаток растворенного кислорода в сточных водах. Проведен гидробиологический анализ активного ила, в ходе которого выявлено увеличение микроаэрофилов в активном иле, которое связано с низким содержанием кислорода сточных водах и приводит к снижению эффективности

очистки. В ходе расчета характеристик аэротенков, установлено недостижение необходимой интенсивности аэрации. Это позволило выбрать основное направление для повышения эффективности очистки – оптимизация аэрационной системы аэротенков за счет увеличения интенсивности аэрации.

Во втором разделе проведен патентно-информационный поиск существующих решений, направленных на увеличение эффективности очистки аэротенков. Предложен вариант оптимизации существующей системы аэрации аэротенков – установка дополнительной линии аэрации. Решение обосновано конструктивным расчётом и расчетом материального баланса. Проведен расчет уменьшения количества загрязняющих веществ в сточных водах после оптимизации очистных сооружений.

В заключении работы представлены основные выводы о проделанной работе.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка из 50 использованных источников. Общий объем работы составляет 61 страницу машинописного текста, в том числе включает 8 рисунков, 10 таблиц.

## Список используемых сокращений

В настоящей ВКР применяют следующие сокращения и обозначения:

АПАВ – анионные поверхностно-активные вещества

БПК<sub>полн</sub> – биохимическое потребление кислорода (полное)

ЗВ – загрязняющее вещество

КНС – канализационная насосная станция

КОС – канализационные очистные сооружения

МПК – международная патентная классификация

НВОС – негативное воздействие на окружающую среду

НДС – норматив допустимого сброса

ПДК – предельно-допустимая концентрация

СБОСВ – станция биологической очистки сточных вод

УФО – ультрафиолетовое облучение

ХПК – химическое потребление кислорода

## Содержание

Введение.....	6
1 Характеристика системы очистных сооружений ООО «Газпром трансгаз Сургут» .....	8
1.1 Описание действующей схемы очистных сооружений .....	8
1.2 Анализ сточных вод ООО «Газпром трансгаз Сургут» .....	11
1.3 Краткое описание процесса биологической очистки сточных вод в аэротенках .....	13
1.4 Анализ влияния различных факторов на процесс биологической очистки сточных вод.....	15
1.5 Анализ активного ила аэротенков .....	18
1.6 Расчет основных параметров аэротенков очистных сооружений .....	21
2 Предложения по оптимизации работы аэротенков очистных сооружений ООО «Газпром трансгаз Сургут» собственными силами предприятия .....	27
2.1 Анализ существующих методов оптимизации работы аэротенков.....	27
2.2 Установка дополнительных аэраторов .....	32
2.3 Замена воздуходувок .....	39
2.4 Устранение повреждений носителей прикрепленной микрофлоры (экранов).....	40
2.5 Оценка эффективности очистки после оптимизации.....	41
2.6 Расчет материального баланса.....	44
2.7 Улучшение качества сточных вод после оптимизации .....	52
Заключение .....	54
Список используемой литературы и используемых источников.....	56

## Введение

Среди методов очистки сточных вод важную роль играет биологический метод, основанный на использовании закономерностей биохимического и физиологического самоочищения рек и водоёмов.

Результативность очистки зависит от степени поддержания бактерий в состоянии физиологической активности.

В бакалаврской работе рассматривается система очистных сооружений Пуртазовской промплощадки ООО «Газпром трансгаз Сургут», в ходе анализа работы которой были выявлены превышения в очищенных сточных водах НДС по аммиаку и аммоний-иону, БПК<sub>полн</sub>, железу.

Помимо этого, в аэротенках не достигается необходимый уровень насыщения кислородом, что приводит к нарушению состава биоценоза активного ила и снижению эффективности очистки. Поэтому аэротенки очистных сооружений нуждаются в оптимизации и повышении эффективности очистки.

Цель бакалаврской работы – повышение эффективности работы аэротенков на примере очистных сооружений ООО «Газпром трансгаз Сургут».

Модернизация аэробной очистки в аэротенках может идти несколькими путями: за счет увеличения дозы активного ила в аэротенке, совершенствования гидродинамического режима аэротенков, а также оптимизации систем аэрации сточных вод.

Критерием оптимальности при выборе способа оптимизации аэротенков является минимальное количество затрат при обеспечении требуемого качества очищенной воды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ технологической схемы очистных сооружений;
- проанализировать состав сточных вод предприятия;

- определить видовой состав активного ила для выявления причин недостижения необходимой эффективности очистки;
- рассмотреть влияние различных факторов на процесс очистки сточных вод в аэротенках;
- провести расчеты параметров аэротенков, определив параметры, для которых требуется оптимизация;
- предложить вариант оптимизации работы существующей схемы очистных сооружений, направленный на повышение качества очистки, обосновать предложенное решение расчетами.

# 1 Характеристика системы очистных сооружений ООО «Газпром трансгаз Сургут»

## 1.1 Описание действующей схемы очистных сооружений

Очистные сооружения располагаются в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа в 14 км северо-восточнее поселка городского типа Уренгой на компрессорной станции Пуртазовская. Место водопользования находится вне населённого пункта, сброс очищенных сточных вод осуществляется в болото безымянное.

Система водоотведения разделена на две части: от промышленной площадки и от жилого посёлка. Стоки промышленной площадки проходят через КНС для взрывоопасных стоков и установку очистки от механических примесей и нефтепродуктов, далее совместно с бытовыми стоками проходят очистку в станции биологической очистки СБОСВ-200, общей производительностью 200 м<sup>3</sup>/сут. СБОСВ-200 представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Станция биологической очистки СБОСВ-200



СБОСВ-200 состоит из двух параллельно работающих технологических линий ДЕКО-СВ-100. Режим работы установки ДЕКО-СВ-100 – непрерывный автоматический. Работа станции основана на очищении стоков биологическими микроорганизмами, выращенными естественным путем в резервуарах очистного сооружения.

Блок-схема очистных сооружений ООО «Газпром трансгаз Сургут» представлена на рисунке 2.

КНС подает сточные воды через приёмную решётку шесть-восемь раз в сутки в объёме, не допускающем перелив из усреднителя-преаэратора в первичный тонкослойный отстойник. Усреднитель-преаэратор одновременно выравнивает расход сточных вод, поступающих в установку и концентраций загрязнений в них, а также осуществляет функции преаэратора. В нижней части усреднителя-преаэратора расположена аэрационная система.

Сточные воды проходят через первичный отстойник с тонкослойным модулем, где происходит отделение сырого илового осадка, который оседает и поступает в бункер-накопитель, где в результате аэрации частично стабилизируется. Аэрационная система, расположенная в нижней части бункера-накопителя, обеспечивает накопление без загнивания ила в течение времени рабочего цикла аэробного стабилизатора за счёт протекания биологических процессов, свойственных аэрируемым бункерам-накопителям.

Далее сточные воды поступают в аэротенк, разделённый перегородками на пять секций, в которых установлены носители прикреплённой микрофлоры (экраны), заселённые микроорганизмами. В нижней части аэротенка смонтирована аэрационная система для подачи воздуха, обеспечивающая количество растворённого кислорода в сточных водах, необходимого для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов.

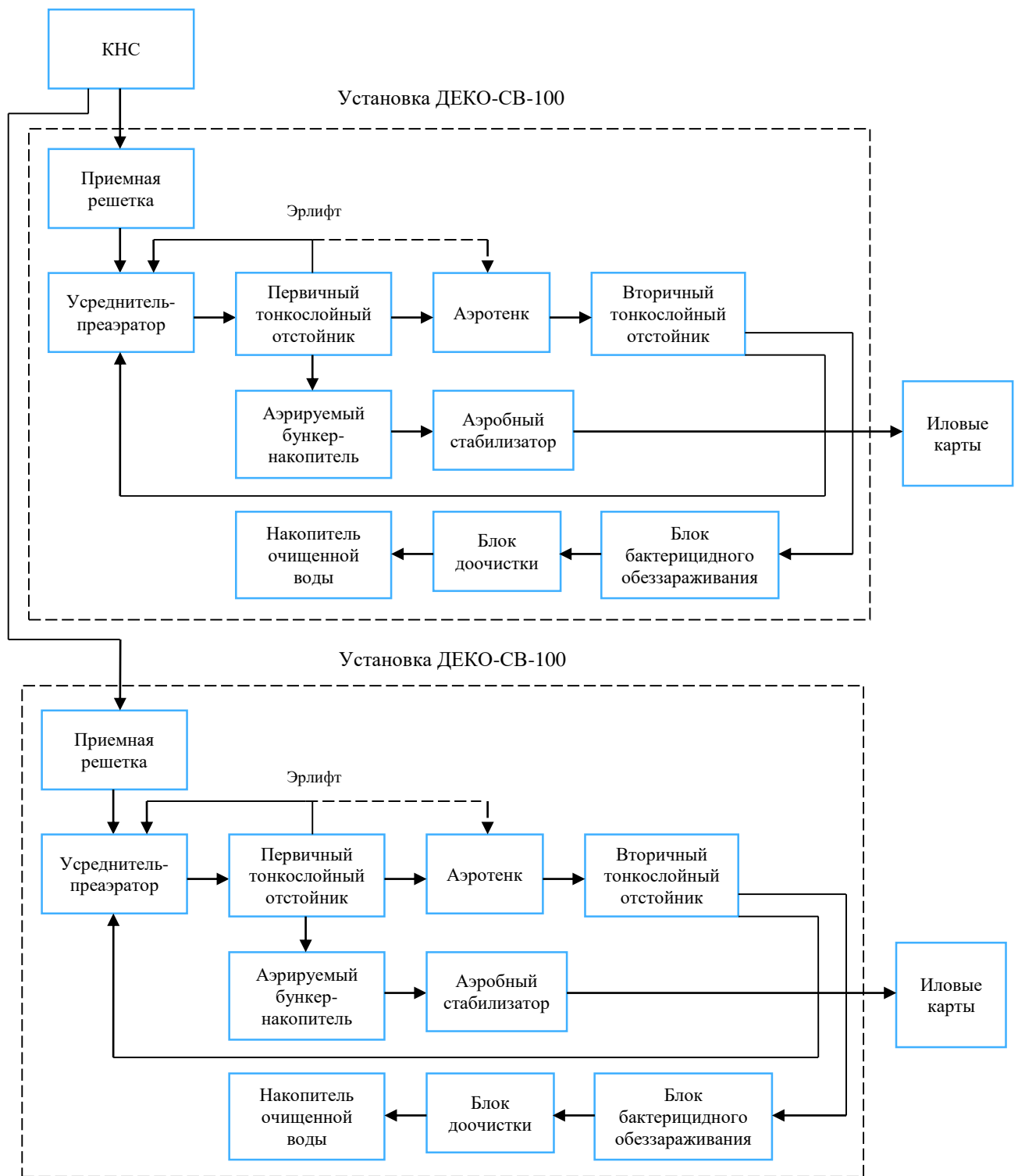


Рисунок 2 – Блок-схема очистных сооружений

Затем сточные воды поступают во вторичный отстойник с тонкослойным модулем, где происходит отделение илового осадка от биологически очищенных сточных вод, а затем на лоток, где расположен блок бактерицидного обеззараживания с источниками УФО, осуществляющий бактерицидную обработку очищенной воды ультрафиолетовым излучением, в результате чего уничтожается патогенная микрофлора. Избыточный ил, задержанный вторичным отстойником с тонкослойным модулем, перекачивается в усреднитель-преаэратор.

Далее уже очищенные и обеззараженные воды самотёком поступают в блок доочистки, в верхнем желобе которого находится цеолитовая загрузка, а в нижнем желобе – активированный уголь. После чего очищенные сточные воды отводятся по сливному коллектору.

Сырой ил, осаждаемый первичным отстойником, накапливается в аэрируемом бункере-накопителе, а часть его при помощи эрлифта подается в усреднитель-преаэратор. В аэробном стабилизаторе и бункере-накопителе происходит уплотнение стабилизированного илового осадка. После чего иловый осадок сбрасывается ила на иловые карты (площадки). Просушенный активный ил, а также отходы от водоподготовки и обработки сточных вод вывозятся для размещения на собственном полигоне бытовых и промышленных отходов [42].

## **1.2 Анализ сточных вод ООО «Газпром трансгаз Сургут»**

Сточные воды ООО «Газпром трансгаз Сургут» относятся к категории хозяйственно-бытовых сточных вод, по своему составу близки с городским сточным водам. Утвержденный расход сточных вод составляет 4,16 м<sup>3</sup>/час, 36,5 тыс. м<sup>3</sup>/год. Учет объема сброса определяется инструментальным методом тепловычислителем «ВЗЛЕТ» ЭР (типа ЭРСВ-420Л).

На предприятии разработан план-график аналитического контроля сточных вод. Пробы сточных вод для химического анализа отбираются

специалистами химико-аналитической лаборатории с периодичностью один раз в неделю. Химический анализ проводится на ряд показателей, перечень которых определен НДС. Качественный состав стоков за период 2021-2022 года приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели анализа сточных вод за период 2021-2022 года

Компонент/ показатель	До очистки	После очистки		НДС, мг/дм <sup>3</sup>
	среднее значение, мг/дм <sup>3</sup>	максимальное значение, мг/дм <sup>3</sup>	среднее значение, мг/дм <sup>3</sup>	
Взвешенные вещества	36	8,65	7,04	8,68
Аммиак и аммоний-ион (по N)	10,1	1,97	1,43	1,496
Нитрит-ион	0,20	0,09	0,067	3,3
Нитрат-ион	0,63	10,4	6,04	45
Фосфаты (по фосфору)	2,1	0,24	0,18	0,826
Хлориды	34,34	44,76	30,96	100
БПК <sub>полн</sub>	56	6,89	5,84	5,72
АПAB	0,03	0,027	0,018	0,1
Нефтепродукты	0,044	0,053	0,031	0,3
Сульфаты	28,5	43,98	25,63	150
Железо общее	4,1	0,3	0,235	0,31
ХПК	-	26	20	30

Из данной таблицы видны отклонения от нормативов по ряду показателей. В течение 2021-2022 года превышения НДС периодически фиксировались по аммиаку и аммоний-иону, общему железу. Превышения НДС по БПК<sub>полн</sub> носят постоянный характер. Зафиксированные превышения НДС свидетельствуют о том, что процесс биологической очистки сточных вод протекает недостаточно эффективно. Для нормальной работы установки ДЕКО-СВ-100 должны обеспечиваться требования технологического регламента [42], приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели, необходимые для работы установки ДЕКО-СВ-100

Показатель	Значение	Нормативное значение [42]
Водородный показатель (рН), ед.	6,87	6,5-8,5
Температура, °С	25	23-25
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм <sup>3</sup>	2,0-2,5	3,0-5,5

Как видно из таблицы 2, в течение 2021-2022 года в установке ДЕКО-СВ-100 не достигается необходимый уровень насыщения сточных вод кислородом. Данный факт свидетельствует о нарушении кислородного режима в аэротенках, которое может нарушать состав биоценоза активного ила и приводить к снижению эффективности очистки.

### **1.3 Краткое описание процесса биологической очистки сточных вод в аэротенках**

Для устранения выявленных недостатков в работе аэротенков и принятия решений по оптимизации работы очистных сооружений, необходимо рассмотреть суть процесса биологической очистки и установить факторы, влияющие на ее протекание.

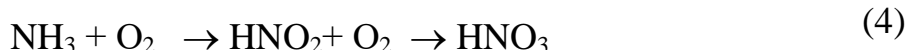
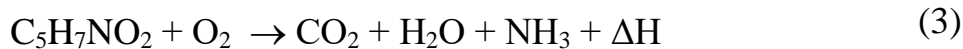
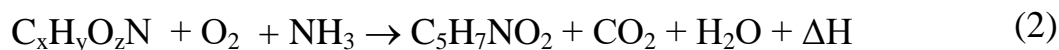
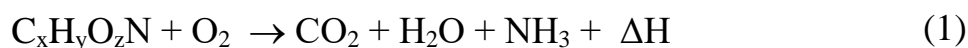
«Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать органические вещества, содержащиеся в сточных водах, для питания в процессе жизнедеятельности» [3].

Одним из часто используемых видов сооружений биологической очистки с очисткой в искусственно созданных условиях являются аэротенки [3], [17], [43]. Способ очистки сточных вод в аэротенках заключается в переработке аэробными микроорганизмами органических веществ, приводящих к их частичной или полной минерализации в присутствии кислорода воздуха, подаваемого в аэротенк [9], [15], [48]. В настоящее время метод очистки сточных вод активным илом в аэротенках является наиболее

универсальным и широко применяемым [36], [50].

Активный ил представляет собой коллоидную систему, состоящую из хлопьев размером от 3 до 150 мкм, состав которой можно представить общей формулой  $C_{54}H_{212}O_{82}N_8S_7$ . Сухое вещество активного ила представляет собой смесь из органических (от 70 до 90 %) и неорганических веществ (10 до 30 %) [37]. «Биоценоз активного ила состоит из бактерий, простейших, плесневых грибов, дрожжей, актиномицет, личинок насекомых, рачков и водорослей. Главную роль в разрушении органических загрязнений в сточных водах играют бактерии, которые находятся в активном иле в виде зооглей – скопленений, окруженных слизистым слоем» [20], [37].

Обобщенный вид реакций биохимического окисления в аэробных условиях можно представить следующими уравнениями (1-4):



где  $C_xH_yO_zN$  – органические вещества, содержащиеся в сточных водах;

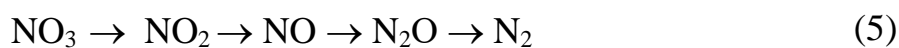
$C_5H_7NO_2$  – условная формула клеточного вещества бактерий;

$\Delta H$  – энергия.

Реакция (1) описывает катаболический процесс – окисление вещества для удовлетворения энергетических потребностей клетки, реакция (2) – анаболический процесс для синтеза клеточного вещества. Затраты кислорода на эти реакции составляют БПК<sub>полн</sub> сточной воды. Реакции (3) и (4) описывают превращение клеточного вещества при условии недостатка питательных веществ.

«Процесс нитрификации является заключительной стадией минерализации азотсодержащих органических веществ (4). Нитрифицирующие бактерии окисляют азот аммонийных соединений сначала

до нитритов, а затем до нитратов. Присутствие нитрат-ионов в очищенной сточной воде является одним из показателей полноты очистки. Под действием денитрифицирующих бактерий связанный кислород отщепляется от нитритов и нитратов и вновь расходуется на окисление органических веществ. Так проходит процесс денитрификации. Для протекания денитрификации должен соблюдаться ряд условий: наличие органических веществ в сточной воде, доступ кислорода, нейтральная или слабощелочная среда. Денитрификация является многоступенчатым процессом, в ходе которого могут образовываться оксиды азота, аммиак и молекулярный азот. При очистке сточных вод денитрификация протекает главным образом с образованием молекулярного азота, аммиак образуется реже» [20].



Азотсодержащие соединения при разложении могут образовывать азота в виде аммиака, а также разлагаться с образованием аминокислот, которые далее выделяют аммиак [37].

#### **1.4 Анализ влияния различных факторов на процесс биологической очистки сточных вод**

На процесс очистки сточных вод в аэротенках влияет множество факторов, одни из наиболее значимых – концентрация растворенного кислорода, температура и pH.

Подачу воздуха в аэротенки обеспечивает система аэрации. «В зависимости от типа аэратора различают:

– мелкопузырчатую аэрацию – крупность пузырьков воздуха от 1 до 4 мм, керамические, тканевые и пластиковые аэраторы;

– среднепузырчатую аэрацию – крупность от 5 до 10 мм, перфорированные трубы, щелевые аэраторы;

– крупнопузырчатую аэрацию – крупность от 10 мм, открытые снизу трубы и сопла» [10].

«Система аэрации определяет эффективность процесса биологической очистки, так как от величины поддерживаемой концентрации растворенного кислорода и эффективности перемешивания иловой смеси зависит степень окисления загрязняющих веществ» [44]. При недостатке кислорода микроорганизмы могут гибнуть от собственных метаболитов, в хлопьях активного ила происходит нарушение массообмена. Непрерывная подача воздуха обеспечивает дыхание организмов, перемешивание иловой смеси, удаление метаболитов, хемоокисление загрязняющих веществ [44], [10], [51].

Ухудшение аэрационных условий может быть связано с различными нарушениями:

- разрушением и засорением подающих воздух элементов;
- плохим перемешиванием ила в различных участках аэрируемой зоны;
- повышением удельных нагрузок на активный ил в результате увеличения органических веществ в воде, поступающей на очистку;
- возрастанием поглощения кислорода активным илом из-за нарушения режима выгрузки осадка из вторичных отстойников;
- недостатком кислорода при повышении оптимальной концентрации возвратного ила.

Согласно технологического регламента ДЕКО-СВ-100 [42], за оптимальную концентрацию растворенного кислорода принимается концентрация около  $4 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ , интенсивность аэрации должна поддерживаться на уровне не менее  $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , тип аэрации – среднепузырчатая.

Качество процесса очистки сточных вод в аэротенках зависит от температуры в помещениях КОС. «Оптимальная температура для протекания аэробных процессов в аэротенках считается температура от 20 до 30 °С. При



соблюдении данных условий биоценоз представлен наиболее разнообразными микроорганизмами и стабильно сохраняет свою жизнеспособность. Если температурный режим не соответствует оптимальному, то происходит замедление скорости обменных процессов в клетке, снижение роста культуры» [19]. При снижении температуры сточных вод до 6 °С жизнедеятельность микроорганизмов и их активность резко снижаются, а при повышении температуры до 37 °С уменьшается скорость нитрификации, что связано с уменьшением в воде концентрации растворенного кислорода [35], [45], [46]. Наиболее чувствительны к температуре нитрифицирующие бактерии, наибольшая активность которых наблюдается при температуре не ниже 25°С [13], [19].

Большинство микроорганизмов стабильно и активно развиваются в среде со значением рН, близким к нейтральному (от 6,5 до 7,5). Активный ил в аэротенках способен регулировать величину рН при условии, если рН сточных вод не выходит за пределы значений от 5 до 9. Поскольку в аэротенках величина рН стоков не выходит за указанные пределы, то влияние рН не учитывается [44].

Концентрация микроорганизмов в сточной воде напрямую влияет на удельную скорость окисления органических загрязнителей. При увеличении концентрации активного ила эффективность очистки сточных вод может возрастать [20], [49]. Однако, при слишком большом повышении концентрации микроорганизмов, эффективность очистки в аэротенках может уменьшаться. Это может быть связано со снижением концентрации кислорода, ухудшением массообмена, угнетением микроорганизмов за счет накопления продуктов их жизнедеятельности [17]. Таким образом, повышение концентрации активного ила требует увеличения аэрации воды. Интенсивная аэрация сточных вод обеспечивает поступление кислорода для поддержания нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила [15].

Важным параметром работы аэротенков является нагрузка на активный ил. Под нагрузкой на активный ил подразумевают количество поступающих

загрязнений со сточными водами, приходящееся на единицу массы ила в единицу времени [18], [19]. По степени воздействия нагрузки можно условно разделить на низкие, средние и высокие. «При низких нагрузках на 1 г беззольного вещества активного ила приходится менее 150 мг по БПК<sub>полн</sub>, при средних – от 200 до 350 мг/г, при высоких – более 400 мг/г. Наиболее оптимальной считается нагрузка по БПК<sub>полн</sub> в диапазоне от 200 до 250 мг/г, такая нагрузка на активный ил обеспечивает лучшее качество очистки стоков и устойчивость работы аэротенков» [25].

В аэротенках с высокой нагрузкой возраст ила составляет 2-3 суток, возраст 6-12 суток характерен для пониженных нагрузок и протекания процесса нитрификации [12], [20]. Возраст ила более 8 суток обеспечивает протекание в аэротенках глубокой минерализации органических веществ. Чем сложнее состав органических загрязнителей, тем больший возраст активного ила необходим для их окисления [43], [27].

Для поддержания рабочей мощности, необходима циркуляция ила оптимального возраста в аэротенке – определенная степень рециркуляции. В зависимости от типа очистных сооружений, на рециркуляцию идет от 30 до 70 % от общей иловой массы [8]. При увеличении нагрузки на ил, снижаются его осадительные способности, поэтому на рециркуляцию необходимо направлять наибольшее количество ила. Если степень рециркуляции в аэротенке меньше проектных значений, то происходит угнетение микроорганизмов и начинается загнивание активного ила. При слишком большой рециркуляции ил будет недостаточно уплотнен, происходит вынос частиц ила, тем самым снижая качество очистки [6], [23].

### **1.5 Анализ активного ила аэротенков**

Видовое разнообразие, численность и биомасса микроорганизмов активного ила напрямую влияют на качество очистки сточных вод. Оценка биоценоза позволяет выявить факторы, снижающие эффективность очистки

(снижение аэробности, нарушение седиментационных свойств ила, слишком высокая или низкая нагрузка).

Для оценки биоценоза активного ила аэротенков проведем гидробиологический анализ и количественный подсчет микроорганизмов активного ила по РД 39-1.13-037-2001 «Методическое пособие по гидробиологическому, химико-аналитическому и технологическому контролю на сооружениях биологической очистки сточных вод газовой отрасли» [34]. Результаты гидробиологического анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты гидробиологического анализа аэротенков

Таксон	Кол-во на 1 г сухого вещ-ва, тыс. экз.	Влияние на процесс биологической очистки, особенности распространения
Сапрофитные грибы	23	Типичные обитатели аэротенков, устойчивы к изменениям среды
Бесцветные серобактерии рода <i>Beggiatoa</i>	12	Встречаются в верхних слоях загрузки аэротенков с высокими нагрузками или при недостатке кислорода в иловой смеси
Нитчатые бактерии рода <i>Sphaerotilus</i>	30	Часто встречаются в активном иле, вызывают вспухание ила при его перегрузке или недостатке кислорода
<i>Zooglea ramigera</i>	68	Могут приводить к нарушению седиментационных свойств ила при значительном накоплении
<i>Zoomastigophorea</i> б/цв	127	Могут указывать на снижение аэробности
Класс <i>Lobosea</i> , подкласс <i>Gumnamoebia</i> – крупные – средние – мелкие	- Единично 114	Имеют значительную роль в очистке сточных вод. Особенную роль имеют мелкие голые амебы, их большое количество может свидетельствовать о высокой нагрузке на активный или недостатке растворенного кислорода
<i>Peramena trichophorum</i>	67	-

Продолжение таблицы 3

Подкласс Testacealobosia <i>Centropyxis aculeate</i>	500	Практически постоянно представлены в активном иле, питаются бактериями, простейшими, одноклеточными водорослями
<i>Arcella vulgaris</i>	457	-
Класс Filosea <i>Euglypha acanthophora</i>	213	Распространены в активном иле нормально работающих аэротенков
Подтип Ciliata, класс <i>Peritricha</i> <i>Opercularia coarctata</i>	112	Имеют первоочередное значение при оценке состояния очистки, так как являются показателем хлопьеобразования активного ила, снижают мутность воды, завершают процесс очистки, выедают бактерии, утратившие связь с хлопьями
<i>Vorticella microstoma</i>	54	
<i>Vorticella alba</i>	57	
<i>Vorticella comminus</i>	23	
<i>Vorticella aerotensi</i>	13	
Класс Polyhymenophora <i>Aspidisca costata</i>	111	Развиваются в биоценозах высоко- и средненагружаемых аэротенков, некоторые представители свидетельствуют о возможном залеживании и гниении ила, выносливы к недостатку кислорода
Класс <i>Kinetophragminophora</i> <i>Litonotus anser</i>	17	
Тип Nemathelminthes, класс Rotifera <i>Rotaria rotatoria</i>	Единично	Представители биоценозов аэротенков городских очистных сооружений
Vermes <i>Gastrotricha</i>	Единично	Встречаются в высокоразвитых биоценозах, иногда являются индикатором недогруженных илов глубокой очистки
<i>Chaetonotus maximus</i>	9	
<i>Aeolosoma hemprichi</i>	Единично	
Цисты простейших	Единично	-

Возрастание численности мелких голых амёб *Gumnamoebia*, мелких бесцветных жгутиковых *Zoomastigophorea*, нитчатых серобактерий *Sphaerotilus* свидетельствует о недостатке растворенного кислорода в сточных водах [21]. Также в активном иле обнаружены «бродяжки» рода *Vorticella* – свободно плавающие особи, оторванные от стебелька. Образование «бродяжек» – типичная реакция *Vorticella* на недостаток кислорода. Данные особенности активного ила указывают на нарушение кислородного режима, которое приводит к снижению эффективности очистки.

## 1.6 Расчет основных параметров аэротенков очистных сооружений

В ходе рассмотрения показателей, необходимых для работы установки ДЕКО-СВ-100, и на основании гидробиологического анализа биоценоза аэротенков, установлено недостижение необходимой концентрации растворенного кислорода в сточных водах. Для определения причин нарушения кислородного режима аэротенков, проведем расчеты характеристик аэротенков очистных сооружений ООО «Газпром трансгаз Сургут» по методикам СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38], РД 39-1.13-037-2001 [27].

Для определения периода аэрации для аэротенков, сначала рассчитаем удельную скорость окисления  $\rho$  по формуле (7):

$$\rho = \rho_{\max} \cdot \frac{L_{\text{ex}} \cdot C_0}{L_{\text{ex}} \cdot C_0 + K_i \cdot C_0 + L_{\text{ex}} \cdot K_0} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i} \quad (7)$$

где  $\rho_{\max}$  – максимальная скорость окисления, принимается по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38], равной 85 мг/(г·ч);

$L_{\text{ex}}$  – БПК<sub>полн</sub> очищенной воды, по лабораторным данным равно 5,84 мг/дм<sup>3</sup>;

$C_0$  – концентрация растворенного кислорода в аэротенке, средняя по лабораторным данным 2 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$K_i$  – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] принимается равной 33 мг БПК<sub>полн</sub>/дм<sup>3</sup>;

$K_0$  – константа, характеризующая влияние кислорода, принимается по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] равной 0,625 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] равен 0,07 дм<sup>3</sup>/г;

$a_i$  – доза ила в аэротенке, определяется технико-экономическим расчетом с учетом работы вторичного отстойника, технологическим

регламентом [42] принята от 2,5 до 3,5 г/дм<sup>3</sup>, для расчета принимаем равной 3,5 г/дм<sup>3</sup>.

$$\rho = 85 \cdot \frac{5,84 \cdot 2}{5,84 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 5,84 \cdot 0,625} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 3,5} = 9,80 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$$

Период аэрации для аэротенков определяем по формуле (8):

$$t_{\text{atm}} = \frac{L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}}{a_i \cdot (1 - s) \cdot \rho} \quad (8)$$

где  $L_{\text{en}}$  – БПК<sub>полн</sub> воды, поступающей в аэротенк, по лабораторным данным равно 56 мг/дм<sup>3</sup>;

$s$  – зольность ила, принимается по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] равной 0,3.

$$t_{\text{atm}} = \frac{56 - 5,84}{3,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 9,80} = 2,09 \text{ ч}$$

Согласно СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38], продолжительность аэрации не должна быть менее 2 ч. Рассчитанное значение периода аэрации соответствует нормативному.

Значение нагрузки по БПК<sub>полн</sub> необходимо для определения илового индекса по таблице 41 СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38], она рассчитывается по формуле (9):

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}})}{a_i \cdot (1 - s) \cdot t_{\text{atm}}} \quad (9)$$

$$q_i = \frac{24 \cdot (56 - 5,84)}{3,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 2,09} = 235,15 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{сут})$$

Рассчитанное значение нагрузки по БПК<sub>полн</sub> соответствует оптимальной

нагрузке (от 200 до 250 мг/(г·сут)), данная нагрузка на активный ил обеспечивает устойчивость работы аэротенков [25].

Степень рециркуляции активного ила рассчитывается по формуле (10):

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i} \cdot 100\% \quad (10)$$

где  $J_i$  – иловый индекс, определяется согласно Таблицы 41 СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] методом линейной интерполяции, для сточных вод, приближенных по составу к городским, составляет 80,55 см<sup>3</sup>/г.

По лабораторным данным иловый индекс составляет от 75 до 110 см<sup>3</sup>/г.

$$R_i = \frac{3,5}{\frac{1000}{80,55} - 3,5} \cdot 100\% = 39\%$$

Согласно СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38], степень рециркуляции активного ила должна быть не менее 30 %. Рассчитанное значение степени рециркуляции соответствует нормативному.

Прирост активного ила, определяется по формуле (11):

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en} \quad (11)$$

где  $C_{cdp}$  – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, по лабораторным данным равна 36 мг/дм<sup>3</sup>;

$K_g$  – коэффициент прироста, согласно СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38], для городских и близких им по составу стоков равен 0,3.

$$P_i = 0,8 \cdot 36 + 0,3 \cdot 56 = 45,60 \text{ мг/дм}^3$$

Растворимость кислорода в воде определим по формуле (12):

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T \quad (12)$$

где  $h_a$  – глубина погружения аэратора, которую можем определить по формуле (13), м;

$C_T$  – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, по справочным данным [1] при нормальном атмосферном давлении и температуре воздуха плюс 25 °С составляет 8,18 мг/дм<sup>3</sup>.

$$h_a = H_{at} - 0,3 \quad (13)$$

где  $H_{at}$  – рабочая глубина аэротенков, составляет 2,45 м, согласно данным технологического регламента [42].

$$h_a = 2,45 - 0,3 = 2,15 \text{ м}$$

Тогда растворимость кислорода в воде составит:

$$C_a = \left(1 + \frac{2,15}{20,6}\right) \cdot 8,18 = 9,03 \text{ мг/дм}^3$$

Удельный расход воздуха очищаемой воды рассчитаем по формуле (14):

$$q_{air} = \frac{q_0 \cdot (L_{en} - L_{ex})}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_T \cdot K_3 \cdot (C_a - C_0)} \quad (14)$$

где  $q_0$  – удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг снятой БПК<sub>полн</sub>, согласно СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] принимается 1,1;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий тип аэратора, принимаемый для



среднепузырчатой аэрации равным 0,75 (согласно СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38]);

$K_2$  – коэффициент, зависимый от глубины погружения аэраторов  $h_a$ , рассчитывается методом линейной интерполяции по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38], равен 1,621;

$K_3$  – коэффициент качества воды, для сточных вод, приближенных к городским, согласно СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] принимается 0,85;

$K_T$  – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, который следует определять по формуле (15):

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_w - 20) \quad (15)$$

где  $T_w$  – средняя температура воды, принимается плюс 25 °С.

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (25 - 20) = 1,1$$
$$q_{air} = \frac{1,1 \cdot (56 - 5,84)}{0,75 \cdot 1,621 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (9,02 - 2)} = 6,90 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Определяем среднюю интенсивность аэрации по формуле (16):

$$J_a = \frac{q_{air} \cdot H_{at}}{t_{atm}} \quad (16)$$
$$J_a = \frac{6,90 \cdot 2,45}{2,09} = 8,09 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

Интенсивность аэрации, согласно данным технологического регламента [42], должна составлять не менее 10 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

Приведем основные параметры расчетов в таблице 4.

Таблица 4 – Основные параметры работы аэротенков

Показатель	Рассчитанное значение	Нормативное значение [25, 38, 42]
Период аэрации $t_{atm}$ , ч	2,09	Не менее 2
Нагрузка по БПК <sub>полн</sub> $q_i$ , мг/(г·сут)	235,15	200-250
Степень рециркуляции активного ила $R_i$ , %	39	Не менее 30
Средняя интенсивность аэрации $J_a$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	8,09	Не менее 10

Как видно из таблицы 4, период аэрации, нагрузка по БПК<sub>полн</sub> и степень рециркуляции активного ила в существующих аэротенках соответствуют нормативным значениям. Однако необходимая интенсивность аэрации не достигается в действующих аэротенках. Микроорганизмы могут гибнуть от собственных метаболитов, в хлопьях активного ила происходит нарушение массообмена [14]. Таким образом, аэротенки ООО «Газпром трансгаз Сургут», нуждаются в оптимизации, направленной на увеличение интенсивности аэрации, увеличение концентрации растворенного кислорода в сточных водах.

Выводы по первому разделу: в первом разделе рассмотрена технологическая схема очистных сооружений ООО «Газпром трансгаз Сургут». В ходе анализа лабораторных данных о содержании загрязняющих веществ на выходе из аэротенков, выявлены превышения НДС по аммиаку и аммоний-иону, БПК<sub>полн</sub>, железу, недостаток растворенного кислорода в сточных водах. Проведен гидробиологический анализ активного ила, в ходе которого выявлено увеличение микроаэрофилов в активном иле.

Нарушение состава биоценоза связано с низким уровнем кислорода в сточных водах и приводит к снижению эффективности очистки. При расчете технологических параметров аэротенка установлена причина нарушения кислородного режима – недостижение необходимой интенсивности аэрации.

Таким образом, очистные сооружения ООО «Газпром трансгаз Сургут», нуждаются в оптимизации, направленной на увеличение интенсивности аэрации в аэротенках, увеличение концентрации растворенного кислорода в сточных водах.

## **2 Предложения по оптимизации работы аэротенков очистных сооружений ООО «Газпром трансгаз Сургут» собственными силами предприятия**

### **2.1 Анализ существующих методов оптимизации работы аэротенков**

На сегодняшний день существует множество вариантов переоборудования аэротенков очистных сооружений. Особый интерес представляет реконструкция аэротенков, когда при относительно небольших капитальных вложениях удается получить существенное повышение эффективности очистки сооружений [38], [47].

Для подбора наиболее подходящей технологии проведен патентно-информационный поиск. Исследуемая тема индексируется согласно МПК по классам: C02F 3/34, C02F 3/12, C02F 3/00, C02F 101/16, C02F 101/30, C02F 3/22, C02F 101/30, C02F 103/34.

Наиболее популярные методы представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Обзор существующих методов повышения аэрации на основе результатов патентно-информационного поиска

Номер документа	Авторы	Название	Краткое описание
Патент РФ94028293/13	Жмур Н.С. Лапшин О.М.	Способ подавления бактериального нитчатого вспухания активного ила	«С целью подавления вспухания создаются максимально благоприятные условия для жизнедеятельности антагонистов нитчатых бактерий путем одновременной установки в аэротенках смешанной системы аэрации, объемных конструкций-носителей биомассы и обработки активного ила нитрозоалкилмочевинной. Аэротенки оснащаются смешанной системой аэрации в пропорции 60% мелкопузырчатой, 40% среднепузырчатой. Носители биомассы устанавливаются в количестве, обеспечивающем увеличение концентрации активного ила в 1,5-2 раза» [28].
Патент RU2264355C2	Кармазинов Ф.В. Крючихин Е.М. Николаев А.Н. Пробирский М. Д. Трухин Ю.А. Чернов В.Б.	Способ аэрации в аэротенке системы очистки сточных вод	«Способ улучшения аэрации в аэротенке включает создание над соответствующими участками дна аэротенка двух зон, из которых одна – нитрификация, а другая – денитрификация. В зоне нитрификации создают мелкопузырчатую аэрацию с помощью пневматических аэраторов, которые располагают в придонной части аэротенка. В зоне денитрификации создают средне- или крупнопузырчатую аэрацию, образуемую с помощью других пневматических аэраторов, расположенных в придонной части аэротенка» [29].
Патент RU2270174C2	Гурвич Г.А. Романцов В.П. Булгаков Б.Б. Булгаков А.Б.	Аэратор	«Изобретение служит для создания микропузырьков воздуха в воде и равномерного распределения микропузырьков в объеме жидкости или по сечению потока, а также генерации струй газожидкостной смеси. Аэратор дополняется узлом расширения с проточной камерой, выполненной с напорным и выпускным патрубками, и узлом распределения газожидкостной смеси. Узел расширения снабжен водонапорным трубопроводом и выполнен в виде проточных камер, снабженных воздушным патрубком и размещенных на водонапорном трубопроводе. Узел распределения смеси выполнен в виде перфорированных насадок на выпускные патрубки проточных камер, расположенных под острым углом к оси водонапорного трубопровода» [30].

Продолжение таблицы 5

Патент RU203043U1	Бахарева А.В.	Аэратор полного растворения	«Устройство состоит из цилиндрической геликоидной поверхности, на которой имеются выступающие элементы, образующие канальное всплытие газовых пузырьков. Устройство обеспечивает увеличение времени нахождения пузырьков в воде путем снижения скорости их всплытия. Выступающие элементы организованы штырьковыми выступами, расположенными в шахматном порядке, образующим канальное всплытие газовых пузырьков» [31].
Патент RU2118298C1	Михайлов В.К. Минабутдинов А.С. Михайлов А.В. Политковский И.В. Мешенгиссер Ю. М. Галич Р.А. Марченко Ю.Г.	Система аэрации	«Система аэрации дополняется узлом, имеющим воздухоподающую трубу, подсоединенную к распределительному коллектору, воздухообразующими трубами, соединенными с распределительным коллектором, с установленными на них аэраторами. Каждый аэратор имеет корпус с патрубком и приливами в нижней части, по меньшей мере один узел крепления аэратора к воздухообразующим трубам и диспергирующую мембрану, которая может быть либо сплошной без перфорации по центру, либо с центральным отверстием. Диспергирующая мембрана скреплена с корпусом по концентрическим окружностям» [32].
—	Залётова Н. А.	Опыт эксплуатации очистных сооружений с применением двухступенчатой схемы нитри-денитрификации	«Коридоры аэротенка разделяются на четыре зоны, в которых последовательно реализованы процессы денитрификации первой ступени, нитрификации первой ступени, денитрификации второй ступени, нитрификации второй ступени. Для предотвращения обратных потоков технологические зоны разделены щелевыми перегородками» [11].
—	НПО «Экологические инновационные разработки»	Очистка сточных вод с помощью УБП БИУС	«Аэротенк разделяется на аноксидную (процесс денитрификации) и аэробную зону (процесс нитрификации)» [23].

Продолжение таблицы 5

–	Маскалева С.Е. Большаков Н.Ю.	Математическое моделирование и внедрение эффективных биотехнологий очистки от азота и фосфора на действующих очистных сооружениях канализации	«Реализация технологии связана с созданием в аэротенке трех типов зон: – аэробной зоны (высокая концентрация растворенного кислорода), где протекают процессы очистки от органических веществ, нитрификации дефосфотация; – аноксидной зоны (растворенный кислород практически отсутствует, есть нитраты и органические вещества), где происходит процесс денитрификации; – анаэробная зона (нет растворенного кислорода, нет нитратов и нитритов, есть органические вещества), где идет сбраживание органических веществ до ацетата, который потребляется фосфорными бактериями с выделением в среду фосфатов» [22].
---	----------------------------------	---	--

Анализируя существующие существующие решения для оптимизации работы существующих очистных сооружений, можно условно выделить два основных направления модернизации аэротенков – повышение аэрации и разделение аэротенка для создания отдельных зон нитрификации и денитрификации.

Разделение существующих аэротенков на зоны нитрификации и денитрификации – эффективный и современным метод, однако он применим в основном для аэротенков-вытеснителей. Аэротенки ООО «Газпром трансгаз Сургут» относятся с аэротенкам-смесителям. Для аэротенков-смесителей данный метод неприменим, так как конструкция данного типа очистных сооружений предполагает рассредоточенную подачу и моментальное перемешивание сточных вод, отвод иловой смеси по всей длине сооружений и постоянную скорость окисления органических веществ во всем объеме аэротенка.

Для решения проблемы повышения аэрации в аэротенках очистных сооружений основным методом является замена аэраторов. Однако полная замена аэрационной системы – процесс дорогостоящий и трудозатратный. Поэтому многие предприятия прибегают к оптимизации существующих аэрационных систем, установке дополнительных аэраторов, насадок на существующие аэраторы.

Установка дополнительных аэраторов – наиболее подходящий метод оптимизации для действующих аэротенков предприятия. Данный метод позволит не только повысить интенсивность аэрации, но и устранить еще один конструктивный недостаток аэротенков: заиливание и гниение тяжелых взвесей активного ила, оседающих на дне секций аэротенка. Заиливание вызвано тем, что между аэротенком и вторичным отстойником на дне конструкции имеется стальная перегородка высотой 40 см, которая не позволяет насосам удалить тяжелые взвеси, образованные регулярным отмиранием колоний микроорганизмов, со дна аэротенка. Данный процесс отрицательно влияет на развитие биологической среды установки, приводит к

снижению качества очистки сточных вод.

Установка дополнительных аэраторов позволит при относительно небольших капитальных вложениях получить существенное повышение эффективности очистки сооружений. Также стоит отметить, что монтаж дополнительной линии подачи воздуха исключает металлорежущие работы, которые неизбежно приводят к нарушению заводского антикоррозийного покрытия корпуса установки.

## **2.2 Установка дополнительных аэраторов**

Для повышения концентрации растворенного кислорода в установке, а также устранения заиливания, предлагается смонтировать на дно секций аэротенка дополнительную линию подачи воздуха (аэратор).

В существующей установке аэратором служит система из перфорированных труб с внутренним диаметром 100 мм, число отверстий на 1 м трубы – около 80 шт., диаметр отверстий – 3 мм. Линию подачи воздуха предлагается смонтировать аналогично проектной из перфорированных труб с такими же характеристиками.

На практике реализация мероприятий по оптимизации процесса подачи воздуха в аэротенк начинается с проведения технологических расчетов с целью определения требуемого на аэрацию количества воздуха. Для определения необходимого количества аэраторов на секцию аэротенка произведем расчет основных параметров аэрационной системы аэротенка по СНиП 2.04.03-85 и справочному пособию к СНиП 2.04.03-85 «Проектирование сооружений для очистки сточных вод» [26, 32].

Согласно технологического регламента ДЕКО-СВ-100 [42], за оптимальную концентрацию растворенного кислорода принимается концентрация около  $4 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$  [42]. Величина БПК<sub>полн</sub>  $L_{\text{ex}}$  после очистки сточных вод не должна превышать НДС ( $5,72 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ), для расчетов принимает величину  $L_{\text{ex}}$  немного меньшую НДС и равную  $5,5 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .



Удельную скорость окисления находим  $\rho$  по формуле (17):

$$\rho = \rho_{\max} \cdot \frac{L_{\text{ex}} \cdot C_0}{L_{\text{ex}} \cdot C_0 + K_i \cdot C_0 + L_{\text{ex}} \cdot K_0} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i} \quad (17)$$

где  $\rho_{\max}$  – максимальная скорость окисления, принимается по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] равной 85 мг/(г·ч);

$K_i$  – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] принимается равной 33 мг БПК<sub>полн</sub>/дм<sup>3</sup>;

$K_0$  – константа, характеризующая влияние кислорода, принимается по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] равной 0,625 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] равен 0,07 дм<sup>3</sup>/г;

$a_i$  – доза ила в аэротенке, технологическим регламентом [42] принята 3,5 г/дм<sup>3</sup>.

$$\rho = 85 \cdot \frac{5,5 \cdot 4}{5,5 \cdot 4 + 33 \cdot 4 + 5,5 \cdot 0,625} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 3,5} = 9,54 \text{ мг/(г} \cdot \text{ч)}$$

В аэротенках-смесителях снижение БПК<sub>полн</sub> происходит равномерно, уменьшение БПК<sub>полн</sub> в каждой секции аэротенка одинаково. Снижение БПК<sub>полн</sub> делится на равные части по принятому числу секций аэротенка. Снижение БПК<sub>полн</sub> по секциям приведено в таблице 6.

Таблица 6 – Снижение БПК<sub>полн</sub> и продолжительность пребывания сточных вод в секциях аэротенка

Показатель		Секция аэротенка				
		I	II	III	IV	V
БПК <sub>полн</sub> на входе в аэротенки, мг/дм <sup>3</sup>	L <sub>mix</sub>	56				
БПК <sub>полн</sub> на входе в секцию аэротенка, мг/дм <sup>3</sup>	L <sub>en</sub>	56	45,9	35,8	25,7	15,6
БПК <sub>полн</sub> на выходе из секции аэротенка, мг/дм <sup>3</sup>	L <sub>ex</sub>	45,9	35,8	25,7	15,6	5,5
Разница между БПК <sub>полн</sub> на входе в секцию и выходе из секции, мг/дм <sup>3</sup>	L <sub>en</sub> – L <sub>ex</sub>	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Период аэрации для каждой секции аэротенков (с нарастающим итогом), ч	t <sub>atm</sub>	0,43	0,86	1,30	1,73	2,16
Период аэрации для каждой секции аэротенков, ч	Δt <sub>atm</sub>	0,432				

Периоды аэрации для заданных промежуточных значений L<sub>ex</sub> определяются расчетом по формуле (18):

$$t_{atm} = \frac{L_{mix} - L_{ex}}{a_i \cdot (1 - s) \cdot \rho} \quad (18)$$

s – зольность ила, принимается по СП 32.13330.2018 СНиП 2.04.03-85 [38] равной 0,3.

$$t_{atm}^I = \frac{56 - 45,9}{3,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 9,54} = 0,43 \text{ ч}$$

$$t_{atm}^{II} = \frac{56 - 35,8}{3,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 9,54} = 0,86 \text{ ч}$$

$$t_{atm}^{III} = \frac{56 - 25,7}{3,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 9,54} = 1,30 \text{ ч}$$

$$t_{atm}^{IV} = \frac{56 - 15,6}{3,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 9,54} = 1,73 \text{ ч}$$

$$t_{atm}^V = \frac{56 - 5,5}{3,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 9,54} = 2,16 \text{ ч}$$

Удельный расход воздуха для каждой секции аэратора рассчитаем по формуле (19):

$$q_{\text{air}} = \frac{q_0 \cdot (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}})}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_T \cdot K_3 \cdot (C_a - C_0)} \quad (19)$$

$$q_{\text{air}}^{\text{I-V}} = \frac{1,1 \cdot 10,1}{0,75 \cdot 1,621 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (9,03 - 4)} = 1,94 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Интенсивность для каждой секции аэротенка найдем по формуле (20):

$$J_a = \frac{q_{\text{air}} \cdot H_{\text{at}}}{\Delta t_{\text{atm}}} \quad (20)$$

$$J_a^{\text{I-V}} = \frac{1,94 \cdot 2,45}{0,432} = 11,01 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

Количество аэраторов в каждой секции аэротенка определим по формуле (21):

$$n_d = \frac{J_a \cdot b}{J_{\text{ab}} \cdot f_b} \quad (21)$$

где  $J_a$  – интенсивность аэрации в секции аэротенка,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;

$b$  – длина коридора, составляет 2 м, согласно технического паспорта;

$J_{\text{ab}}$  – удельный расход воздуха на аэратор для конкретного типа аэратора (перфорированные трубы), принимается согласно справочному пособию к СНиП 2.04.03-85 [39], равный  $73 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;

$f_b$  – площадь одного ряда аэратора на 1 м перфорированных труб, равная  $0,114 \text{ м}^2/\text{м}$ .

$$n_d^{\text{I-V}} = \frac{11,01 \cdot 2}{73 \cdot 0,114} = 2,65 \approx 3 \text{ шт.}$$

Расход воздуха  $Q_{air}$  в каждой секции определим по формуле (22):

$$Q_{air} = q_{air} \cdot q_w \quad (22)$$

где  $q_w$  – расход сточных вод, составляет 4,16 м<sup>3</sup>/час.

$$Q_{air}^{I-V} = 1,94 \cdot 4,16 = 8,08 \text{ м}^3/\text{час}$$

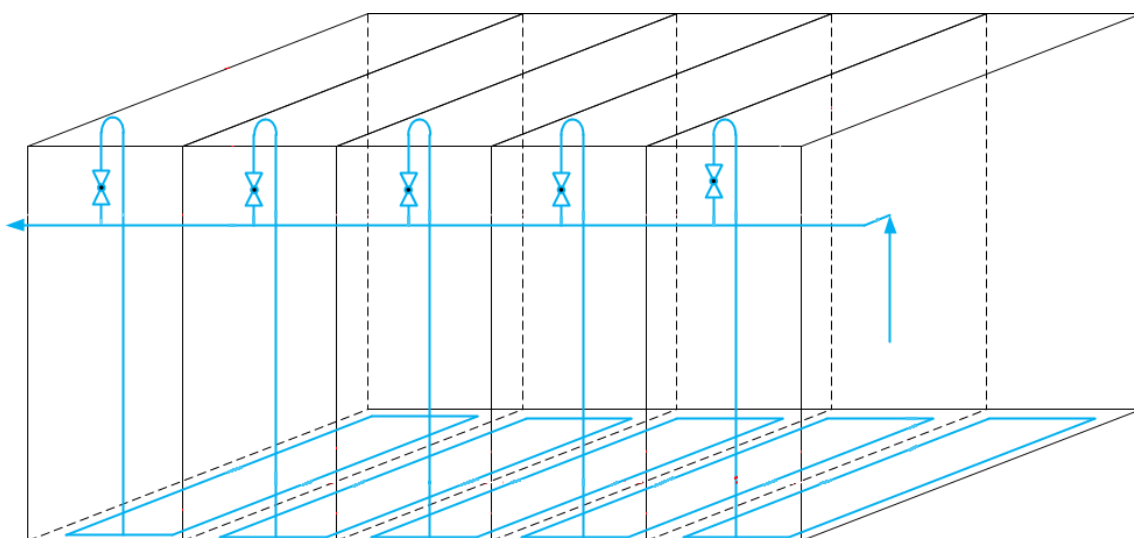
Общий расход воздуха на аэротенк  $Q_{air}$ , равен сумме всех расходов в каждой секции (23):

$$Q_{air} = \sum Q_{air}^{I-V} \quad (23)$$

$$Q_{air} = 8,08 \cdot 5 = 40,39 \text{ м}^3/\text{час}$$

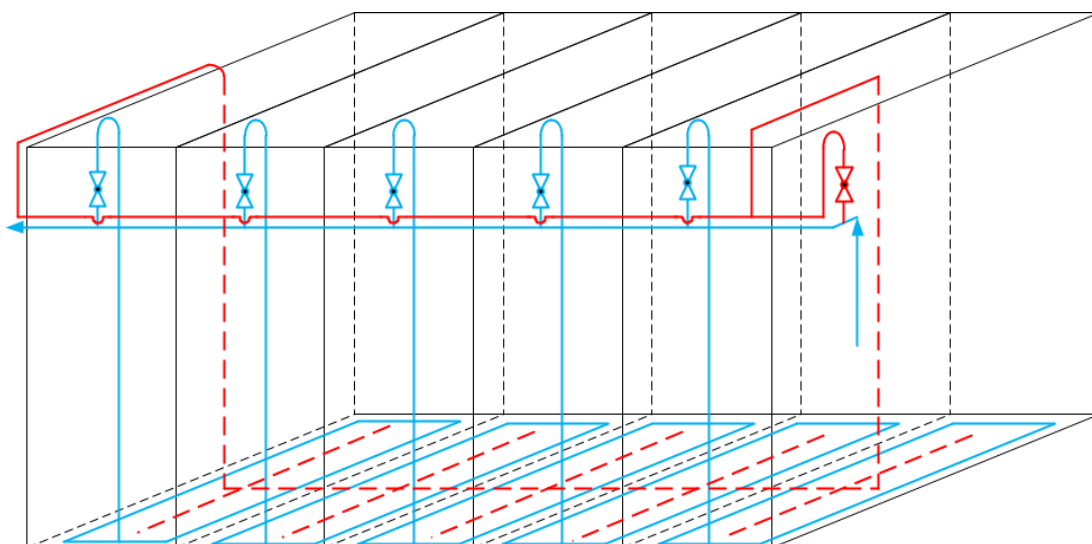
Как показывает конструктивный расчет, три аэратора на секцию аэротенка обеспечивают полноценную работу аэротенка и достаточную интенсивность аэрации. При добавлении дополнительного аэратора интенсивность аэрации  $J_a$  в каждой секции аэротенка увеличится с 8,09 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) до 11,01 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч), что удовлетворяет нормативам технологического регламента ДЕКО-СВ-100 [42], согласно которому интенсивность аэрации должна поддерживаться на уровне не менее 10 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

В существующих аэротенках предусмотрено две линии аэрации (два аэратора), расположенные на дне аэротенка вдоль секции. Расположение аэраторов представлено на рисунке 3.



— существующая линия аэрации  
 Рисунок 3 – Схема системы аэрации аэротенка

Третий аэратор (дополнительную линию подачи воздуха) предлагается смонтировать на дне аэротенка на одном уровне с существующими аэраторами, на одинаковом расстоянии между ними. Схема установки дополнительных аэраторов приведена на рисунке 4.



— существующая линия аэрации  
 — дополнительно смонтированная линия аэрации  
 Рисунок 4 – Схема установки дополнительного аэратора

При выборе схемы размещения аэраторов были рассмотрены различные схемы их монтажа с учетом гидродинамических особенностей [4], [16], [24], [27], предлагаемое расположение труб можно считать оптимальным. Сравнение двух аэрирующих систем (до и после монтажа дополнительного воздуховода) на рисунках 5, 6 наглядно демонстрируют изменение циркуляционных контуров жидкости. Внутри таких контуров движение постепенно снижается и затухает совсем по мере приближения к центру теневой зоны. В теневой зоне значительно снижаются или отсутствуют процессы перемешивания сточных вод с активным илом, из-за чего перенос кислорода к микроорганизмам активного ила нарушается. Установка дополнительной линии аэрации позволит уменьшить объем теневых зон, что обеспечит более качественное насыщение кислородом сточных вод.

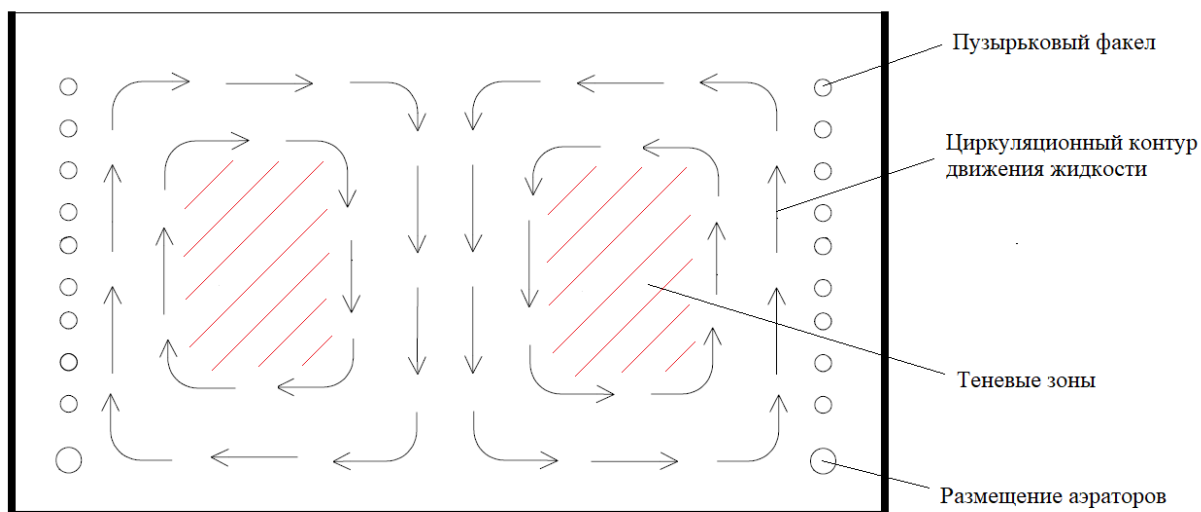


Рисунок 5 – Схема поперечного сечения секции аэротенка с двумя линиями аэрации

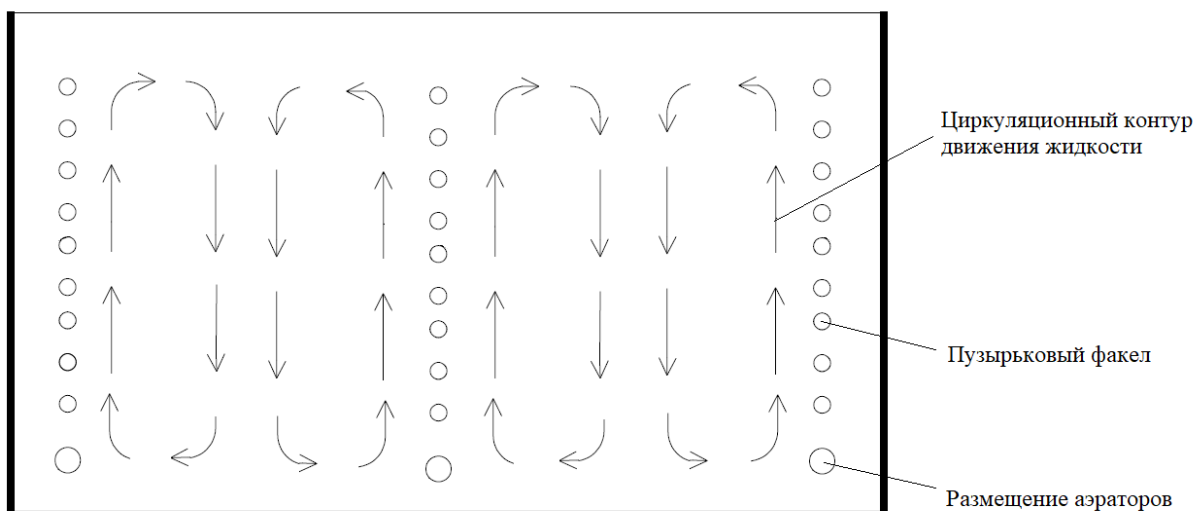


Рисунок 6 – Схема поперечного сечения секции аэротенка с дополнительной третьей линией аэрации

Помимо увеличения аэрации воды, данное конструктивное решение увеличит объем бурления воды в нижних слоях блока, что не позволит активному илу оседать в спокойных зонах, как было ранее.

### 2.3 Замена воздуходувок

В качестве воздуходувки для обеспечения процесса аэрации в СБОСВ-200 проектом предусмотрено использование воздушного компрессора типа ВВК-2. Данная установка обладает недостатками, которые мешают процессу аэрации, нарушая нормальную работу очистных сооружений. Один из таких недостатков – ненадежная работа рабочего колеса компрессора, связанная с его заклиниванием. Забор воздуха компрессором предусмотрен из помещения очистных сооружений, температура воздуха в котором находится на уровне примерно 25 °С. При компримировании воздуха температура корпуса компрессора может повышаться до 90 °С, что вызывает перегрев подшипника. Из-за этого происходит разжижение смазки подшипника, ее стекание и, как следствие, заклинивание рабочего колеса. Отказ в работе компрессора приводит к необходимости в оперативном порядке вводить в работу

резервную воздуходувку, а воздуходувку с вышедшим из строя компрессором выводить в ремонт.

Данный вывод подтверждается режимно-наладочными испытаниями установки ДЕКО-СВ-100 на Ново-Уренгойской промплощадке ООО «Газпром трансгаз Сургут», в ходе которых установлено несоответствие воздуходувки ВВК-2М требованиям нормальной работы установки [41].

Предлагается провести замену проектных компрессоров типа ВВК-2 на более надежные воздуходувки 2ВН1 510-7НН46-Z компании «Elmo Rietschle».

Для обеспечения стабильности и повышения эффективности работы компрессоров, необходимо изменение схемы питания с применением векторных преобразователей частоты со встроенным программируемым логическим контроллером. Данное решение позволит регулировать подачу воздуха на установку путем регулировки частоты оборотов электродвигателей, тем самым исключая риск повышения давления воздуха в воздуховодах с последующим открытием клапана сброса.

#### **2.4 Устранение повреждений носителей прикрепленной микрофлоры (экранов)**

В процессе исследования аэротенков были обнаружены скрытые повреждения экранов носителей микрофлоры. Для устранения данных дефектов аэротенка предлагается изготовить новые экраны по заводским образцам. При изготовлении носителей микрофлоры можно использовать сертифицированные материалы – пленку полиэтиленовую ГОСТ 10354-82 и «Изоспан В». Данные материалы выбраны исходя из доступности на производстве, а также максимальной приближенности к материалам, которые были использованы заводом-изготовителем. Внешний вид носителей прикрепленной микрофлоры (экранов) приведен на рисунке 7.





Рисунок 7 – Носители прикрепленной микрофлоры (экраны)

## 2.5 Оценка эффективности очистки после оптимизации

Построение математической модели процессов биологической очистки для оценки ее эффективности является сложной задачей. Это связано с тем, что в пределах одного очистного сооружения одновременно протекает множество взаимосвязанных между собой процессов: окисление органических веществ, трансформация аммонийного азота до нитритов и нитратов (нитрификация), восстановление нитритов и нитратов до молекулярного азота (денитрификация), поглощение ортофосфатов и их преобразование в полифосфаты. При этом каждый описанный процесс требует особых условий протекания («характеристика исходных стоков, концентрация растворенного кислорода, рН, температура, концентрация активного ила и его прирост» [25]) и имеет индивидуальные кинетические характеристики. Поэтому оценка эффективности работы аэротенков может проводиться только при окончании пуско-наладочных испытаний конкретных сооружений, а математическое моделирование процесса может дать лишь приблизительную оценку.

Влияние концентрации растворенного кислорода на эффективность работы очистных сооружений было рассмотрено в работах Павлиновой И.И.

[26] (эффективность протекания процесса нитрификации, эффективность очистки от аммиака и аммоний-иона, нитритов), Авериной Ю.М. [1] (эффективность очистки от ионов железа), Строгановой М.С. [40] (эффективность очистки от сульфатов). Установлено, что повышение концентрации растворенного кислорода увеличивает эффективность очистки от аммиака и аммоний-иона, нитрит-иона, сульфатов, ионов железа, а также уменьшает БПК<sub>полн</sub> сточных вод на выходе из очистных сооружений.

Согласно данным режимно-наладочных испытаний установки ДЕКО-СВ-100 на Ново-Уренгойской промплощадке ООО «Газпром трансгаз Сургут» [41], существует зависимость эффективности очистки от аммиака и аммоний-иона, нитрит-иона, сульфатов и железа от концентрации растворенного кислорода в аэротенках данной конструкции. Данная зависимость приведена на рисунке 8. По остальным загрязняющим веществам эффективность очистки при повышении концентрации кислорода практически не изменяется.

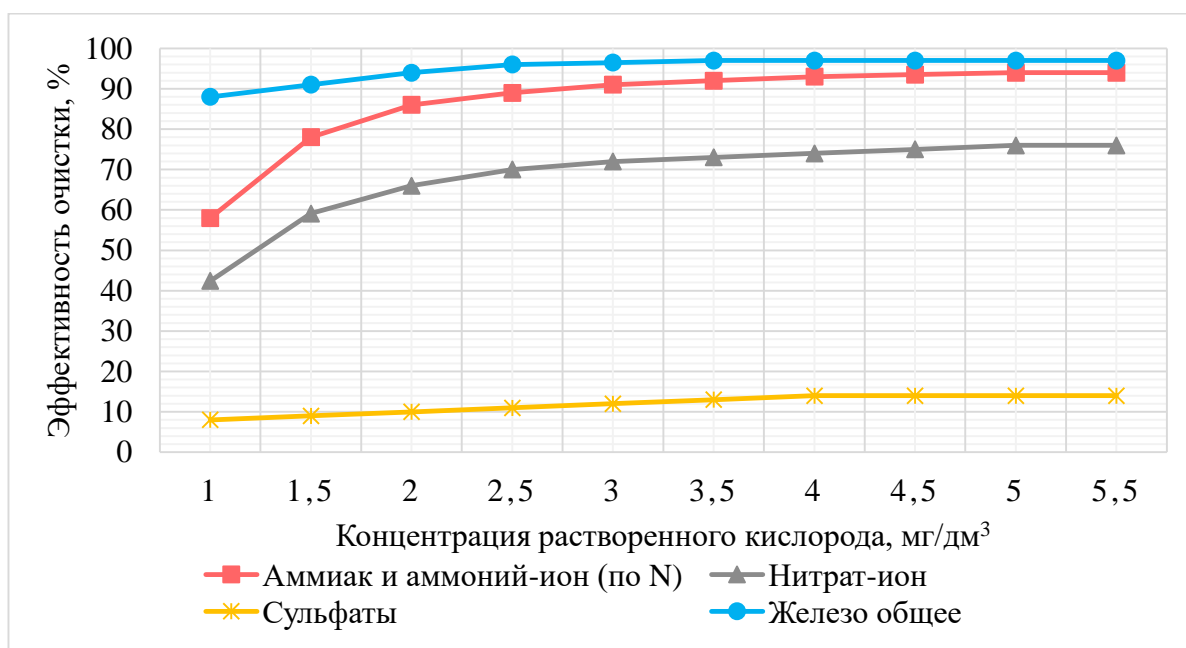


Рисунок 8 – Зависимость эффективности очистки от концентрации растворенного кислорода

Изменение эффективности очистки при концентрации растворенного кислорода 4 мг/дм³ определим по рисунку 8, приведем в таблице 7.

Таблица 7 – Изменение эффективности очистки по некоторым загрязняющим веществам при повышении концентрации растворенного кислорода в аэротенках

Показатели	Эффективность очистки, %	
	до оптимизации	после оптимизации
Аммиак и аммоний-ион (по N)	85,84	93
Нитрит-ион	67,48	74
БПК <sub>полн</sub>	89,58	90
Сульфаты	10,07	14
Железо общее	94,27	97

Произведём расчет концентрации загрязняющих веществ на выходе из аэротенков по формуле (24):

$$C_{з.в.}^{вых} = C_{з.в.}^{вх} - (C_{з.в.}^{вх} \cdot \mathcal{E}_{з.в.}) \quad (24)$$

где  $\mathcal{E}_{з.в.}$  – эффективность очистки по каждому веществу, %.

$$C_{аммоний-ион}^{вых} = 10,1 - (10,1 \cdot 0,93) = 0,71 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{нитрит-ион}^{вых} = 0,2 - (0,2 \cdot 0,74) = 0,053 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{сульфаты}^{вых} = 28,5 - (28,5 \cdot 0,14) = 24,51 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{железо общее}^{вых} = 4,1 - (4,1 \cdot 0,97) = 0,123 \text{ мг/дм}^3$$

Полученные данные представлены в таблице 8. Концентрации веществ, эффективность очистки для которых не установлена, принимаем равными концентрациям на выходе из установки до изменения системы аэрации. Концентрацию БПК<sub>полн</sub> принимаем равной 5,5 мг/дм<sup>3</sup> согласно ранее проведенному расчету.

Таблица 8 – Показатели сточных вод до и после очистки

Компонент/ показатель	На входе мг/дм <sup>3</sup>	На выходе, мг/дм <sup>3</sup>	НДС, мг/дм <sup>3</sup>
Взвешенные вещества	36	7,04	8,68
Аммиак и аммоний-ион (по N)	10,1	0,71	1,496
Нитрит-ион	0,20	0,053	3,3
Нитрат-ион	0,63	6,04	45
Фосфаты (по фосфору)	2,1	0,175	0,826
Хлориды	34,34	30,96	100
БПК <sub>полн</sub>	56	5,50	5,72
АПАВ	0,03	0,018	0,1
Нефтепродукты	0,044	0,031	0,3
Сульфаты	28,5	24,51	150
Железо общее	4,1	0,123	0,3

Из данных таблицы 8 видно, что после оптимизации аэротенков достигаются требования НДС по всем загрязняющим веществам. Эффективность очистки после установки дополнительной линии аэрации достаточна для обеспечения протекания процесса биологической очистки в полном объеме.

## 2.6 Расчет материального баланса

При расчете материального баланса очистных сооружений моделирование биологических процессов осуществляется по упрощенной схеме, так как истинная схема биологических превращений не поддается математическому моделированию ввиду ее многокомпонентности и сложности.

На очистку сточные воды поступают в количестве 4,16 м<sup>3</sup>/час, расход сточных Q<sub>ст.в.</sub> вод составляет 4160 кг/ч

Количество циркулирующего ила, подаваемого в аэротенки, определим

по формуле (25):

$$Q_{\text{и.ц.}} = Q_{\text{ст.в.}} \cdot R_i \quad (25)$$
$$Q_{\text{и.ц.}} = 4160 \cdot 0,39 = 1633,153 \text{ кг/ч}$$

Количество активного ила по сухому остатку найдем по формуле (26):

$$Q_{\text{и.сух.}} = Q_{\text{и.ц.}} \cdot \frac{a_i}{1000} \quad (26)$$

где  $a_i$  – доза ила в аэротенке, технологическим регламентом [42] принята  $3,5 \text{ г/дм}^3$ , что соответствует  $3,5 \text{ кг/м}^3$ .

$$Q_{\text{и.сух.}} = 1633,153 \cdot \frac{3,5}{1000} = 5,716 \text{ кг/ч}$$

Определим в данной смеси количество воды, поступающей в аэротенк, по формуле (27):

$$Q_{\text{вод.ц.}} = Q_{\text{и.ц.}} - Q_{\text{и.сух.}} \quad (27)$$
$$Q_{\text{вод.ц.}} = 1633,153 - 5,716 = 1627,437 \text{ кг/ч}$$

Зная концентрации загрязняющих веществ до и после очистки в действующих аэротенках, расход загрязняющих веществ в сточной воде на входе и выходе  $Q_{\text{з.в.}}$  определим по формуле (28):

$$Q_{\text{з.в.}} = C_{\text{з.в.}} \cdot Q_{\text{ст.в.}} \cdot 10^{-6} \quad (28)$$

где  $C_{\text{з.в.}}$  – концентрация загрязняющих веществ,  $\text{мг/дм}^3$

Расход по каждому загрязняющему веществу на входе в существующие аэротенки:

$$Q_{\text{взвеш.вещ-ва}}^{\text{ВХ}} = 36 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,150 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{аммоний-ион}}^{\text{ВХ}} = 10,1 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,042 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{нитрит-ион}}^{\text{ВХ}} = 0,20 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,0009 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{нитрат-ион}}^{\text{ВХ}} = 0,63 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,003 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{фосфаты}}^{\text{ВХ}} = 2,1 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,0087 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{хлориды}}^{\text{ВХ}} = 34,34 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,143 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{БПК}_{\text{полн}}}^{\text{ВХ}} = 56 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,233 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{АПав}}^{\text{ВХ}} = 0,03 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,00012 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{нефтепродукты}}^{\text{ВХ}} = 0,044 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,00018 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{сульфаты}}^{\text{ВХ}} = 28,5 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,119 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{железо общ.}}^{\text{ВХ}} = 4,1 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,017 \text{ кг/ч}$$

Расход по каждому загрязняющему веществу на выходе из действующих аэротенков:

$$Q_{\text{взвеш.вещ-ва}}^{\text{ВЫХ}} = 8,04 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,029 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{аммоний-ион}}^{\text{ВЫХ}} = 1,43 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,006 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{нитрит-ион}}^{\text{ВЫХ}} = 0,067 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,0003 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{нитрат-ион}}^{\text{ВЫХ}} = 6,04 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,025 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{фосфаты}}^{\text{ВЫХ}} = 0,18 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,0007 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{хлориды}}^{\text{ВЫХ}} = 30,96 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,129 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{БПК}_{\text{полн}}}^{\text{ВЫХ}} = 5,84 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,024 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{АПав}}^{\text{ВЫХ}} = 0,018 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,00007 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{нефтепродукты}}^{\text{ВЫХ}} = 0,031 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,00013 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{сульфаты}}^{\text{ВЫХ}} = 25,63 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,107 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{железо общ.}}^{\text{ВЫХ}} = 0,235 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,001 \text{ кг/ч}$$

Расход загрязняющих веществ на выходе из аэротенков после

оптимизации определим аналогичным образом по формуле (28), получим расход по каждому загрязняющему веществу:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{взвеш.вещ-ва}}^{\text{ВЫХ}} &= 7,01 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,029 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{аммоний-ион}}^{\text{ВЫХ}} &= 0,71 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,003 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{нитрит-ион}}^{\text{ВЫХ}} &= 0,053 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,0002 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{нитрат-ион}}^{\text{ВЫХ}} &= 6,04 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,025 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{фосфаты}}^{\text{ВЫХ}} &= 0,175 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,001 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{хлориды}}^{\text{ВЫХ}} &= 30,96 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,129 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{БПК}_{\text{полн}}}^{\text{ВЫХ}} &= 5,50 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,023 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{АПАВ}}^{\text{ВЫХ}} &= 0,018 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,0001 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{нефтепродукты}}^{\text{ВЫХ}} &= 0,031 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,0001 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{сульфаты}}^{\text{ВЫХ}} &= 24,51 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,102 \text{ кг/ч} \\
 Q_{\text{железо общ.}}^{\text{ВЫХ}} &= 0,123 \cdot 4160 \cdot 10^{-6} = 0,001 \text{ кг/ч}
 \end{aligned}$$

Определим прирост активного ила  $P_i$  в действующих аэротенках по формуле (29):

$$P_i = \sum Q_{\text{з.в.}}^{\text{ВХ}} - \sum Q_{\text{з.в.}}^{\text{ВЫХ}} \quad (29)$$

где  $\sum Q_{\text{з.в.}}^{\text{ВХ}}$  – суммарное содержание загрязняющих веществ на входе в аэротенк, кг/ч;

$\sum Q_{\text{з.в.}}^{\text{ВЫХ}}$  – суммарное содержание загрязняющих веществ на выходе из аэротенка, кг/ч.

Прирост активного ила  $P_i$  существующих аэротенков составит:

$$P_i = 0,716 - 0,326 = 0,394 \text{ кг/ч}$$

Прирост активного ила  $P_i$  аэротенков после оптимизации:

$$P_i = 0,716 - 0,313 = 0,403 \text{ кг/ч}$$

Определим общее количество сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, которые поступают на вход в аэротенки по формуле (30):

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{ст.в.}} + \sum Q_{\text{з.в.}} + Q_{\text{и.ц.}} \quad (30)$$
$$Q_{\text{общ}}^{\text{вх}} = 4160 + 0,716 + 1633,153 = 5793,869 \text{ кг/ч}$$

Аналогично по формуле (30) определим количество сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, на выходе их действующих аэротенков, а также аэротенков после оптимизации:

$$Q_{\text{общ}}^{\text{вых}} = 4160 + 0,322 + 1633,547 = 5793,869 \text{ кг/ч}$$
$$Q_{\text{общ}}^{\text{вых}} = 4160 + 0,313 + 1633,566 = 5793,869 \text{ кг/ч}$$

Принимаем расход  $Q_{\text{общ}}$  за 100 %, исходя из этого процентное соотношение воды сточной на входе и на выходе определим по формуле (31):

$$Q_{\text{ст.в.}\%} = \frac{Q_{\text{ст.в.}}}{Q_{\text{общ}}} \cdot 100\% \quad (31)$$
$$Q_{\text{ст.в.}\%} = \frac{4160}{5793,869} \cdot 100 = 71,800 \%$$

Рассчитаем процентное соотношение активного ила (по сухому остатку) на входе в аэротенки по формуле (32):



$$Q_{\text{и.сух.}\%} = \frac{Q_{\text{и.ц.}}}{Q_{\text{общ}}} \cdot 100\% \quad (32)$$

$$Q_{\text{и.сух.}\%}^{\text{ВХ}} = \frac{5,716}{5793,869} \cdot 100 = 0,09866 \%$$

Соотношение активного ила на выходе из очистных сооружений также определим по формуле (32), для существующих аэротенков и аэротенков после оптимизации  $Q_{\text{и.сух.}\%}^{\text{ВЫХ}}$  будет одинаковым:

$$Q_{\text{и.сух.}\%}^{\text{ВЫХ}} = \frac{5,717}{5793,869} \cdot 100 = 0,09868 \%$$

Процентное соотношение всех загрязняющих веществ на входе определим по формуле (33):

$$Q_{\text{з.в.}\%} = \frac{Q_{\text{з.в.}}}{Q_{\text{общ}}} \cdot 100\% \quad (33)$$

Процентное соотношение по каждому загрязняющему веществу на входе в аэротенки:

$$Q_{\text{взвеш.вещ-ва}\%}^{\text{ВХ}} = \frac{0,150}{5793,869} = 0,00258 \%$$

$$Q_{\text{аммоний-ион}\%}^{\text{ВХ}} = \frac{0,042}{5793,869} = 0,00073 \%$$

$$Q_{\text{нитрит-ион}\%}^{\text{ВХ}} = \frac{0,0009}{5793,869} = 0,000015 \%$$

$$Q_{\text{нитрат-ион}\%}^{\text{ВХ}} = \frac{0,003}{5793,869} = 0,00004 \%$$

$$Q_{\text{фосфаты}\%}^{\text{ВХ}} = \frac{0,0087}{5793,869} = 0,00015 \%$$

$$Q_{\text{хлориды}}^{\text{ВХ}}\% = \frac{0,143}{5793,869} = 0,00247 \%$$

$$Q_{\text{БПК}_{\text{полн}}}^{\text{ВХ}}\% = \frac{0,233}{5793,869} = 0,00402 \%$$

$$Q_{\text{АПав}}^{\text{ВХ}}\% = \frac{0,00012}{5793,869} = 0,000002 \%$$

$$Q_{\text{нефтепродукты}}^{\text{ВХ}}\% = \frac{0,00018}{5793,869} = 0,000003 \%$$

$$Q_{\text{сульфаты}}^{\text{ВХ}}\% = \frac{0,119}{5793,869} = 0,00205 \%$$

$$Q_{\text{железо общ.}}^{\text{ВХ}}\% = \frac{0,107}{5793,869} = 0,00029 \%$$

Процентное соотношение по каждому загрязняющему веществу на выходе из действующих аэротенков:

$$Q_{\text{взвеш.вещ-ва}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,033}{5793,869} = 0,00180 \%$$

$$Q_{\text{аммоний-ион}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,006}{5793,869} = 0,00010 \%$$

$$Q_{\text{нитрит-ион}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,0003}{5793,869} = 0,000005 \%$$

$$Q_{\text{нитрат-ион}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,025}{5793,869} = 0,00043 \%$$

$$Q_{\text{фосфаты}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,0007}{5793,869} = 0,00001 \%$$

$$Q_{\text{хлориды}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,129}{5793,869} = 0,00222 \%$$

$$Q_{\text{БПК}_{\text{полн}}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,024}{5793,869} = 0,00042 \%$$

$$Q_{\text{АПав}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,00007}{5793,869} = 0,000001 \%$$

$$Q_{\text{нефтепродукты}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,0013}{5793,869} = 0,000002 \%$$

$$Q_{\text{сульфаты}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,107}{5793,869} = 0,00184\%$$

$$Q_{\text{железо общ.}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,001}{5793,869} = 0,00002\%$$

Процентное соотношение по каждому загрязняющему веществу на выходе из аэротенков после оптимизации:

$$Q_{\text{взвеш.вещ-ва}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,029}{5793,869} = 0,00051\%$$

$$Q_{\text{аммоний-ион}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,003}{5793,869} = 0,00005\%$$

$$Q_{\text{нитрит-ион}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,0002}{5793,869} = 0,000004\%$$

$$Q_{\text{нитрат-ион}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,025}{5793,869} = 0,00043\%$$

$$Q_{\text{фосфаты}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,001}{5793,869} = 0,00001\%$$

$$Q_{\text{хлориды}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,129}{5793,869} = 0,00222\%$$

$$Q_{\text{БПК}_{\text{полн}}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,023}{5793,869} = 0,00039\%$$

$$Q_{\text{АПав}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,0001}{5793,869} = 0,0000013\%$$

$$Q_{\text{нефтепродукты}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,0001}{5793,869} = 0,000002\%$$

$$Q_{\text{сульфаты}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,102}{5793,869} = 0,00176\%$$

$$Q_{\text{железо общ.}}^{\text{ВЫХ}}\% = \frac{0,001}{5793,869} = 0,00001\%$$

Материальный баланс аэротенков представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Материальный баланс аэротенков

	На входе в аэротенк		На выходе из аэротенка		На выходе из аэротенка после оптимизации	
	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%
Вода сточная	4160	71,800	4160	71,800	4160	71,800
Вода, поступающая вместе с циркулирующим илом	1627,437	28,089	1627,825	28,096	1633,556	28,195
Активный ил	5,716	0,09866	5,717	0,09868	5,717	0,0987
Взвешенные вещества	0,150	0,00258	0,033	0,00180	0,029	0,00051
Аммиак и аммоний-ион (по N)	0,042	0,00073	0,006	0,00010	0,003	0,00005
Нитрит-ион	0,0009	0,000015	0,0003	0,000005	0,0002	0,000004
Нитрат-ион	0,003	0,00004	0,025	0,00043	0,025	0,00043
Фосфаты (по фосфору)	0,0087	0,00015	0,0007	0,00001	0,001	0,00001
Хлориды	0,143	0,00247	0,129	0,00222	0,129	0,00222
БПК <sub>полн</sub>	0,233	0,00402	0,024	0,00042	0,023	0,00039
АПАВ	0,00012	0,000002	0,00007	0,000001	0,0001	0,0000013
Нефтепродукты	0,00018	0,000003	0,00013	0,000002	0,0001	0,000002
Сульфаты	0,119	0,00205	0,107	0,00184	0,102	0,00176
Железо общее	0,017	0,00029	0,001	0,00002	0,001	0,00001
Итого	5793,869	100	5793,869	100	5793,869	100

## 2.7 Улучшение качества сточных вод после оптимизации

Рассчитаем уменьшение количества всех загрязняющих веществ в стоках по формуле (34):

$$Y_{з.в.} = 100\% - \frac{Q_{з.в. \text{ после опт.}}}{Q_{з.в.}} \cdot 100\% \quad (34)$$

Уменьшение количества загрязняющих веществ в стоках до и после оптимизации работы аэротенков приведено в таблице 10.

Таблица 10 – Уменьшение количества загрязняющих веществ в стоках после оптимизации работы аэротенков

Наименование	Уменьшение количества ЗВ, %
Аммиак и аммоний-ион (по N)	50,56
Нитрит-ион	20,05
БПК <sub>полн</sub>	5,74
Сульфаты	4,37
Железо общее	47,66
Общее	2,97

Выводы по второму разделу: во втором разделе проведен патентно-информационный поиск существующих решений, направленных на увеличение эффективности очистки аэротенков. Предложено конструктивное решение установки дополнительно линии аэрации.

Для количественной оценки эффективности предложенного решения, произведен расчет основных параметров аэрационной системы по секциям аэротенка. Проведена предварительная оценка увеличения эффективности очистки очистных сооружений. Проведен расчет материального баланса аэротенков, расчет уменьшения количества загрязняющих веществ в очищенных сточных водах после оптимизации работы аэротенков.

Установка дополнительной линии аэрации позволяет увеличить интенсивность аэрации с  $8,09 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  до  $11,01 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , а концентрацию растворенного кислорода в сточной воде – с  $2 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$  до  $4 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ . Помимо этого, дополнительный аэратор позволит устранить зоны застоя ила.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены все поставленные задачи. Проведенный анализ технологической схемы очистных сооружений, показателей качества очистки сточных вод позволили определить основное направление для повышения эффективности очистки – оптимизация аэрационной составляющей аэротенков биологической очистки. Определен видовой состав активного ила, который позволил установить нарушения биоценоза микроорганизмов активного ила, связанное с недостатком растворенного кислорода в сточных водах. Проведен расчет основных характеристик протекания биологической очистки в аэротенках (период аэрации, нагрузка по БПК<sub>полн</sub>, степень рециркуляции активного ила, средняя интенсивность аэрации), что позволило сделать вывод о необходимости увеличения интенсивности аэрации.

Проведен патентно-информационный поиск решений, направленных на увеличение эффективности очистки аэротенков. Предложено конструктивное решение установки дополнительно линии аэрации. Для количественной оценки эффективности предложенного решения, произведен расчет основных параметров аэрационной системы по секциям аэротенка. Проведена предварительная оценка увеличения эффективности очистки очистных сооружений. Проведен расчет материального баланса аэротенков, расчет уменьшения количества загрязняющих веществ в очищенных сточных водах после оптимизации работы аэротенков.

Установка дополнительной линии аэрации позволяет увеличить интенсивность аэрации с  $8,09 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  до  $11,01 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , а концентрацию растворенного кислорода в сточной воде – с  $2 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$  до  $4 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$ . Помимо этого, дополнительный аэратор позволит устранить зоны застоя ила.

Увеличение интенсивности аэрации способствует замещению в активном иле микроаэрофилов аэрофилами, что приводит к значительному повышению качества очистки, улучшению седиментационных характеристик

активного ила, снижению его влажности, сокращению его прироста, повышению уровня метаболизма и устойчивости микрофлоры ила к воздействию токсических веществ.

Предлагаемое решение позволит улучшить качество стоков за счет увеличения интенсивности аэрации в 1,4 раза, увеличения концентрации растворенного кислорода в сточной воде – в 2 раза, устранения зон застоя ила. В результате мероприятий по оптимизации количество сбрасываемых загрязняющих веществ уменьшится на 2,97 %, из которых:

- аммиак и аммоний-ион (по N) – 50,56 %;
- нитрит-ион – 20,05 %;
- БПК<sub>полн</sub> – 5,74 %;
- сульфаты – 4,37 %;
- железо общее – 47,66 %.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Аверина Ю.М. Интенсификация процесса аэрации при удалении ионов железа из воды: дисс. ... канд. тех. наук: М.: 2015. 157 с.
2. Анциферов, А. В. Повышение эффективности очистки сточных вод промышленных предприятий на биологических очистных сооружениях // Водочистка. 2018. № 3. С. 29-35.
3. Богданович Н. И. Процессы и аппараты очистки сточных вод: учебное пособие. Архангельск: САФУ, 2018. 115 с. ISBN 978-5-261-01282-5. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/161825> (дата обращения: 30.10.2022).
4. Брагинский Л.Н. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод Л.: Химия, 1980. 144 с.
5. Гогина Е.С., Гульшин И.А. Удаление азота в модели циркуляционного окислительного канала при пониженном содержании органики в сточных водах // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 12. С. 26-33.
6. Гогина Е.С., Гульшин И.А. Моделирование энергоэффективного процесса биологической очистки сточных вод в циркуляционном окислительном канале // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 9. С. 42-48.
7. ГОСТ 25150-82 Канализация. Термины и определения. утв. постановлением №805 от 24.02.1982 // Консультант плюс: справочно-правовая система
8. Гудков А.Г. Проектирование малых очистных сооружений канализации с искусственной биологической очисткой: Учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2000. 60 с.
9. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: Изд-во ООО «АКВА-РОС», 2003. 512 с.



10. Зайцева И.С., Зайцева Н.А., Воронина А.С. Методы интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках // Вестник КузГТУ. 2010. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-intensifikatsii-biologicheskoy-ochistki-stochnyh-vod-v-aerotenkah> (дата обращения: 17.10.2022).

11. Залётова Н. А. Опыт эксплуатации очистных сооружений с применением двухступенчатой схемы нитри-денитрификации // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 11. С. 33-38

12. Зверева С.М., Бартова Л.В. Развитие технологии очистки сточных вод малых населенных пунктов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2017. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-tehnologii-ochistki-stochnyh-vod-malyh-naseleennyh-punktov> (дата обращения: 16.10.2022)

13. Злобина Н.Н., Костоглот А.П. Влияние температуры сточной воды на эффективность биологической очистки в аэротенках // Российский инженер. 2017. № 3(9) 2017. С. 29-36.

14. Зуева С. Б., Зарцына С. С., Щербаков В. И. Экозащитные технологии систем водоотведения предприятий пищевой промышленности: Учебное пособие. СПб: Проспект Науки, 2018. 328 с.

15. Молчанов И.П., Родзиллер И.Д., Жук Е.Г Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных мест: в условиях Крайнего Севера. Ленинград: Стройиздат, 1991. 160 с

16. Казаков В.Д., Пельменева Н.Д. Исследование гидродинамики циркуляционных потоков жидкости в аэротенке, возникающих под действием аэрирующих систем // Вестник ИрГТУ. 2010. №2 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gidrodinamiki-tsirkulyatsionnyh-potokov-zhidkosti-v-aerotenke-voznikayuschih-pod-deystviem-aeriruyuschih-sistem> (дата обращения: 21.10.2022).

17. Каратаев О.Р., Шамсутдинова З.Р., Хафизов И.И. Очистка сточных вод биологическими методами// Вестник Казанского технологического университета. 2015. №22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-stochnyh-vod-elektrohimicheskimi-metodami> (дата обращения: 05.10.2022).

18. Кирсанов В. В. Определение средней нагрузки на активный ил в биотехнологиях для очистки производственных сточных вод, характеризующихся нестабильной концентрацией загрязнений // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-sredney-nagruzki-na-aktivnyy-yl-v-biotehnologiyah-dlya-ochistki-proizvodstvennyh-stochnyh-vod-harakterizuyuschih-sya> (дата обращения: 23.09.2022).

19. Кирсанов В. В. Влияние температуры в аэротенках на эффективность биоочистки основных ингредиентов промышленных сточных вод химического предприятия // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №24. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-temperatury-v-aerotenkah-na-effektivnost-bioochistki-osnovnyh-ingredientov-promyshlennyh-stochnyh-vod-himicheskogo> (дата обращения: 25.09.2022).

20. Кузнецов А. Е., Градова Н. Б., Лушников С. В. Прикладная экобиотехнология: учебное пособие. М. Энгельхарт; 4-е изд. Москва: Лаборатория знаний, 2020. 1164 с. ISBN 978-5-00101-849-0. Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/152034> (дата обращения: 26.09.2022).

21. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.

22. Маскалева С.Е., Большаков Н.Ю. Математическое моделирование и внедрение эффективных биотехнологий очистки от азота и фосфора на действующих очистных сооружениях канализации // Экология. 2020. № 4. С. 56-59.

23. НПО «Экологические инновационные разработки». URL: <https://www.pro-eir.ru> (дата обращения: 16.10.2022)

24. Остроух Д.Е., Килиди А. И, Дегтярева Е.В. Анализ устройства аэротенков на различных предприятиях // Новая наука: проблемы и перспективы: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции в 3 ч. Стерлитамак: АМИ, 2016. С.218-212.

25. Очистка сточных вод. Методика определения основных технологических параметров сооружений систем водоснабжения и водоотведения, очистки сточных вод и обработки осадка «ООО «ТК Группа»  
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118114?ysclid=lam9jlkoy6852653274&section=status> (дата обращения: 22.10.2022)

26. Павлинова И.И. Технологическое моделирование управляемого процесса аэробной биологической очистки сточных вод: дисс. ... д-ра тех. наук: Павлинова Ирина Игоревна. М.: 2006. 461 с.

27. Павлова И.В., Постникова И.Н., Исаков И.В., Преснякова Д.А. Исследование и оптимизация процесса биологической очистки сточных вод по результатам математического и опытно-эксплуатационного моделирования // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2015. №1 (12). URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-i-optimizatsiya-protsessa-biologicheskoy-ochistki-stochnyh-vod-po-rezultatam-matematicheskogo-i-opytно](https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-i-optimizatsiya-protsessa-biologicheskoy-ochistki-stochnyh-vod-po-rezultatam-matematicheskogo-i-opytно-ekspluatatsionного-modelirovaniya) (дата обращения: 16.10.2022).

28. Патент РФ94028293/1 Российская Федерация, МПК C02F 3/34, C02F 3/12. Способ подавления бактериального нитчатого вспухания активного ила / Жмур Н.С., Лапшин О.М.: заявитель и патентообладатель; опубл. 27.07.1994. 4 с.

29. Патент RU2264355C2 Российская Федерация, МПК C02F3/30. Способ аэрации в аэротенке системы очистки сточных вод / Кармазинов Ф.В., Крючихин Е.М., Николаев А.Н., Пробирский М. Д., Трухин Ю.А., Чернов В.Б.: заявитель и патентообладатель; опубл. 20.11.2005. 4 с.

30. Патент RU2270174C2 Российская Федерация, МПК C02F 3/18, C02F 7/00, B01F 13/02. Аэратор / Гурвич Г.А., Романцов В.П., Булгаков Б.Б., Булгаков А.Б.: заявитель и патентообладатель; опубл. 20.02.2006. 5 с.

31. Патент RU203043U1 Российская Федерация, МПК B01F 3/04. Аэратор полного растворения / Бахарева А.В.: заявитель и патентообладатель; опубл. 19.03.2021. 3 с.

32. Патент RU2118298C1 Российская Федерация, МПК C02F3/20. Система аэрации / Михайлов В.К., Минабутдинов А.С., Михайлов А.В., Политковский И.В., Мешенгиссер Ю.М., Галич Р.А., Марченко Ю.Г.: заявитель и патентообладатель; опубл. 27.08.1998. 3 с.

33. Попкович Г.С., Репин Б.Н. Системы аэрации сточных вод. М.: Стройиздат, 1986. 136 с.

34. РД 39-1.13-037-2001 Методическое пособие по гидробиологическому, химико-аналитическому и технологическому контролю на сооружениях биологической очистки сточных вод газовой отрасли. М.: ИРЦ Газпром. 2001. 178 с.

35. Сидорова Л.П., Снигирева А.Н. Очистка сточных и промышленных вод. Часть II. Биологическая очистка. Активный ил. Оборудование. Екатеринбург, 2017. 126 с.

36. Скорикова Е.Н. Интенсификация метода биологической очистки (обзор) // Российский инженер. 2016. № 2(5) 2016. С. 46-46.

37. Соколов М.П. Очистка сточных вод: Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 280201.65 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» Набережные Челны: КамПИ, 2005, 213 с.

38. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85. введ 01.01.1986. М. Стандартинформ. 2019. 76 с.

39. Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85 Проектирование сооружений для очистки сточных вод. М.: Стройиздат, 1990. 87 с.

40. Строганова М.С. Моделирование процессов биохимического окисления сточных вод сульфат-целлюлозного производства: дисс. ... канд. тех. наук: СПб: 2022. 189 с.

41. Технический отчет по режимно-наладочным испытаниям установки глубокой биологической очистки бытовых сточных вод ДЕКО-СВ-100 КС-00 Ново-Уренгойского ЛПУМГ ООО «Газпром трансгаз Сургут». 2016. 35 с.

42. Технологический регламент Станция биологической очистки

сточных вод СБОСВ-200 КС «Пуртазовская». 2004. 56 с.

43. Усынина А. Э., Панфилов Е. А. Интенсификация работы аэротенка за счет совершенствования распределительной системы подачи сточной воды // Яковлевские чтения: сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета «ВиВ» Москва: Издательство МИСИ, МГСУ, 2019. URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniyaotkrdostupa/> (дата обращения: 05.10.2022).

44. Шлёкова И. Ю., Кныш А. И. Очистка сточных вод: практикум: учебное пособие. Омск: Омский ГАУ, 2020. 86 с. ISBN 978-5-89764-916-7. Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/153576> (дата обращения: 05.10.2022).

45. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация Учебник для вузов. - Изд.5-е перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 632 с.

46. Abdel-Jawad M., Ebrahim S., Al-Tabtabaei M., Al-Shammari S. Advanced technologies for municipal wastewater purification: technical and economic assessment. Desalination. 1999. 124(1-3). P. 251-261.

47. Henze M., Gujer W., Mino T. Et al. Activated sludge model no. 3 // Water Science and Technology. 1999. № 39(1). P. 183-193.

48. Murthy S.N., Novak J.T., Haas R.D. Monitoring cations to predict and improve activated sludge settling properties of industrial wastewaters, Water Science and Technology. 1999. P.119-126.

49. Snchez O. Environmental engineering and activated sludge processes: models, methodologies, and applications. Oakville, ON; Waretown, NJ: Apple Academic Press. 2016. P. 354-355.

50. Wilen B.M., Nielsen P.H., Keiding K., Nielsen P.H. Influence of microbial activity on the stability of activated sludge flocs. Colloids and surfaces B: Biointerfaces. 2000. P.145-156.