

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

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

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка локальных очистных сооружений для очистки стоков предприятий
пищевой промышленности на примере ООО «Барыбинский молочной завод»

Обучающийся

С.С. Шевелев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.В. Чариков

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



Тольятти 2022



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнил студент: Шевелев С.С., группа ЭРТбп–1701а.

Тема бакалаврской работы: «Разработка локальных очистных сооружений для очистки стоков предприятий пищевой промышленности на примере ООО «Барыбинский молочной завод».

Целью работы является снижение антропогенной нагрузки от сточных вод предприятия ООО «Барыбинский молочный завод».

Актуальность работы связана с превышением в очищенных стоках предприятия БПК, ХПК.

Задачи:

- предложить оптимальное технологическое решение снижению концентраций загрязняющих веществ до ПДК;
- обосновать предлагаемое решение расчетами.

В первом разделе проанализирована технологическая схема очистных сооружений молочного комбината. Представлен качественный состав сточных вод предприятия за 2021 год. Представлена динамика показателей за последние 6 лет. Выявлены превышения по БПК, ХПК.

Во втором разделе представлено предлагаемое техническое решение. Проведен анализ типов используемых биореакторов. Дано обоснование выбора плоскостного биореактора. Подобран биоценоз для аэробной очистки. Определено влияние внешних факторов на окислительную мощность биомассы микроорганизмов. Проведено исследование типов насадок и выбрана оптимальная плоскостная загрузка отечественного происхождения. Освещены вопросы регенерации активного ила. Решение подтверждено конструктивным расчётом и расчетом материального баланса.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, двух разделов, заключения, списка из 35 использованных источников, в том числе 5 иностранных. Общий объем работы составляет 47 страниц машинописного текста, в том числе включает 9 рисунков, 5 таблиц.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ работы очистных сооружений предприятия.....	6
1.1 Общий обзор сточных вод молочной промышленности	6
1.2 Описание объекта исследования	9
1.3 Анализ технологической схемы очистки	10
2 Предложение по оптимизации очистных сооружений	16
2.1 Типы аэробных биореакторов	16
2.2 Типы биоценозов.....	17
2.3 Влияние внешних факторов на окислительную мощность биомассы микроорганизмов	22
2.4 Обоснование типа насадки.....	23
2.5 Предлагаемый биореактор	27
2.6 Конструктивный расчет	30
2.7 Материальный баланс биореактора	36
Заключение	42
Список используемых источников.....	43

Введение

«Ужесточение штрафных санкций, налагаемых на водопользователей за сброс недостаточно очищенных сточных вод в водный объект непременно приводит к усилению контроля за качеством сбрасываемых сточных вод промышленными предприятиями в городскую канализацию.

В настоящее время увеличение ассортимента молочной промышленности и наращивание производительности молокозаводов приводят к тому, что действующие очистные сооружения для очистки производственных сточных вод не справляются с повышенной нагрузкой» [21].

Для предприятий молочной промышленности характерно большое потребление пресной воды, которая используется для технологических процессов и для поддержания требуемого уровня гигиены и санитарии. На молочных предприятиях образуется большое количество сточных вод, сильно загрязненных органическими веществами – продуктами переработки животного сырья.

Технологические сточные воды характеризуются высокой загрязненностью биоразлагаемыми органическими веществами - жирами, белками и углеводами. Кроме того, в процессе производства продукции образуются сложные химические соединения, для удаления которых требуется специальное оборудование очистки.

«Молоко и молочные смеси являются сложными коллоидно-дисперсными соединениями, содержащими полисахариды и высокомолекулярные белковые соединения, а также соединения азота и фосфора, которые образуют соединения, усложняя этим очистку» [16]. Молочные заводы сбрасывают примерно 85% от всей потребляемой свежей воды. Концентрация взвешенных веществ колеблется в широких пределах и зависит, в основном, от ассортимента продукции, технологии производства и применяемого оборудования. В целом водопотребление молочных

предприятий составляет от 4,2 м³ до 7 м³ на 1 т перерабатываемого молока (минимальное суточное потребление воды составляет 100 м³, а максимальное - 2900 м³). Количество и состав сточных вод зависит от профиля производства, используемых технологий и составляет от 1,0 до 7,0 л на 1 л переработанного молока [9].

В бакалаврской работе рассматривается технологический процесс, реализуемый на очистных сооружениях предприятия ООО «Барыбинский молочный завод», который находится в Домодедовском районе Московской области.

Цель бакалаврской работы – повышение качества очистки сточных вод предприятия ООО «Барыбинский молочный завод».

Задачи:

- проанализировать технологическую схему очистки предприятия;
- выявить приоритетные загрязнители;
- предложить оптимальное техническое решение, направленное на повышение качества очистки;
- провести конструктивный расчет, расчет материального баланса.

1 Анализ работы очистных сооружений предприятия

1.1 Общий обзор сточных вод молочной промышленности

«Сточные воды на заводах молочной промышленности образуются при следующих технологических производствах: при восстановлении молока из сухого молока; при мойке оборудования - цистерн при приемке молока, мойке молокопроводов; при мойке насосов, тары, при охлаждении сырья и продуктов, в компрессорных установках; при использовании воды на хозяйственно-бытовые нужды предприятия» [18].

На предприятиях пищевой промышленности предъявляются наиболее высокие требования к гигиене и санитарии в производственных помещениях, высокие требования по очистке и мойке оборудования, поэтому вода и пар здесь используется на всех этапах производства и во всех цехах.

Существуют на молочном производстве теплообменные сточные воды. Это воды, образующиеся при производственном процессе в пастеризаторах, охладителях и емкостях, используемых при охлаждении сырья и готовой продукции. Вода образуется при конденсации пара на стенках оборудования и стекает по сливным трубопроводам в водосборники.

«Стоки предприятий, содержащие остатки животного происхождения, плохо фильтруются, быстро закисают, загнивают, выделяя сильные неприятные запахи, повышенная концентрация их вызывает необратимое загрязнение окружающей среды, угрожая здоровью людей. При сбросе таких неочищенных сточных вод в водоемы ухудшаются свойства воды, так как снижается содержание в ней кислорода, ведущее при определенных условиях к гибели рыб и планктона» [3].

Жиры скапливаются на стенках труб, тем самым утолщая стенки труб и прохождение сточной воды задерживается. В случае закупорки жирами трубопровода предприятие вынуждено останавливать работу производства для проведения профилактического ремонта (чистки трубопровода).

Также на состав стоков влияет обеспечение качественного ведения процесса производства, при образовании значительного объема неликвидного продукта и его последующем сбросе на станцию очистки концентрации загрязнений увеличатся в несколько раз, что может вызвать снижение эффективности работы станции очистки сточных вод

«Рассмотрим наиболее типичный производственный процесс по переработке молока и характер образующихся сточных вод.

Наиболее загрязненные производственные сточные воды поступают от таких цехов, как консервный, цельномолочный, цех заменителей цельного молока, а также площадки мойки машин по перевозке молока. Потоки на предприятиях молочной промышленности условно можно разделить на высококонцентрированные, поступающие от цельномолочного, консервного цехов и цеха ЗЦМ, и слабоконцентрированные – от мойки машин и оборудования, котельной, гаражей» [21].

В связи с этим применяются различные технологические решения очистки: локальная очистка для первой группы и полный цикл очистки – для второй.

Основные показатели промышленных стоков молокозаводов:

«Удельный расход воды в технологиях обработки молока составляет от 3,5 до 5 м³ на тонну продукции. При увеличении мощности молокозавода удельное водопотребление снижается, однако сточные воды становятся более насыщенными загрязняющими веществами.

Как показывает практический опыт и следует из технологических нормативов водоотведения, при обработке 1 тонны молока образуются сточные воды, общую степень загрязненности которых можно оценить по ХПК равному 10-15 кг. Реальные показатели загрязнения воды получают после анализа конкретного производства, исходя из ассортимента молочной продукции.

В зависимости от загрузки мощностей молокозавода коэффициент часовой неравномерности стоков (отношение максимального к среднему часовому расходу) составляет 1,5-2,5.

Степень загрязнения стоков органическими веществами характеризует величина ХПК, которая при мойке оборудования молочных производств возрастает до значений 1400–3000 мг/л. Аварийные сбросы продукта в сеть водоотведения еще больше увеличивают ХПК стоков – до 10000 мг/л» [25].

«Залповый аварийный спуск разных видов молочных продуктов изменяет показатель БПК₅ сточных вод в следующих пределах:

- сливки жирностью 40% — до 450 мг О₂/л;
- цельное молоко жирностью 4% — до 125 мг О₂/л;
- обезжиренное молоко жирностью 0,05% — до 75 мг О₂/л;
- молочная сыворотка жирностью 0,05%— до 40 мг О₂/л.

Учитывая ассортимент конкретного молочного завода, определяют соотношение ХПК/БПК₅, которое может составлять от 1,2 до 1,55. Этот коэффициент рассчитывается при лабораторном исследовании реальной сточной воды, либо принимается среднее значение — 1,45» [25].

Если в ассортименте продукции молочного завода есть сухое молоко или казеин, отношение ХПК/БПК₅ сточной воды может возрастать до 2,15.

Содержание жира в сточной воде молочных производств составляет 100–200 мг/л. В стоках могут быть органические взвеси — коагулированный белок и йогуртовые наполнители, чье общее содержание может достигать 2000 мг/л. Содержание жиров определяется в основном ассортиментом продукции и технологией производства.

«Для промывки технологического оборудования могут использоваться органические кислоты или сода. В первом случае происходит быстрый гидролиз молочной органики, и кислотный показатель рН сточных вод снижается до 2-3. При обработке содой стоки становятся щелочными — с рН равным 9-11» [11].

БПК, ХПК

«По сравнению с другими пищевыми производствами на молочных предприятиях самые высокие значения БПК - от 1100 до 2500 мг/л» [14].

Величина ХПК колеблется в пределах 1300-2900 мг/л. Это означает содержание большого количества органических соединений, окисляемых биологическим путем.

«В общем случае показатели загрязнений по ХПК, БПК, взвешенным веществам и хлоридам для сыродельных заводов в 1,5-2 раза выше, чем для заводов по переработке молока. Это следует учитывать при подборе очистного оборудования и проектировании схем» [15].

Хлориды

«Наличие хлоридов в сточных водах молочных заводов обусловлено применением в производстве поваренной соли, попаданием в канализацию охлаждающих рассолов, присутствием хлоридов в свежей воде, молоке, моющих и дезинфицирующих растворах. Концентрация хлоридов в среднем составляет 150-200 мг/л» [25].

Азот

«Азот содержится в основном в виде аминокрупп белковых соединений. В небольших количествах в сток попадает азот аммонийных солей из аммиачных компрессоров. Содержание общего азота в сточных водах молочных комбинатов составляет 50-60 мг/л, сыродельных заводах 90 мг/л» [25].

1.2 Описание объекта исследования

Барыбинский молочный завод входит в агрохолдинг «Барыбино» и является старейшим молочным предприятием на территории Московской области.

«Основные типы сточных вод молокозаводов в процессе производства различных молочных продуктов:

- технические воды от продувки системы оборотного водоснабжения;
- бытовые сточные воды помещений персонала и администрации;
- поверхностные сточные воды с территории молокозавода;
- промышленные стоки от промывки и обеззараживания технологического оборудования и трубопроводов, сточные воды в результате мокрой уборки цеховых и вспомогательных помещений;
- аварийные спуски молочных продуктов и сыворотки» [21] .

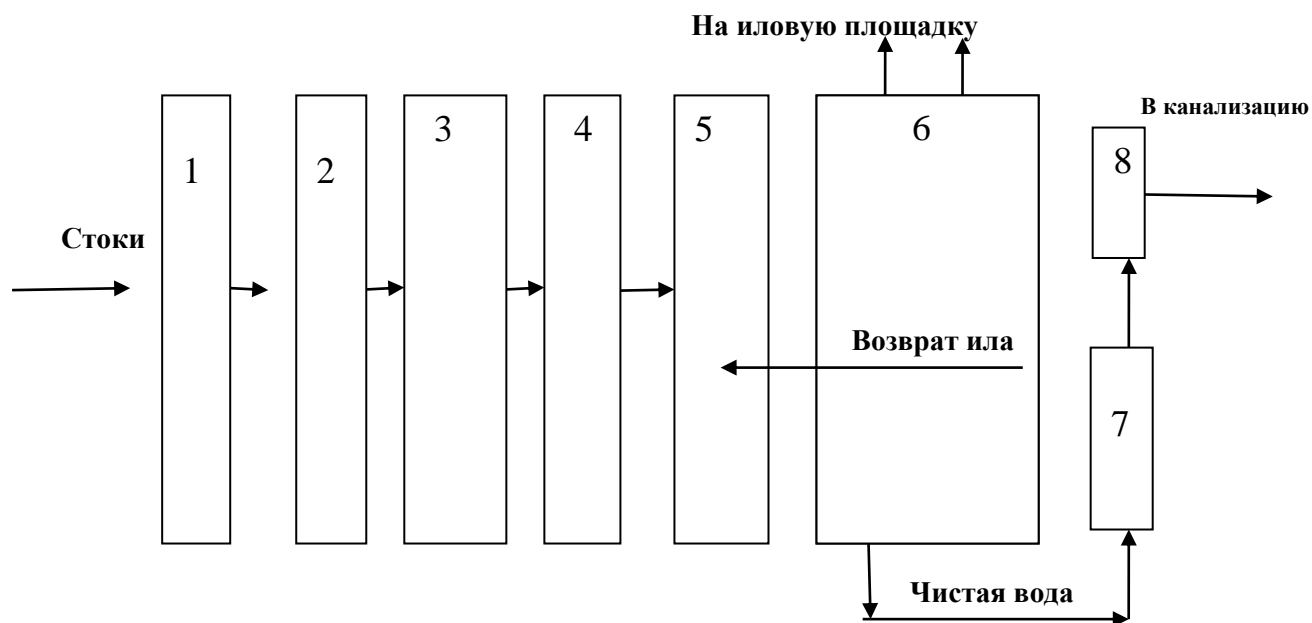
«Последние два из перечисленных типов сточных вод составляют до 90% от всего объема образующихся стоков и наиболее загрязнены органическими веществами» [21].

Производство молока относят к периодическим технологическим процессам. Учитывая этот факт, а также особенности эксплуатации оборудования, можно объяснить неравномерность по количественному и качественному составу стоков молочных производств. Только от одной периодической мойки оборудования содержание загрязняющих веществ в стоках может возрасти до четырех раз по сравнению со средними показателями.

Температура сточных вод составляет в среднем от 13 до 25°C. Зимой она колеблется и достигает значения от 12 до 17°C, летом – от 20 до 25 С [21]. Значение pH близко к нейтральному 6,5-7,0 в среднем. В цехах где вырабатываются кисломолочные продукты, то есть производство связано с брожением молока, pH принимает значения равное 6,0.

1.3 Анализ технологической схемы очистки

Очистные сооружения на Барыбинском молочном заводе схематично представлены на рисунке 1.



1-насосная, 2- камера гашения, 3- песколовка, 4- жируловитель, 5- аэротенк, 6- горизонтальный отстойник, 7- ультрафиолетовая станция, 8- контактный резервуар.

Рисунок 1 – Схема очистных сооружений завода

«Технологическая схема состоит из камеры гашения, песколовки жируловителя, аэротенка, отстойника и ультрафиолетовой станции» [26].

Сточная вода при помощи двух насосов марки КМ-150-125-250 подается в приемную камеру очистных сооружений, по-другому – камеру гашения. В камере гашения приток воды уменьшается. На выходе из резервуара камеры гашения установлена песколовка, задерживающая крупный мусор до 1,5 см, который застревает в решетке. Это первый этап очистки – физическая очистка. На предприятии установлена песколовка 2-х секционная с горизонтальным движением воды. Достоинством горизонтальной песколовки является простота конструкции.

Затем стоки поступают в жируловитель. В данной технологической схеме в жируловитель подается деэмульгатор, который способствует более полному отстаиванию жиров за счет разрушения водно-жировых эмульсий.

После жируловителя сточная вода поступает в аэротенк, представляющий собой резервуар, в котором медленно протекает процесс

перемешивания активного и органических загрязнений. Для обеспечения нормальной жизнедеятельности микроорганизмов в аэротенк непрерывно подается кислород. Аэротенк с продленной аэрацией состоит из двух секций, представляющий собой однокоридорный аэротенк-вытеснитель. Особое значение придается процессу непрерывной работы воздуходувки, подающей воздух.

Затем сточные воды поступают в отстойник, где происходит разделение активного ила и воды. Перекачка активного ила, осевшего на дно отстойника, осуществляется эйр-лифтами и на лотках подается обратно в аэротенк для дальнейшей работы, а избыточный ил сбрасывается на иловые площадки.

«Микроорганизмы активного ила являются показателем изменения состояния сточной воды» [2]. Изменение их количества указывает на нарушение в работе очистных сооружений. Наличие грибов и бактерий также указывает на плохую работу очистных сооружений. На предприятии ведется постоянный контроль за состоянием биоты активного ила. При уменьшении видового разнообразия и количества простейших микроорганизмов и при разрастании популяций грибов и бактерий в аэротенках наблюдается нехватка кислорода, а в результате разрушение белка.

Перегрузка очистных сооружений стоками, высокая концентрация органических соединений, нехватка азотных и фосфорных соединений ведет к развитию неблагоприятной микрофлоры.

После всех этапов очистки вода поступает на этап ультрафиолетового обеззараживания и уже затем идет на выпуск. Это высокоэффективный метод дезинфекции без применения химических реагентов или термической обработки. Излучение с длиной волны в пределах 200-305 нм уничтожает болезнетворные бактериальные культуры, вирусы и грибки. Преимуществами ультрафиолетового обеззараживания является независимость процесса от состава воды и сохранение этого состава после ультрафиолетовой обработки.

Состав стоков предприятия ООО «Барыбинский молочный завод» приведен в таблице 1. Уровень ПДК оценивался по СанПин 2.1.4. 1074-01.

Таблица 1 - Качественный состав сточных вод предприятия за 2021 год

Показатель	Сточные воды		
	ПДК, мг/л	До очистки, мг/л	После очистки, мг/л
БПК	300	2000,0	400,0
ХПК	200	1700,0	350,0
Взвешенные вещества	50	540	45,0
Жиры	50	100	40
Азот общий	0,5	60	0,3
Хлориды	300,0	350	270,0
Фосфор	0,03	6	0,02

Анализ данных таблицы 1 показывает превышение по БПК, ХПК, взвешенным веществам. Таким образом, производственные сточные воды молокоперерабатывающих предприятий можно отнести к группе стоков с высокой концентрацией органических загрязнений, представленных жирами, белками, углеводами.

Как результат данного мониторинга были построены графики, на которых видно, что сточные воды предприятия не соответствуют ПДК на протяжении нескольких лет, а значит эффективность работы очистных сооружений ООО «Барыбинский молочный завод» не соответствует норме.

Рассмотрим график по показателю БПК на рисунке 2.

Данный показатель указывает на количество кислорода, которое потребляют микроорганизмы, находящиеся в биоценозе активного ила. Норма БПК составляет 3мг/л для рыбохозяйственных водоемов [1]. Значение БПК на предприятиях молочной промышленности самое высокое по сравнению с другими пищевыми отраслями.

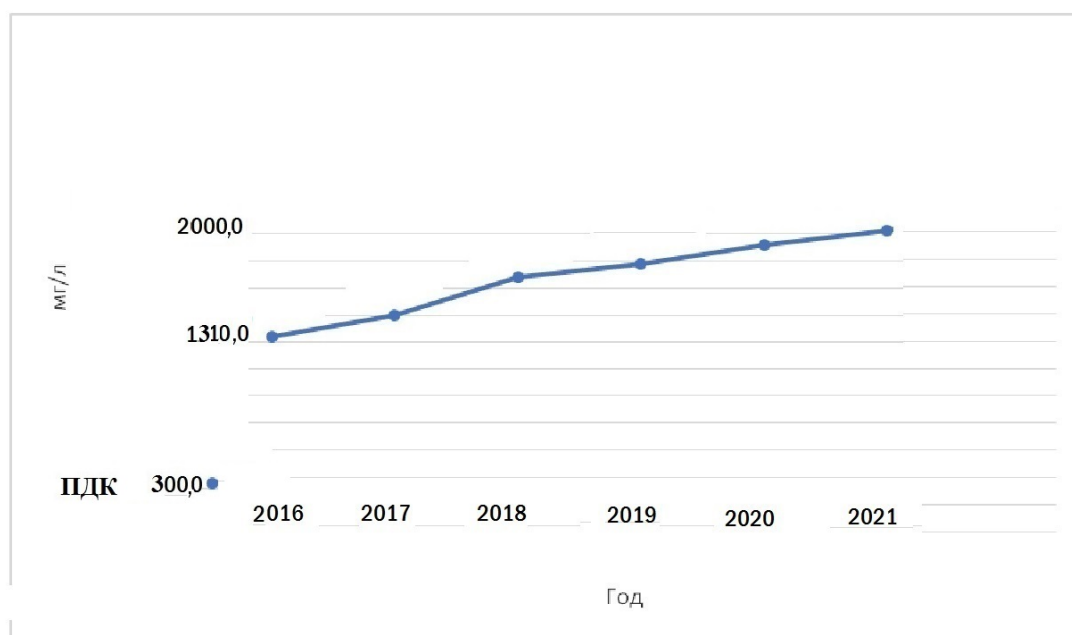


Рисунок 2– Динамика показателя BPK

На графике видно, что показатель BPK растет, это значит, что количество микроорганизмов, потребляющих кислород, растет.

Причина этого можно объяснить возросшим потреблением воды на производстве, в связи с его расширением и с увеличением выпуска молочной продукции.

Следующий показатель работы очистных сооружений – это показатель содержания органических веществ в сточной воде - химическое потребление кислорода – ХПК – рисунок 3. Данный показатель является одним из основных показателей степени загрязнения питьевых, природных сточных вод органическими соединениями.

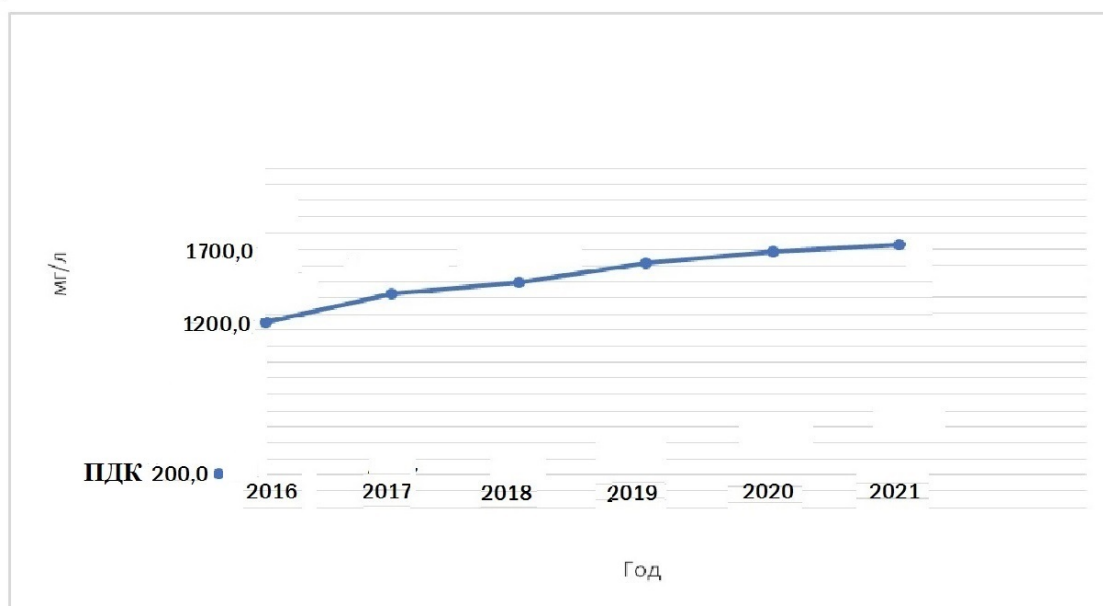


Рисунок 3– Динамика показателя ХПК

Оба эти показатели - БПК и ХПК зависят от технологического производственного процесса, от количества воды, потребляемой производством, а также от качества используемого активного ила.

Выводы: Была проанализирована существующая технологическая схема очистных сооружений ООО «Барыбинский молочный завод», состоящая из камеры гашения, песколовки жируловителя, аэротенка, отстойника и ультрафиолетовой станции. Представлен качественный состав сточных вод предприятия за 2021 год. Проанализировав динамику показателей за последние 6 лет, можно сделать вывод, что сточные воды предприятия не соответствуют нормам очистки по БПК, ХПК. Отсюда следует заключение, что очистные сооружения не полностью справляются со своей задачей, их работа малоэффективна. Необходимо разработать оптимальное, экономически выгодное техническое решение по снижению показателей БПК и ХПК для внедрения в систему очистки предприятия.

2 Предложение по оптимизации очистных сооружений

2.1 Типы аэробных биореакторов

По причине низкого показателя химического потребления кислорода (ХПК) (менее 3000 мг O₂/л) и низкой температуры сточных вод (<25°C) для очистки сточных выбирается аэробная очистка [2].

Биореакторы представляют собой аппараты, в которых осуществляется проведение химических процессов с использованием анаэробной и аэробной среды, при определенных параметрах температуры, давления и рН. «Производительность современных конструкций анаэробных биореакторов достигает 115-30 кг ХПК/м³ сут, что в 10-15 раз выше производительности аэротенков» [20]. Современные конструкции биореакторов весьма разнообразны.

«Возможно классификация биореакторов по следующим признакам:

- по подаче воздуха: аэробные, анаэробные, аэробно-анаэробные;
- по иммобилизации микроорганизмов в аппарате: с прикрепленными микроорганизмами на загрузке, с плавающей микрофлорой, комбинированные;
- по конструктивным особенностям: с прикрепленной насадкой, с вращающейся насадкой, с псевдооживленным слоем [18].

Традиционные технологии аэробной биологической очистки применительно к высококонцентрированным сточным водам имеют следующие существенные недостатки [18]:

- высокий расход электроэнергии на аэрацию;
- высокий прирост избыточной биомассы, обладающей плохими водоотдающими свойствами и требующей стабилизации;
- неустойчивость к залповым сбросам легкоокисляемых загрязнений и перерывам в подаче сточных вод.

Удержание биомассы в аппаратах производится с помощью внутренних специальных перегородок, либо с помощью иммобилизации на загрузочных материалах-носителях. В таблице 2 представлена сравнительная характеристика биореакторов.

Таблица 3 - Показатели биореакторов

Газлифтный	Газлифтный с механическими устройствами	С самовса сывающей мешалкой	Струйный	Шахтный	Пленочный
Скорость переноса кислорода, кг/(м ³ ч)					
1,1 - 4,0	4 - 7	7	0,4 - 0,7	1 - 3	10
Объемный коэффициент массоотдачи, ч ⁻¹					
200 - 450	450 - 1000	1000	100 - 150	250 - 400	1500 - 4000
Поверхностный коэффициент массоотдачи, м/с					
(1,3 - 5)·10 ⁻⁴	(5 - 6)·10 ⁻⁴	6·10 ⁻⁴	(0,4-0,7)·10 ⁻⁴	(1,5 - 4)·10 ⁻⁴	(2 - 5)·10 ⁻²
Концентрация редуцирующих веществ, кг/м ³					
8 - 30	30	30	8	30	100
Удельный расход воздуха, м ³ /кг					
30 - 50	34	29 - 43	10	19	0 - 50
Концентрация биомассы (АСВ), кг/м ³					
4 - 10,5	10	10	4	10	50 - 100
Коэффициент заполнения					
0,33	0,7	0,4	0,33	0,33	0,8
Удельный расход энергии, кВт·ч/кг					
0,8 - 1,75	2 - 3	3 - 4	0,4 - 0,5	0,6 - 0,7	0,6 - 1,4

2.2 Типы биоценозов

«Как известно, иммобилизованные биоценозы содержат во много раз больше простейших, а также более разнообразный видовой составы по сравнению с взвешенным илом. Биопленка захватывает флоккулы ила, таким образом обеспечивая прикрепленных простейших пищей. Биопленка так же является инкубатором свободно плавающих простейших, которые существенно улучшают седиментацию ила, осветление воды, удаление патогенных бактерий.

Установлено, что прикрепленные биоценозы поддерживают качество и количество бактериальной массы активного ила в пределах, обеспечивающих максимально эффективную очистку стока. Следовательно, отличительным

признаком предлагаемого метода является саморегуляция с предельно минимальным приростом ила.

Иммобилизация биоценозов на носителе позволяет поддерживать очень высокий возраст ила, который является главным лимитирующим фактором, обеспечивающим высокий эффект нитрификации.

Высокий возраст ила и многоступенчатость позволяет производить очистку стоков, содержащих трудно окисляемые соединения» [7].

«Свободноплавающий активный ил является сообществом, включающим гидробионты различных уровней питания. В активном иле находятся и гетеротрофы, утилизирующие органические вещества, и автотрофы, использующие для построения своей клетки углекислоту и биогенные элементы, и хищники, питающиеся бактериями. В каждой зоне очистной установки работают те гидробионты, для которых созданы благоприятные условия жизнедеятельности. В строго аэробных условиях благоприятны условия для жизнедеятельности нитрификаторов. Рециркуляцией очищаемой воды можно управлять потоками исходной и очищаемой воды и создавать смешанные потоки, в которых, например, для денитрификаторов будут в нужном соотношении и субстрат, и окислитель, и необходимые значения рН, температуры и другие важные факторы, влияющие на удельные скорости деструкции примесей сточных вод или в зоне нитрификации будет достаточное количество кислорода, буферной щелочности среды, чтобы не закислялась сгущаемая вода» [5].

«В аэробных биореакторах наряду с гетеротрофными существуют и хемолитотрофные бактерии. Для хемолитотрофных микроорганизмов источниками энергии служат восстановленные минеральные соединения азота, серы, железа. Такими микроорганизмами являются нитрифицирующие бактерии, железобактерии, бактерии, окисляющие соединения серы (тионовые бактерии). Автотрофные нитрифицирующие бактерии осуществляют важный в очистке сточных вод процесс окисления аммония и образования нитрита и нитрата. Они представлены двумя группами

облигатно аэробных бактерий. Большинство нитрификаторов являются облигатными автотрофами, для которых основным источником углерода служит углекислота» [11].

«Бионаселение активного ила и биопленки образует сложный биоценоз, представленный бактериями, простейшими, грибами, водорослями и некоторыми многоклеточными организмами, такими как коловратки, черви, личинки насекомых. Основную роль в процессах окисления органических и некоторых неорганических примесей сточных вод играют бактерии. Общее количество их в активном иле достигает 10^8 – 10^{14} клеток на 1 г сухого вещества. К числу самых распространенных видов бактерий относятся псевдомонады. В активном иле практически всегда присутствуют актиномицеты» [2].

«Из животного населения ила наиболее многочисленны простейшие, представленные двумя типами: саркомастигофорами и инфузориями. Роль простейших многопланова. Они питаются бактериями, поддерживая в иле бактериальное равновесие. Поедая, наряду с молодыми, старые клетки, простейшие обуславливают омоложение ила и развитие новых жизнеспособных клеток. Кроме того, высвобождается в воду дополнительное количество экзоферментов. Простейшие питаются также частицами исходных загрязнений, благодаря чему происходит дополнительное осветление воды. По численности простейших и их состоянию, определяемому по внешнему виду, можно судить об условиях работы очистного сооружения и намечать меры оперативного управления процессом. В иле аэротенка, который работает эффективно, обычно находят 10–15 видов простейших, достаточно равномерно представленных либо с незначительным преобладанием одного-двух видов. В таком иле редко обнаруживаются мелкие амёбы и жгутиковые, в основном развиваются разнообразные инфузии, но преобладают брюхоресничные и кругоресничные инфузии. Любое нарушение в работе биореактора приводит к снижению числа видов простейших, преобладанию одного или двух видов, к изменению размера и

подвижности организмов. Так, при недостатке в сооружении кислорода преимущественное развитие получают простейшие, способные существовать в условиях кислородного дефицита. Это в основном жгутиковые простейшие, из инфузорий развивается инфузория-туфелька» [7].

«Размножение бактерий можно грубо разделить на несколько фаз:

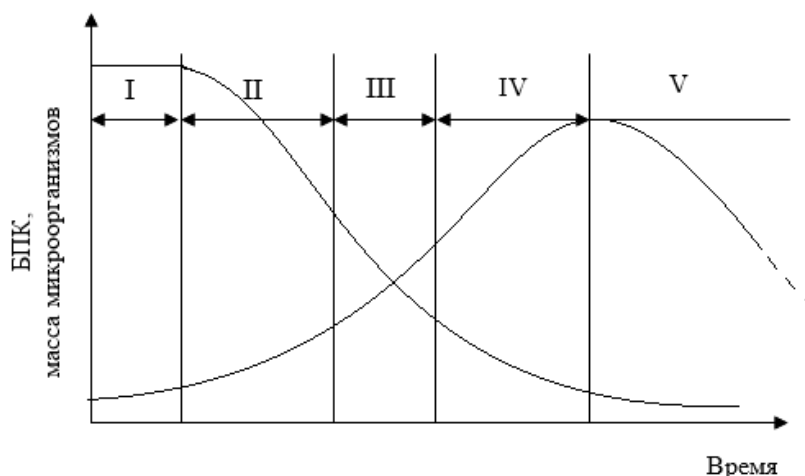
– фаза адаптации, когда бактерии приспосабливаются к новой среде и источнику питания. Количество бактериальных клеток не увеличивается, но перед первым делением бактериальная масса начинает расти.

– фаза логарифмического роста. Бактерии размножаются настолько быстро, насколько позволяют им скорость роста и способность к питанию.

– фаза стагнации (или фаза замедленного роста). Популяция бактерий остается постоянной, поскольку питание или какой-то иной отдельный фактор стал сдерживать ее рост.

– фаза гибели бактерий (или эндогенная фаза). Скорость гибели бактерий превышает скорость их роста по причине прекращения питания» [6].

Для описания роста микроорганизмов используется модель, которая разделена на 5 фаз. На рисунке 5 показана динамика БПК в каждой из фаз.



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

Рисунок 5 – Фазовая диаграмма роста микроорганизмов [25]

По рисунку 5 можно сделать вывод о том, что в первой фазе не наблюдается значительного прироста микроорганизмов. Это объясняется тем, что на данном этапе биомасса только начинает адаптироваться к загрязненной среде. Вторая фаза характеризуется экспоненциальным ростом микроорганизмов, где наблюдается максимальная скорость размножения клеток. В следующих фазах такой бурный рост имеет тенденцию к замедлению из-за постепенного истощения питательных веществ. Как только питательные вещества приближаются к балансу между накопленной биомассой, наступает четвертая фаза - фаза нулевого роста. Смещение такого баланса в сторону накопленной биомассы характеризуется фазой самоокисления, где количество отмирающих клеток становится больше роста новых.

При очистке сточных вод обычно имеют дело с гетерогенной и смешанной культурой [31].

«В состав активного ила входят:

- эуглифа (раковинные амёбы);
- арцелла (раковинные амёбы);
- инфузория туфелька;
- амёба протей;
- нитчатые бактерии;
- сосущая инфузория;
- политома (жгутиковые);
- коловратка нотоммата;
- хармонихилл (инфузория);
- кархезиум (колониальная инфузория);
- амёба террикола;
- бодо (жгутиковые);
- аспидиска (брюхоресничная);
- эплотес (брюхоресничные инфузории)» [12].

2.3 Влияние внешних факторов на окислительную мощность биомассы микроорганизмов

Важнейшими факторами внешней среды являются температура, рН, окислительно-восстановительный потенциал, наличие токсичных соединений, суммарная концентрация органических и неорганических примесей.

Влияние температуры на процесс биологической очистки сточных вод хорошо изучено. Установлено, что по отношению к температуре микроорганизмы делят на три группы: психрофилы, мезофилы и термофилы. Диапазон оптимальных температур для них равен 8–20, 10–15 и 40–80 °С соответственно. В илах очистных станций наиболее представлены мезофилы, хотя имеются представители всех трех групп. Большинство бактерий предпочитает среду со значением рН, близким к нейтральному (6,5...7,5).

«Активный ил очистных сооружений способен регулировать величину рН, но только если рН среды не выходит за пределы значений 5÷9. Поскольку на большинстве станций биологической очистки величина рН стоков не выходит за указанные пределы, то влияние рН не учитывается.

Окислительно-восстановительные условия среды устанавливаются в биореакторах в зависимости от состава стоков и продуктов жизнедеятельности. Для характеристики окислительно-восстановительных условий в биологических системах чаще пользуются величиной, которая представляет собой отрицательный логарифм давления молекулярного водорода в среде. Величина изменяется от 0 до 41. Для облигатных аэробов – от 12 до 30. Величина > 30 характеризует среду с сильными окислительными свойствами, непригодную для развития микроорганизмов.

Концентрация органических веществ – питательного субстрата для микроорганизмов – в определенных пределах влияет на скорость изъятия субстрата и рост популяции микроорганизмов. Избыточная концентрация субстрата может тормозить скорость окисления вследствие субстратного

ингибирования. Так, для городских сточных вод установлен предел концентрации загрязнений на уровне 500 мг O₂/л» [33].

2.4 Обоснование типа насадки

«Ряд авторов считает, что прикрепление микроорганизмов на насадке приводит к снижению их активности. Мавитуна, Аткинсон и другие дают величину коэффициента активности иммобилизованных клеток λ как отношение активностей иммобилизованных клеток к свободным в интервале

$0 < \lambda < 1$. Детальное обсуждение вклада свободноплавающих и иммобилизованных микроорганизмов в процесс утилизации загрязнений сточных вод выполнил Блэк. Обычно удельные скорости реакций иммобилизованных клеток ниже, чем свободносуспензированных, из-за необходимости диффузии субстрата к агрегированным клеткам и продукта из них [34]. Величина коэффициента активности зависит от вида насадки для иммобилизации микроорганизмов. Исследования авторов показали, что насадки в виде ершей из стекловолокна, а также из полимерных волокон практически не ухудшают диффузию субстрата к клеткам, а на стадиях доочистки сточных вод даже ускоряют ее, поэтому величина λ может быть принята равной λ » [2], [11], [17], [35].

«Безусловно, только биоценозы закрепленных микроорганизмов могут обеспечивать наивысшую величину удельной скорости трансформации примесей сточной воды, так как на насадке в конкретном месте живут и размножаются (прирастают) только те гидробионты, которым в этом месте созданы благоприятные условия и по субстрату, и по массообмену, и по биогенным элементам» [33].

В основном применяют 4 вида насадок: трубчатая, ленточная, плоскостная, сетчатая с ячейками размером 10 X 10 мм.

Предлагаемая насадка – плоскостная загрузка (ТУ 4859-006-31095951-2004).

Изготавливается в виде плоских и гофрированных листов из стойких полимерных материалов, имеющих сетчатую структуру для эффективного прикрепления микроорганизмов и образования устойчивых биопленок.

Плоскостная загрузка размещается в зоне интенсивных циркуляционных потоков, возникающих при аэрации или механическом перемешивании, которые пронизывают загрузку в направлениях снизу-вверх и сверху вниз, обеспечивая эффективное поступление кислорода и примесей сточной воды к поверхности загрузки. Для формирования в биопленках специфических микробных ценозов, адаптированных к определенной группе загрязняющих веществ, целесообразно секционировать аэрируемое сооружение на ряд последовательных зон с приближением гидродинамического режима к режиму идеального вытеснения, в котором эффект от применения плоскостной загрузки максимален.

Размещение плоскостной загрузки позволяет:

- увеличить производительность биореакторов;
- сформировать на поверхностях загрузки микробный ценоз, способный повысить глубину очистки от трудноокисляемых органических веществ подобно двухступенчатым аэротенкам;
- обеспечить эффективное сбрасывание органики в составе сточных вод до летучих жирных кислот в анаэробной зоне;
- сократить риск вспухания активного ила;
- биореакторы, оснащенные плоскостной загрузкой, обеспечивают эффективную доочистку сточных вод с возможностью снижения концентрации органических веществ до уровня ПДК рыбохозяйственных водоемов.

Чередованием плоских и гофрированных листов формируются блоки различной формы с удельной поверхностью от 40 до 160 м²/м³, которые быстро и надежно монтируются в биореакторах.



Рисунок 6 – Блок загрузки

Предлагаемая загрузка для биореакторов из гофрированных и плоских листов отличается следующими параметрами [8]:

- большая удельная поверхность - до $200 \text{ м}^2 / \text{м}^3$ при высоте гофры ровной 15; 20; 30; и 40 мм;
- большой объем свободного пространства для воды и воздуха - 96-98%;
- малый собственный вес - $30\text{-}35 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- большой срок службы (долговечность) - до 20 лет.

Благодаря большой удельной поверхности ($200 \text{ м}^2 / \text{м}^3$) и большому объему свободного пространства (96-93 %), как минимум вдвое увеличивается продолжительность контакта воздушных пузырьков, тем самым значительно повышается кислородная подпитка сточных вод.

Удерживающая способность ила плоскостной загрузки $450 \text{ г}/\text{кг}$ (что для ленточной - $220 \text{ г}/\text{кг}$, «ершей» - $400 \text{ г}/\text{кг}$). Такая насадка не засоряется, легко регенерируется и не обрывается, как «ерши».

Регенерация насадки

В процессе биологической обработки сточных вод принимают участие множество различных микроорганизмов, причем роль многих из них незначительна или вообще отсутствует. Некоторые клетки так и не

достигают фазы логарифмического роста. Необходимость компенсации факторов роста обуславливают также другие факторы, такие как гибель клеток и их внутренняя борьба за жизненное пространство.

Если в эксплуатации биореактора не предусмотрены меры по регенерации насадки, то его работа очень быстро остановится. Биоценоз биореактора должен быть обновляемым в соответствии с изменением состава примесей сточных вод, варьирования во времени расходов сточных вод, внешних и внутренних факторов, влияющих на работу сообществ гидробионтов.

«Для интенсификации и стабилизации биологической очистки сточных вод с использованием инертных синтетических носителей необходимо периодически регенерировать загрузку, удаляя с нее иммобилизованный ил, в том числе для предотвращения вторичного загрязнения» [28].

Существует несколько способов регенерации:

- использование интенсивной аэрации с последующим возвратом промывных вод в голову очистных сооружений;
- извлечение загрузки из сооружения с последующей гидравлической промывкой струей воды из брандспойтов;
- механическая регенерация посредством передачи кинетической энергии на ершовую загрузку для встряхивания.

В данной работе рассмотрены технологические аспекты водовоздушной регенерации с использованием гидравлической форсунки; ее конструкция при достаточном гидравлическом напоре обеспечивает за счет зоны разряжения подсос атмосферного воздуха, которым на выходе из форсунки обогащается струя воды и образуется водовоздушный факел. Сочетание воды и воздуха в значительной степени увеличивает эффективность удаления иммобилизованной биомассы без увеличения прямых и косвенных затрат на регенерацию ершовой загрузки.

«Исследования технологических аспектов регенерации синтетической инертной загрузки водовоздушным способом проводилось на физической

модели биореактора, представляющей собой вертикальное поперечное сечение одного коридора объемного биореактора проводились А.М. Зеленин» [17].

Одним из основных факторов, влияющих на энергоэффективность любого процесса с использованием энергоемкого насосного оборудования является продолжительность работы этого оборудования.

«Регенерация синтетической загрузки с различной продолжительностью, при одинаковом удельном расходе по воде и воздуху, показала, что в диапазоне от 60 до 180 секунд эффективность регенерации составила: $\varepsilon_{\min} = 96,4\%$ и $\varepsilon_{\max} = 98,5\%$. При увеличении продолжительности регенерации по времени от 1,5 до 3 раз эффективность регенерации изменилась незначительно: $\Delta\varepsilon = 2,1\%$ » [17]. С учетом данных, полученных в ходе эксперимента (А.М. Зелениным), достаточное время для эффективного удаления прикрепленной к синтетическим плоскостям микрофлоры, может быть принято не менее 60 и не более 180 секунд.

Большое значение, оказывающее влияние на энергоэффективность процесса водовоздушной регенерации ершовой загрузки, имеет соотношение удельных расходов по воде и воздуху, а также количество гидравлических форсунок и их расположение в биореакторе.

Автор [11] в своей работе делает вывод, что: «Анализ полученной зависимости эффективности водовоздушной регенерации синтетической загрузки от количества регенерационных форсунок и их расположения позволяет, опираясь на рисунок 6 определить оптимальное количество форсунок 15 штук.

2.5 Предлагаемый биореактор

Биофильтр с плоскостной загрузкой проектируют круглой или многогранной в плане формы [20]. Мы выбираем прямоугольную форму. Реакторы выполняются из железобетона или металла и не содержат

нестандартного оборудования, которое требует заводского изготовления.

Биореактор состоит из контейнеров-модулей (рисунок 7) и представляет собой прямоугольный металлический резервуар. Все ступени оборудуются пластмассовой загрузкой, которая крепится в средней части биореактора и иммобилизует на себя микрофлору. Процесс очистки СВ осуществляется биоценозом микроорганизмов.

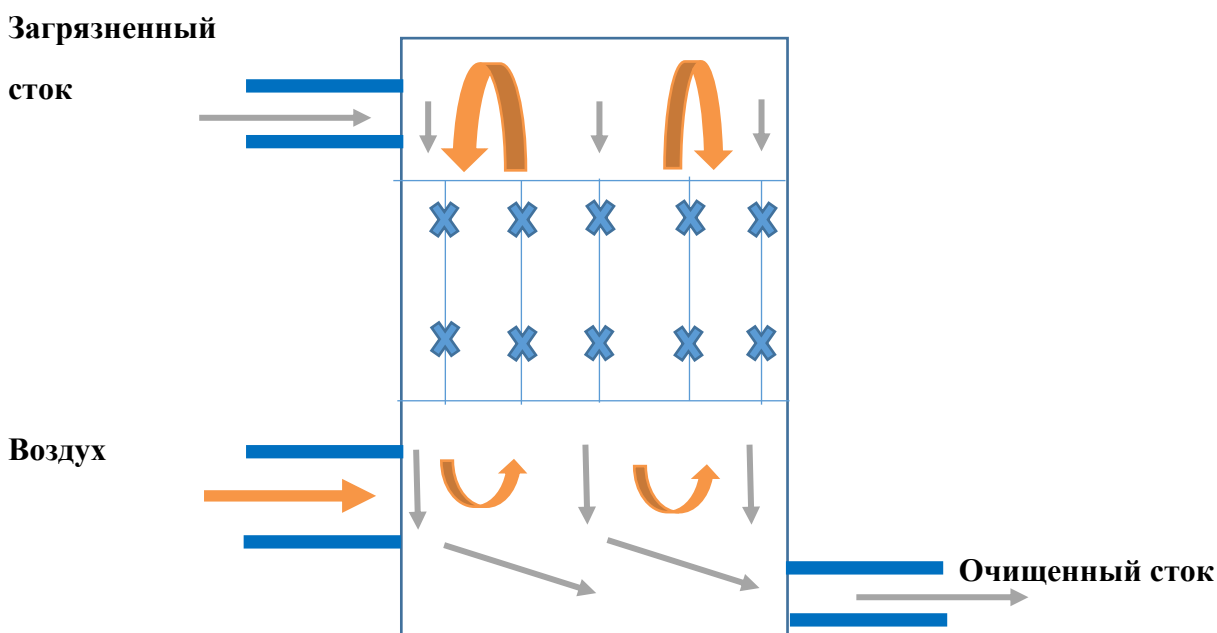


Рисунок 7 - Схема предлагаемого аэрлифтного биореактора с иммобилизованной биомассой

Корпус металлический, изготовленный из стали (Ст 3) с покрытием.

Биореакторы представляют собой вертикальные колонные аппараты с соотношением высот к диаметру - (3-6): 1 [23].

Система аэрации аэробного биореактора является очень важным конструктивным элементом, обеспечивающим эффективность и стабильность процесса.

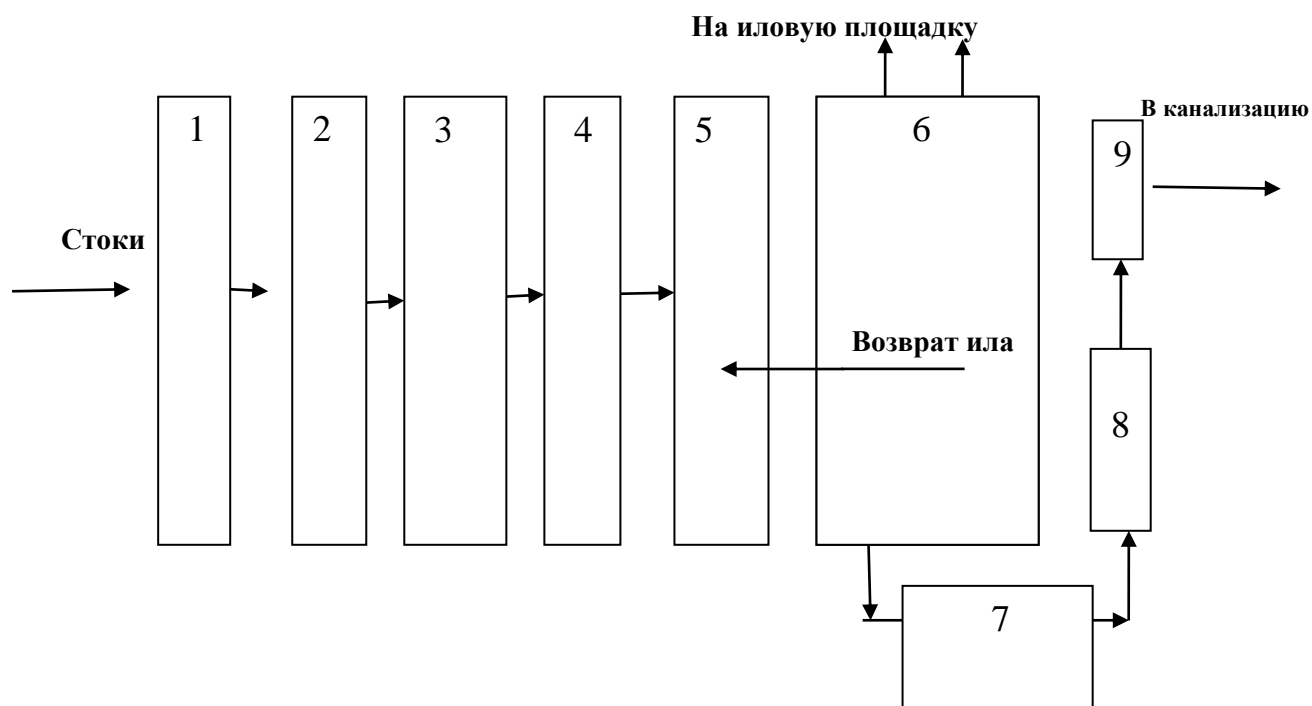
Аэрация осуществляется через перфорированные трубы, расположенные между кассетами, боковые стенки которых защищены металлическим листом. Таким образом, между кассетами образуется

эрлифтный коридор.

Регенерация осуществляется путем интенсивного барботажа насадки через гребенку из дырчатых труб, расположенных под насадками. «Сдутая» в процессе регенерации биопленка отводится через трубопровод опорожнения в резервуар и далее перекачивается насосом в регенератор.

Так как активный ил закрепляется на насадках биореактора, то технологическая схема работает без вторичных отстойников.

Схема очистных сооружений после модернизации представлена ниже на рисунке 8.



1 - приемный резервуар, 2 - насосная, 3 - песколовка, 4-денитрификатор, 5 - аэротенк, 6- отстойник, 7 – биореактор, 8- ультрафиолетовая станция, 9- контактный резервуар

Рисунок 8 – Принципиальная схема очистных сооружений после модернизации

2.6 Конструктивный расчет

Рассчитаем аэробный биореактор с прикрепленной плоскостной загрузкой, применяемый для очистки сточных вод молочного комбината, по следующим исходным данным:

- расход сточных вод - 200 м³/сут,
- БПК исходных сточных вод - 400 мг О₂/л;
- БПК в очищенных сточных водах - 3 мг/л;
- Т- температура исходных сточных вод – 12° С.

На предприятии ООО «Барыбинский молочный завод» расход воды составляет 200 м³/сут [21].

Расчет любого биореактора заключается в расчете загрузки, поэтому объем загрузки биореактора определяем по формуле (2.6.1):

$$W_3 = \frac{Q \cdot (\alpha_{\text{еп}} - \alpha_{\text{ех}})}{24 \cdot OM} \quad (2.6.1)$$

где $\alpha_{\text{ех}}$, $\alpha_{\text{еп}}$ - БПКП соответственно очищенных и поступающих сточных вод, мгО₂/л;

Q – суточный расход сточных вод, м³/сутки; Q= 200 м³/сут;

OM – окислительная мощность биореактора, мгХПК/м³ вычисляется по формуле (2.6.2).

$$OM = K_{OM} \cdot \frac{\alpha_{\text{ех}}}{K_{\text{ех}} + \alpha_{\text{ех}}} \cdot \frac{\alpha_{\text{еп}}}{K_{\text{еп}} + \alpha_{\text{еп}}} \quad (2.6.2)$$

где $\alpha_{\text{ех}}$, $\alpha_{\text{еп}}$ – БПКП соответственно очищенных и поступающих сточных вод, мгО₂/л;

K_{OM} , $K_{\text{ех}}$, $K_{\text{еп}}$ – константы, определяющие вид сточных вод;

K_{OM} - г/(м³ ч), $K_{\text{ех}}$, $K_{\text{еп}}$ – мг/л;

По [8]:

$K_{OM} = 2169$ г/(м³ ч);

$K_{\text{ех}} = 160$ мг/л;

$$K_{\text{en}} = 2500 \text{ мг/л.}$$

$$\text{OM} = 2169 \cdot \frac{3}{160 + 3} \cdot \frac{400}{2500 + 400} = 5,5 \text{ ХПК/м}^3$$

Подставим полученные данные в формулу (2.6.1).

$$W_3 = \frac{200 \cdot (400 - 3)}{24 \cdot 5,5} = 602 \text{ м}^3$$

Гидравлически допустимая нагрузка на загрузку биореактора определяется по формуле (2.6.3):

$$G_n = \frac{M_n \cdot S_{\text{уд}}}{\alpha_m}, \quad (2.6.3)$$

где M_n – масса органических загрязнений по БПКп, поступающих в сутки на единицу поверхности загрузочного материала биореактора, г/м²·сут;

M_n – определяется в зависимости от эффекта очистки (\mathcal{E} , %) по графику $\mathcal{E} = f(M_{\text{дп}})$.

Эффективность найдем по формуле (2.6.4);

$$\mathcal{E} = \frac{\alpha_{\text{еп}} - \alpha_{\text{ex}}}{\alpha_{\text{еп}}} \cdot 100 \quad (2.6.4)$$

где $S_{\text{уд}}$ – удельная поверхность загрязненного материала, м²/м³.

Найдем эффективность очистки подставив значения формулу (2.6.4).

$$\mathcal{E} = \frac{400 - 3}{400} \cdot 100 = 99,3\%$$

По графику (рис. 9) определим значение $M_n = 25 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$.

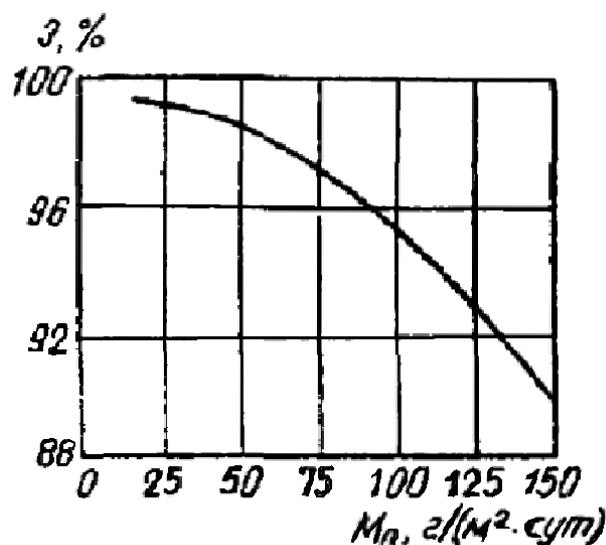


Рисунок 9 – График зависимости M_n от эффективности очистки

В зависимости от пористости загрузки (P) удельная поверхность загруженного материала (Суд):

$p=95\%$, Суд=90-110 м²/м³ (гофрированные листы);

$p=70\%$, Суд =80 м²/м³ (плоские листы)

Принимаем Суд=100 м²/м³

Получившиеся значения подставим в формулу (2.6.3) и рассчитаем гидравлически допустимую нагрузку:

$$G_n = \frac{25 \cdot 100}{200} = 12,5 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$$

При полной биологической очистке поступающей сточной воды высота слоя загрузки должна быть не менее 3—5 м [8]. Принимаем высоту загрузки 5 м. Зная высоту загрузки определим её площадь по формуле (2.6.5):

$$F = \frac{W_3}{H}, \quad (2.6.5)$$

$$F = \frac{602}{5} = 120,4 \text{ м}^2$$

Так как биореактор аэробный, то продолжительность аэрации определяется по формуле (2.6.6):

$$T_a = \frac{\alpha_{\text{еп}} - \alpha_{\text{ex}}}{a \cdot (1 - S_{\text{п}}) \cdot \rho} \quad (2.6.6)$$

где a – доза активного ила, г/л;

$S_{\text{п}}$ – зольность активного ила равная 0,15 [9];

ρ – удельная скорость окисления, мг БПК_п на 1 г беззольного вещества ила в 1 час, определяемая по формуле (2.6.7).

$$\rho = \rho_{\text{max}} \cdot \frac{\alpha_{\text{ex}} \cdot C_0}{\alpha_{\text{ex}} \cdot C_0 + K_e \cdot C_0 + \alpha_{\text{ex}} \cdot K_0} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a}, \quad (2.6.7)$$

где ρ_{max} – максимальная скорость окисления, мг/г·ч;

K_e – константа, характеризующая свойства органических загрязнений, 50 мгБПК/л;

K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, 1,67 мгО₂/л;

C_0 – концентрация растворенного кислорода, 10 мг/л

φ – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила 0,175 л/г, [9].

Подставим значения в формулу (2.6.7):

$$\rho = 500 \cdot \frac{3 \cdot 10}{3 \cdot 10 + 50 \cdot 10 + 3 \cdot 1,67} \cdot \frac{1}{1 + 0,175 \cdot 3} = 18,5 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}$$

У блочной загрузки скорость окисления в перерасчете на единицу веса биомассы составляет 12,3 мг/г·ч [1].

Рассчитаем продолжительность аэрации по формуле (2.6.6):

$$T_a = \frac{400 - 3}{3 \cdot (1 - 0,15) \cdot 18,5} = 8,4 \text{ ч}$$

Тогда рабочий объём биореактора определим по формуле (2.6.8):

$$W_p = Q \cdot T_a + W_3, \quad (2.6.8)$$
$$W_p = 200 \cdot 8,4 + 602 = 1686,2 \text{ м}^3$$

Биореакторы представляют собой вертикальные колонные аппараты с соотношением высот к диаметру - (3-6): 1.

Учитывая, что объём полезного пространства, занимаемый носителем опорными конструкциями и сборно-распределительными устройствами, составляет примерно 30 %, то по формуле 2.6.9:

$$W = W_p \cdot 1.3 \quad (2.6.9)$$

Подставим данные в (2.6.9):

$$W = 1686,2 \cdot 1.3 = 2192 \text{ м}^3$$

Принимая ширину биореактора $B=12$ м и строительную высоту $H_c = 10$ м

Определим высоту биореактора при известных ширине и длине по формуле (2.6.10):

$$L = \frac{W}{B \cdot H_c}, \quad (2.6.10)$$
$$L = \frac{2192}{12 \cdot 10} = 18,3 \text{ м}$$

Расход воздуха определяется по формуле (2.6.11):

$$A = \frac{BPK_{\Pi}}{21} \cdot K, \quad (2.6.11)$$

где K – коэффициент запаса. $K = 2-3$.

$$A = \frac{400}{21} \cdot 2,5 = 48 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Интенсивность прироста биопленки, определяющейся по формуле (2.6.12), указывается коэффициентом скорости биохимического окисления $K_{с.б.о.}$:

$$K_{с.б.о.} = 21/a^1, \quad (2.6.12)$$

где a^1 – разность между ХПК и БПК_п СБ . %

$$K_{с.б.о.} = \frac{21}{8} = 2,6$$

Жизненный цикл биоценоза напрямую зависит от концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, при снижении содержания ХПК и БПК скорость окисления также снижается. Плавающая загрузка позволит накопить идентичную биомассу при занимаемом меньшем объеме, что способствует улучшению массообмену внутри реактора.

Таблица 3 – Конструктивные расчёты биореактора

Параметр	Значение
Объем загрузки	602 м ³
Площадь загрузки	120,4 м ²
Рабочий объем реактора	1686,2 м ³
Объем реактора	2192 м ³
Длина биореактора	18,3 м
Высота биореактора	10 м
Ширина биореактора	12 м
Продолжительность аэрации	8 ч
Интенсивность прироста биопленки	2,6%
ОМ	5,5 ХПК/м ³
Гидравлическая нагрузка	12,5 м ³ /(м ³ · сут)

Продолжение таблицы 3

Параметр	Значение
Расход воздуха	48 м ³ /ч
Эффективность очистки	99,3%

2.7 Материальный баланс биореактора

Предприятие работает в непрерывном цикле. При моделировании кинетики биологических процессов очистки сточных вод истинную схему биологических превращений в виду ее сложности и малой изученности заменяют на упрощенную схему, описывающую в главных чертах истинную.

Рост биомассы микроорганизмов, автолиз биомассы, потребление субстратов, биосинтез продуктов метаболизма и т.д. влияют на скорость протекания реакций, причем в общем случае по – разному. Конкретный вид кинетических уравнений, т.е. зависимость скоростей протекания реакций от параметров - аргументов, может быть установлен только экспериментально.

Количество сточной жидкости на входе в биореактор равно $Q= 200 \text{ м}^3$ /сут.

1 Требуемая концентрация биопленки определится по формуле (2.7.1):

$$a_6 = \frac{F \cdot b}{W_p}, \quad (2.7.1)$$

где F – площадь загрузки, м²;

W_p – рабочий объем биореактора, м³;

b – удельное количество биопленки, кг/м². Для аэробных биореакторов принимаем равным 45 кг/м² [8].

Подставляем исходные данные в формулу (2.7.1):

$$a_6 = \frac{120,4 \cdot 45}{1686,2} = 3,2 \text{ кг/м}^3$$

2 Определим количество активного ила по сухому остатку по формуле (2.7.2):

$$G_{\text{сух}} = G_{\text{а.и.}} \cdot \frac{C_{\text{и}}}{1000} \quad (2.7.2)$$

где $C_{\text{и}}$ – концентрация ила в смеси, кг/м³.

$G_{\text{а.и.}}$ – количество биомассы, кг/ч.

Согласно справочных данных ориентировочные $C_{\text{и}}$ и $G_{\text{а.и.}}$ для выбранного биореатора составляют [8]:

$C_{\text{и}} = 6,4$ кг/м³.

$G_{\text{а.и.}} = 600$ кг/ч.

Подставляем исходные данные в формулу (2.7.2):

$$G_{\text{сух}} = 600 \cdot \frac{6,4}{1000} = 3,8 \text{ кг/ч}$$

3 Расчет среднечасовой производительности:

$$Gi = \frac{G}{24} \quad (2.7.3)$$

где G_1 – расход сточных вод, м³/сут.

Подставляем данные в формулу (2.7.3):

$$Gi = \frac{200}{24} = 8,3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4 Определение массы стоков по формуле 2.7.4:

$$m_{\text{стоков}} = Gi \cdot \rho \quad (2.7.4)$$

где ρ – плотность воды равная 997 кг/м³.

Подставляем данные в формулу (2.7.4):

$$m_{\text{СТОКОВ}} = 8.3 \cdot 997 = 8275,1 \text{ кг/ч}$$

5 Расход загрязняющих веществ в сточной воде на входе определим по формуле (2.7.5):

$$G_{\text{з.з.}} = K_{\text{з.в.}} \cdot m_{\text{СТОКОВ}} \cdot 10^{-6} \quad (2.7.5)$$

где $G_{\text{з.в.}}$ – расход загрязняющих веществ, кг /ч;

K а.а. концентрация загрязняющих веществ, мг/л;

$m_{\text{СТОКОВ}}$ – масса стоков;

10^{-6} – перевод мг содержащихся веществ в килограммы.

Подставим исходные данные (таблица 2) в формулу (2.7.5):

$$G_{\text{БПК}} = 400 \cdot 8275,1 \cdot 10^{-6} = 3,3 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{ХПК}} = 350 \cdot 8275,1 \cdot 10^{-6} = 2,9 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{ВЗВ.В}} = 45 \cdot 8275,1 \cdot 10^{-6} = 0,4 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{Жиры.}} = 40 \cdot 8275,1 \cdot 10^{-6} = 0,3 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{азот.}} = 0,3 \cdot 8275,1 \cdot 10^{-6} = 0,002 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{хлориды.}} = 290 \cdot 8275,1 \cdot 10^{-6} = 2,4 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{фосфор.}} = 0,02 \cdot 8275,1 \cdot 10^{-6} = 0,00002 \text{ кг/ч}$$

Расход воздуха $48\text{м}^3/\text{ч}$., следовательно:

$$G_{\text{воздуха.}} = 48\text{м}^3/\text{ч} \cdot 1,2754 \text{ кг/м}^3 = 61,2 \text{ кг/ч}$$

Данные расчетов по содержанию загрязняющих веществ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Количество загрязняющих веществ на входе в биореактор

Показатель	Сточные воды после очистки	
	мг/л	кг/ч
БПК	400,0	3,3
ХПК	350,0	2,9
Взвешенные вещества	45,0	0,4
Жиры	40	0,3
Азот общий	0,3	0,3
Хлориды	290,0	2,4
Фосфор	0,02	0,02
Итого		9,62

«На основании проведенных расчетов составим материальный баланс биореактора, выражающий закон сохранения массы вещества при выполнении технологического процесса очистки сточных вод» [25].

Учитываем, что рассчитанная эффективность биореактора составляет 99,3%.

6 Расчет массы загрязняющих веществ после очистки:

$$G_{\text{ЗВ после очистки}} = G_{\text{З. в.}} \cdot \varepsilon \quad (2.7.6)$$

где ε – эффективность очистки 0,993;

В биореакторе окисляются БПК, ХПК, жиры. Поставляем исходные данные в формулу (2.7.6):

Расчет массы БПК после очистки:

$$G_{\text{БПК после очистки}} = 3,3 \cdot 0,993 = 0,021 \text{ кг/ч}$$

Расчет массы ХПК после очистки:

$$G_{\text{ХПК после очистки}} = 2,9 \cdot 0,993 = 0,02 \text{ кг/ч}$$

Расчет массы жиров после очистки:

$$G_{\text{жиры после очистки}} = 0,3 \cdot 0,993 = 0,0021 \text{ кг/ч}$$

Материальный баланс биологической системы – это динамическая структура. В разделе 3.2 была представлена фазовая диаграмма роста микроорганизмов, иллюстрирующая динамику развития биоценозов, поэтому даже учитывая этот фактор – задача построения составного материального баланса представляется очень сложной и многофакторной. При окислении загрязняющих веществ микроорганизмами выделяются углекислый газ и вода, значение которых от цикла к циклу будут непостоянны.

Определим прирост активного ила по формуле (2.7.7):

$$P_i = \sum C_{i\text{ВХ}} - \sum C_{i\text{ВЫХ}}, \quad (2.7.7)$$

где $\sum C_{i\text{ВХ}}$ – суммарное содержание загрязняющих веществ на входе в биореактор, кг/ч;

$\sum C_{i\text{ВЫХ}}$ – суммарное содержание загрязняющих веществ на выходе из биореактора, кг/ч.

$\sum C_{i\text{ВЫХ}}$ – суммарное содержание загрязняющих веществ на выходе из биореактора, кг/ч:

$$\begin{aligned} \sum C_{i\text{ВЫХ}} &= G_{\text{БПК после очистки}} + G_{\text{ХПК после очистки}} + G_{\text{жиры после очистки}} = \\ &= 0,021 + 0,02 + 0,0021 = 0,0431 \text{ кг/ч} \\ P_i &= 9,62 - 0,0431 = 9,5769 \text{ кг/ч} \end{aligned}$$

5. Параметры материального баланса биореактора представлены в таблице

Таблица 5 – Ориентировочный материальный баланс биореактора

Приход	Кг/ч	%	Расход	Кг/ч	%
Сточная вода	8275,1	100	Сточная вода	8275,1	100
Вода	8264,8	99,87	Вода	8264,8	99,87
БПК	3,3	0,04	БПК	0,021	0,00024
ХПК	2,9	0,04	ХПК	0,02	0,00024
Взвешенные вещества	0,4	0,005	Взвешенные вещества	0,4	0,005
Жиры	0,3	0,004	Жиры	0,0021	0,000025
Азот общий	0,002	0,00002	Азот общий	0,002	0,00002
Хлориды	2,4	0,03	Хлориды	2,4	0,03
Фосфор	0,00002	0,000002	Фосфор	0,00002	0,000002
Активный ил	600		Активный ил	609,58	
Воздух	61,2		Воздух	61,2	
Итого	8936,3		Итого	8936,3	

Достигаются требования водоема рыбохозяйственного назначения.

Вывод по второму разделу:

Представлено предлагаемое техническое решение. Проведен анализ типов, используемых биореакторов. Дано обоснование выбора плоскостного биореактора. Подобран биоценоз для аэробной очистки. Определено влияние внешних факторов на окислительную мощность биомассы микроорганизмов. Проведено исследование типов насадок и выбрана оптимальная плоскостная загрузка. Освещены вопросы регенерации активного ила. Решение подтверждено конструктивным расчётом и расчетом материального баланса.

Эффективность очистки составила 99,3%. После внедрения предлагаемого решения ХПК, БПК будут снижены до показателей, предъявляемых к сбросу в водоемы рыбохозяйственного назначения.

Заключение

Исследуемые в данной выпускной квалификационной работе вопросы на сегодня остаются наиболее важными при очистке сточных вод на предприятиях.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

- проанализирована технологическая схема очистки, реализуемая на предприятии ООО «Барыбинский молочный завод».

- выявлены приоритетные загрязнители: БПК, ХПК.

- предложено техническое решение по оптимизации очистки сточных вод – установка аэробного биореактора после аэротенка. Дано обоснование выбора конструкции.

- предложена отечественная плоскостная загрузка (ТУ 4859-006-31095951-2004) из гофрированных и плоских листов. Большая удельная поверхность ($200\text{ м}^2 / \text{м}^3$) и большой объем свободного пространства (96-93 %) увеличивает продолжительность контакта воздушных пузырьков (как минимум вдвое), тем самым значительно повышается кислородная подпитка сточных вод, что положительным образом сказывается на эффективности процесса окисления.

- произведён конструктивный расчет биореактора, определены габариты аппарата, площадь загрузки.

- проведен расчет материального баланса.

Предлагаемое решение позволяет снизить загрязняющие вещества до показателей, необходимых для создания замкнутого водооборотного цикла на предприятии. Снижение концентрации жиров нивелирует риск закупорки жирами трубопроводов предприятия, соответственно продлит сроки проведения профилактического ремонта. Эффективность очистки составила 99,3%. Таким образом, можно сделать вывод, что поставленные цели и задачи достигнуты.

Список используемых источников

1. Богданович Н. И. Процессы и аппараты очистки сточных вод: учебное пособие / Н. И. Богданович. — 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: 30.04.2022).

2. Бычкова О. В. Экологическая биотехнология: учебное пособие / О. В. Бычкова. - Санкт-Петербург: Троицкий мост, 2021 - Часть 1: Биологическая очистка сточных вод - 2021. - 100 с. - ISBN 978-5-4377-0137-9. - Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/175261> (дата обращения: 12.02.2022).

3. Вайцель А. А. Механические методы очистки сточных вод // Наука, образование и культура. 2019. №3 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskie-metody-ochistki-stochnyh-vod> (дата обращения: 15.01.2022).

4. Ветошкин А.Г. Основы инженерной экологии [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 332 с.

5. Воронов Ю.В. Биологические окислители / Ю.В. Воронов, Н.А. Залетова, Г.Ш. Чембулатова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2016. – № 4 (68). – С.44-47.

6. Гогина Е.С. Интенсификация процессов удаления соединений азота из сточных вод на биофильтрах / Е.С. Гогина О.В. Янцен О.А. Ружицкая В. Дабровски Р. Жилка Д. Боружко // Вода и экология: проблемы и решения. – 2016. – № 3 (67). – С.35-45.

7. Данилович Д.А. Сравнительный анализ методик расчета сооружений биологической очистки сточных вод с удалением азота / Д.А. Данилович, А.Н. Эпов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. – № 4 (112). – С.28-40.

8. Долина Л. Ф. Реакторы для очистки сточных вод /Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта. - Днепропетровск. 2001 -82 с.

9. Дятлова Т.В. Очистка сточных вод молокозаводов/ Т.В. Дятлова, С.Г. Певнев, Т.Г. Федоровская – СП. Водоснабжение и санитарная техника,2008-201 с.

10. Зайцева Т. А. Биохимические методы переработки техногенных отходов: учебное пособие: в 2 частях / Т. А. Зайцева, Л. В. Рудакова, Е. С. Белик. — Пермь: ПНИПУ, [б. г.]. — Часть 1: Биологическая очистка сточных вод в аэротенках — 2015. — 226 с. — ISBN 978-5-398-01525-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160932> (дата обращения: 10.03.2022).

11. Зеленин А.М. Технологические аспекты водовоздушной регенерации синтетической загрузки аэротенки-биореактора /Вестник ИрГТУ №2 (97) 2015 с.104-111.

12. 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: 05.08.2022).

13. Козадерова О. А. Расчеты материальных и тепловых балансов в технологии минеральных удобрений: учебное пособие / О. А. Козадерова, С. И. Нифталиев. - Воронеж: ВГУИТ, 2018. - 55 с.

14. Колесников В.П., Вильсон Е.В. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях: под редакцией Академика ЖКХ РФ В. К. Гордеева-Гаврикова, 2005. - 212 с.

15. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Сосна В.М. Применение механической регенерации синтетической загрузки в биореакторе // Вестник МГСУ. М.: Изд-во МИСИ – МГСУ, 2013. № 7. С.131–139.

16. Лоренц В.И. Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. Киев, Будивельник, 1972. - 188с.

17. Макаров С. В. Принципы экологии и ресурсосбережения в масложировой промышленности: учебное пособие / С. В. Макаров. — Иваново: ИГХТУ, 2011. — 240 с. — ISBN 978-5-9616-0404-4. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/4533> (дата обращения: 31.05.2022).

18. Музафаров Е. Н. Биотехнология. Основы биологии: учебное пособие для вузов / Е. Н. Музафаров. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 168 с. — ISBN 978-5-8114-8242-9. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/193279> (дата обращения: 26.05.2022).

19. Проектирование, строительство и инженерное оборудование предприятий молочной промышленности: учебное пособие / Л. В. Голубева, Г. И. Касьянов, А. В. Кочерга, Н. В. Тимошенко. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 416 с. — ISBN 978-5-8114-1688-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211883> (дата обращения: : 30.03.2022).

20. Прикладная экобиотехнология: в 2 т: учебное пособие / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, С. В. Лушников, М. Энгельхарт; художники С. Инфанта, Н. А. Новак. — 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: 26.02.2022).

21. Проектирование, строительство и инженерное оборудование предприятий молочной промышленности: учебное пособие / Л. В. Голубева, Г. И. Касьянов, А. В. Кочерга, Н. В. Тимошенко. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 416 с. — ISBN 978-5-8114-1688-2.— Текст: электронный// Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211883> (дата обращения: 26.05.2022).

22. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебное пособие / С. А. Бредихин, А. С. Бредихин, В. Г. Жуков, Ю. В. Космодемьянский. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 544 с. — ISBN 978-5-8114-1635-6.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211625> (дата обращения: 26.05.2022).

23. Рехтин А. Ф. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: учебное пособие / А. Ф. Рехтин, Е. Ю. Курочкин, Б. П. Лашкинский. - Томск: ТГАСУ, 2016. - 314 с. - ISBN 978-5-93057-623-8. - Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/138996> (дата обращения: 30.01.2022).

24. Рудник М.И., Кичигин, О.В., Рудько, В.Г. Технологии и оборудование для глубокой доочистки сточных вод / Экология производства. - 2006. – № 9. – С. 43-45. (дата обращения: 10.08.2021).

25. Самыгин В. Д. Процессы и аппараты очистки сточных вод: учебное пособие / В. Д. Самыгин, В. А. Игнаткина. — Москва: МИСИС, 2009. — 223 с. — ISBN 978-5-87623-238-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/117039> (дата обращения: 23.04.2022).

26. Сакаш Г.В. Очистка сточных вод предприятий по переработке молока / Г.В. Сакаш, А.Ф. Колова, Т.Я. Пазенко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. — 2016. — № 8. — С. 97-103. — ISSN 1819-4036. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/298418> (дата обращения: 06.05.2022).

27. Технологический регламент цеха очистки сточных вод предприятия ООО «Барыбинский молочный завод.

28. Технология очистки сточных вод: учебное пособие / А. Б. Ярошевский, С. М. Романова, А. М. Мадякина, И. Г. Шайхиев. — Казань: КНИТУ, 2016. — 84 с. — ISBN 978-5-7882-1892-2. — Текст: электронный//

Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/102107> (дата обращения: 21.04.2022).

29. Шапкин Н.П., Папынов Е.К., Хальченко И.Г., Жамская Н.Н., Каткова С.А., Апанасенко О.А., Шкуратов А.Л. Разработка комплексного метода очистки сточных вод // Биотехносфера. 2010. №5-6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-kompleksnogo-metoda-ochistki-stochnyh-vod> (дата обращения: 14.03.2022).

30. Шлёкова И. Ю. Очистка сточных вод: практикум: учебное пособие / И. Ю. Шлёкова, А. И. Кныш. - 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: 05.04.2022).

31. Chaudhary D.S. Granular Activated Carbon (GAC) Biofilter for low strength Wastewater Treatment / D.S. Chaudhary, S. Vigneswaran, H. H. Ngo, W.G. Shim, H. Moon // Environmental Engineering Reserch. – 2020. – Vol.8, No. 4. – p. 184-192.

32. Chen-Charpentier B.M. Numerical simulation of biofilm-forming bacteria and other microbes in porous media / B.M. Chen-Charpentier, H.V. Kojouharov // Developments in Water Science. – 2018. - № 47. – p. 819-826.

33. Choi H. J., Comparison between a moving bed bioreactor and a fixed bed bioreactor for biological phosphate removal and denitrification / H. J. Choi, A. H. Lee, S. M. Lee // Water Science & Technology. – 2019. – № 65.10. – p. 1834-1838.

34. Oleynik A., Airapetian T. The aerobic biological purification of the wastewaters from the organic contaminants (OC) in the aerotanks with the suspended and the fixed biocenosis. MOTROL, 2016. PP 13–24.

35. De Ley J. The Proteobacteria: ribosomal RNA cistron similarities and bacterial taxonom / J. De Ley, In A. Balow, H.G. Truper, M. Dworkin, W. Harder, K.-H. Schleifer (ed.) // The prokaryotes, 2nd ed. Springer-Verlag, New York, 2015. - p. 2111-2140.