

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ)

На правах рукописи



Солкина Ольга Сергеевна

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОМЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

05.23.04 – водоснабжение, канализация, строительные системы охраны
водных ресурсов

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент, ФГБОУВО «Самарский
государственный технический университет»,
профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Степанов С.В.

Пенза 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .	10
1.1 Количественная и качественная характеристика сточных вод ...	10
1.2 Методы очистки сточных вод предприятий молочной промышленности.....	16
1.3 Использование биомембранной технологии для очистки сточных вод промышленных предприятий	21
1.4 Выводы по главе 1	24
ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	26
2.1. Программа и объекты исследований	26
2.2. Обоснование модели сточных вод	26
2.3 Методика определения кинетических коэффициентов и констант процессов биохимического окисления	31
2.4. Методика проведения лабораторных исследований в контактных условиях.....	41
2.5. Методика проведения исследований на пилотной установке.....	43
2.6 Выводы по главе 2	46
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ НА МОДЕЛИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	48
3.1. Исследование биомембранной очистки сточных вод предприятий молочной промышленности на пилотной установке.....	48
3.2. Влияние концентрации активного ила на скорость окисления загрязнений в сточных водах молочной промышленности	59
3.3. Влияние химической промывки мембран на биологические процессы.....	61
3.4. Выводы по главе 3	66
ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ НА РЕАЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОДАХ ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	69
4.1. Характеристика сточных вод и методы очистки на существующих предприятиях молочной промышленности	69
4.2. Влияние локальной физико-химической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности на биологические процессы	72
4.3. Исследование биомембранной технологии очистки сточных вод на реальных сточных водах предприятия молочной промышленности	82
4.4. Выводы по главе 4	91

ГЛАВА 5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА, РАСЧЕТ И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	93
5.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА БИОЛОГИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	93
5.2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	96
5.3 Техничко-экономическая оценка применения технологий БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ.....	103
5.4. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СООРУЖЕНИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	112
5.5 Выводы по главе 5	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	118
ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	122
ПРИЛОЖЕНИЯ	136

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы. В настоящее время в Российской Федерации происходит повсеместное расширение действующих и строительство новых предприятий молочной промышленности. Сточные воды предприятий данной отрасли характеризуются высокой концентрацией загрязнений, их очистка является сложной технической и научной задачей. Имеющиеся канализационные очистные сооружения, как правило, не обеспечивают достижение соответствующих нормативов, что существенно нарушает работу муниципальных сооружений биологической очистки и приводит к загрязнению окружающей среды. Положительный опыт эксплуатации мембранных биореакторов (МБР) на предприятиях различных отраслей промышленности при многократном увеличении концентрации активной биомассы и полном удержании микроорганизмов в биореакторах, исключении ступеней отстаивания и фильтрования, показывает целесообразность применения данной технологии на предприятиях молочной промышленности. Все это свидетельствует об актуальности исследований в области биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности.

Степень разработанности темы. Основные принципы расчета процессов биологической очистки разработаны С.В. Яковлевым, Т.А. Карюхиной, И.В. Скирдовым, В.Н. Швецовым, А.А. Бондаревым, К.М. Морозовой и др. Качественный и количественный состав сточных вод, поступающих от предприятий молочной промышленности, изучен в работах С.М. Шифрина, В.Н. Самохина, Г.В. Иванова и др. В ряде работ НИИ ВОДГЕО и АСА СамГТУ исследованы процессы биологической, в том числе биомембранной очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Однако применение биомембранной технологии для очистки сточных вод молокозаводов ранее не изучалось. Кроме того, состав сточных вод предприятий молочной промышленности в последние годы существенно изменился. Технологические и кинетические параметры процессов, протекающих при очистке сточных вод

предприятий данного профиля, как в аэротенках, так и в МБР, в современной литературе отсутствуют.

Цель проводимых исследований – обоснование и разработка эффективной технологии биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности с применением МБР.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Исследовать качественный состав сточных вод молокозаводов и обосновать применение технологии мембранного биореактора для очистки сточных вод предприятий молочной промышленности.

2. Выявить характер влияния предварительной физико-химической очистки сточных вод на последующую биологическую очистку в МБР.

3. Определить основные технологические параметры, кинетические константы и коэффициенты биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе, обеспечивающие их эффективную очистку.

4. Выявить степень воздействия количества применяемых при химических промывках мембран реагентов на биологические процессы в мембранном биореакторе.

5. Разработать технологию очистки сточных вод предприятий молочной промышленности с применением мембранного биореактора.

6. Разработать методику расчета сооружений биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности по биомембранной технологии, апробировать в производственных условиях соответствие научных положений и технологических разработок и выполнить технико-экономическую оценку предлагаемых решений.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются сточные воды предприятий молочной промышленности. Предмет исследования – технологии биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе.

Научная новизна.

1. Определены основные технологические параметры, кинетические константы и коэффициенты биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранных биореакторах.

2. Установлен тип и найдены константы субстратного торможения процессов биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в условиях применения предварительной физико-химической очистки и без нее.

3. Экспериментально установлена возможность снижения субстратного торможения процесса биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности, прошедших физико-химическую очистку, за счет увеличения концентрации ила в мембранном биореакторе.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Предложены математические зависимости для определения скорости окисления органических веществ, нитрификации и денитрификации в мембранном биореакторе.

2. На основании проведения кинетических исследований показана целесообразность биологической очистки сточных вод молокозаводов без предварительной обработки коагулянтами и флокулянтами.

3. Разработаны технологические схемы биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности с использованием биомембранной технологии с нитри- денитрификацией, исключая стадию реагентной обработки коагулянтами и флокулянтами.

4. Разработана методика расчета мембранных биореакторов, предназначенных для очистки сточных вод предприятий молочной промышленности с применением полученных зависимостей и констант, позволяющая рассчитать эти сооружения до заданной степени очистки и впервые изучена степень воздействия количества применяемых при химических

промывках мембран реагентов на биологические процессы в мембранном биореакторе.

Методология и методы диссертационного исследования.

Методика исследований базируется на комплексном подходе, включающем изучение литературных источников, экспериментальные исследования, математические методы обработки результатов, технико-экономический анализ. Методологической базой исследования являлись метод определения кинетических констант в уравнениях ферментативных реакций в контактных условиях и метод непрерывно-проточного культивирования в биореакторе. Эмпирическую базу исследования составили лабораторные и пилотная экспериментальные установки, существующие очистные сооружения Маслозавода "Пестравский", Чекмагушевского и Никольского молокозаводов и цеха молочной продукции санатория "Ульяновсккурорт".

Личный вклад автора в полученные научные результаты, включенные в диссертацию, состоит в формулировке цели и задач исследований, разработке методики эксперимента и его проведении, обработке и анализе полученных результатов, формулировании выводов, расчете технико-экономических показателей и внедрения полученных результатов на действующем предприятии.

Положения, выносимые на защиту:

1. Определение кинетических коэффициентов и констант биохимических процессов окисления органических веществ, нитрификации и денитрификации при очистке сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе.
2. Технология биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранных биореакторах с нитри-денитрификацией без предварительной физико-химической очистки.
3. Методика расчета мембранных биореакторов для очистки сточных вод предприятий молочной промышленности.
4. Техничко-экономическое обоснования применения мембранных биореакторов для очистки сточных вод молокозаводов.

Достоверность полученных результатов подтверждается большим объемом и длительностью экспериментальных исследований как на модельных, так и на реальных сточных водах предприятий молочной промышленности, сходимостью расчетных и экспериментальных результатов, применением поверенных приборов, стандартизированных методов измерений и анализа, статистической обработкой результатов. Обоснованность выводов подтверждается сходимостью экспериментальных результатов, полученных на моделях и натурных установках.

Апробация результатов. Основные результаты работы были доложены на 71, 73 и 74 научно-технических конференциях АСА СамГТУ (ранее СГАСУ) «Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика», г. Самара, 2014, 2016 и 2017 гг.; 6-й российско-германской неделе молодого ученого "Urban studies: the city of the future", г. Москва, 2016 г., IX Международной научно-практической конференции "Техновод", г. Ростов, 2016 г., конференции, посвящённой памяти академика РАН С.В. Яковлева, г. Москва, 2017 г., международной конференции «Канализационные очистные сооружения: реконструкция, новое строительство, эффективная эксплуатация», г. Москва, 2017 г., 9-й международной конференции "The efficient use and management of urban water", Великобритания, 2017 г.

Реализация работы.

Результаты диссертационной работы внедрены: при разработке регламента и наладке технологического режима очистных сооружений производительностью 200 м³/сут на молокозаводе "Сут-Булак" в республика Киргизия, при изготовлении установок локальной очистки сточных вод молокозаводов "Сармич" в республике Мордовия и "Казьминский" Ставропольского края производительностью 600 и 900 м³/сут соответственно; в виде рекомендаций по модернизации сооружений локальной очистки и строительства сооружений биологической очистки по технологии МБР производительностью 500 м³/сут маслозавода "Пестравский" Самарской области; а также в учебном процессе АСА

СамГТУ. Расчетный годовой технико-экономический эффект предлагаемой технологии составил 4 млн.руб./год в ценах 2017 г.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 1 в базе данных SCOPUS, 3 в изданиях, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем работы.

Диссертация общим объемом 140 страниц состоит из введения, 5 глав и приложения, содержит 19 таблиц и 51 рисунок. Список литературы включает 122 наименования отечественных и зарубежных авторов.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1 Количественная и качественная характеристика сточных вод

Согласно требованиям [42], исходные данные для проектирования следует определять на основании контроля расхода и свойств поступающих сточных вод за период не менее 3 лет и они должны обеспечивать расчетные показатели с обеспеченностью 85% применительно к среднесуточной пропорциональной пробе. Статистический анализ количественного и качественного состава сточных вод следует производить на основании методики [31, 69]. В случае нового строительства, или отсутствия технологического контроля по составу сточных вод на предприятии следует принимать исходные данные для расчета на основании показателей аналогичных производств.

На предприятиях молочной промышленности воду используют для мойки технологического оборудования, трубопроводов, тары (цистерн, фляг, бутылок и т.д.), мытья полов, панелей производственных помещений, охлаждения молока и молочных продуктов, для работы технологических и паросиловых установок, а также для хозяйственно-бытовых нужд. Часть воды потребляется при восстановлении сухого молока и входит в состав продуктов [21].

Расход и состав сточных вод предприятий молочной промышленности определяются объемом и ассортиментом выпускаемой продукции, технологией производства и связаны с системой водоснабжения. Водоснабжение заводов осуществляется из городских или собственных водопроводов. Вода, направляемая на технологические нужды предприятия, должна соответствовать воде питьевого качества. Для охлаждения вакуум-аппаратов и компрессоров холодильных установок, а также для наружного обмыва автомашин и полива территории предприятия возможно использование технической воды [70].

Система водоснабжения молочных заводов обычно включает прямоточное, обратное и повторное использование воды. Обратное использование воды предусматривается для холодильных установок, вакуум-аппаратов и другого

оборудования, где вода не контактирует с продукцией. Воды от охлаждения продукта в пастеризаторах, от последнего ополаскивания бутылок, конденсат вторичных паров от вакуум-аппаратов можно применять для уборки помещений, полива территории, мойки автотранспорта и других целей (повторное использование воды) [70].

На предприятиях молочной промышленности разделяют два вида производственных сточных вод: загрязненные и незагрязненные. Загрязненные сточные воды образуются при мойке оборудования, технологических трубопроводов, автомобильных и железнодорожных цистерн, фляг, стеклотары, полов, панелей производственных помещений. Незагрязненные сточные воды образуются при охлаждении молока и молочных продуктов и оборудования и, как правило, направляются в систему оборотного водоснабжения или на повторное использование для мойки оборудования, тары и других целей [59].

Расход сточных вод, сбрасываемых предприятием, составляет 80-85% от расхода потребляемой свежей воды. Удельное водопотребление в значительной степени зависит от ассортимента выпускаемой продукции и от загрузки производственных мощностей предприятия. Нормативное водопотребление составляет 3-4 м³/т перерабатываемого молока [33]. Фактические удельные расходы потребляемой воды и сбрасываемых сточных вод на молочных заводах, где отсутствует строгий контроль за расходом воды, недостаточна степень повторного и оборотного ее использования, зачастую превышают нормативные величины. Коэффициенты неравномерности сброса сточных вод колеблются в зависимости от мощности предприятия в пределах 1,4-2 [59]. Тем не менее, в странах с жесткой экономией воды введены особые рекомендации технологического регламента, позволяющие снижать норму водопотребления до 1 м³/т перерабатываемого сырья [94].

Количество загрязненных сточных вод составляет 20-50% общего стока. Расход незагрязненных сточных вод, направляемых в систему оборотного водоснабжения или на повторное использование, составляет от 15-20 до

2500 м³/сут. Количество хозяйственно-бытовых сточных вод составляет 2-10% общего стока [21].

Производственные сточные воды загрязняются потерями молока и молочных продуктов, отходами производства, реагентами, применяемыми при мойке оборудования, и примесями, смываемыми с поверхностей тары, полов, транспорта и пр.[17]

Для снижения количества загрязнений, сбрасываемых заводом со сточными водами, в технологическом процессе должны быть предусмотрены мероприятия по уменьшению потерь сырья и продукции. Эти меры включают сбор и утилизацию сыворотки (путем ее сгущения, сушки, переработки на молочный сахар или реализации в качестве кормов), сбор и сепарацию первых порций воды, получаемых от ополаскивания технологического оборудования по производству высокожирной продукции, оборот и регенерацию моющих растворов и т.п.[35, 54].

Количество загрязненных сточных вод можно определять на основе норм потерь сырья, молочной продукции и удельных расходов сточных вод [21].

Концентрацию загрязнений сточных вод рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{P_1 C_1 + P_2 C_2 + \dots + P_n C_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}, \quad (1.1)$$

где C – концентрация загрязнений сточных вод, г/м³; P_1, P_2, P_n – потери молока и молочных продуктов в различных технологических циклах производства, доли единицы; C_1, C_2, C_n – удельное количество загрязнений на единицу потерь молока и молочных продуктов, г/т; N_1, N_2, N_n – удельный расход сточных вод на единицу молока и молочных продуктов, м³/т.

Удельное количество загрязнений по ХПК и БПК_{полн} молока и молочных продуктов может быть определено по таблице 1.1.

Таблица 1.1

Удельное количество загрязнений по ХПК и БПК_{полн} молока и молочных продуктов

Продукт	Сухое вещество, %	Жир, %	Белок, %	Лактоза, %	ХПК, кг/т	БПК _{полн} , кг/т
Молоко цельное	11,5-12,5	3-4	3,3	4,8	192,9-218,6	135,5-156,2
Молоко обезжиренное	8,3-8,47	0,02-0,06	3,3	4,7-4,9	112-115,3	72,4-75,1
Пахта	7,7-8,0	0,4-0,86	3	4	104,5-111,9	72,4-75,1
Сыворотка	6-6,2	0,1-0,2	1	4,5-4,7	72-77	51,6-55,9
Сливки	40,4-43	33-35	2	3	871-936,5	695-747

Зная потери молока и молочных продуктов на предприятии и пользуясь данными таблицы 1.1, можно по формуле (1.1) определить концентрацию этих загрязнений в сточных водах [70].

При расчете концентраций загрязнений сточных вод по формуле (1.1) следует учитывать дополнительные загрязнения от поступающих в канализацию отработавших моющих растворов, добавок к продуктам и пр. Фактически концентрации загрязнений сточных вод предприятий молочной промышленности колеблются в широких пределах и зависят от профиля и мощности предприятия, технологии производства, вида применяемого оборудования, степени повторного и оборотного использования незагрязненных сточных вод, потерь сырья, утилизации отходов производства и др.[28].

Температура сточных вод предприятий молочной промышленности колеблется от 16 до 33 °С. Высокая температура стока обусловлена использованием горячей воды для мойки оборудования и уборки помещений. Среднемесячная температура сбрасываемых молочными заводами сточных вод составляет зимой 17-18°С, летом 20-25°С [17].

Величина рН сточных вод в значительной степени определяется технологией производства и ассортиментом выпускаемой продукции. Для производств, не связанных с процессами молочнокислого брожения, рН стока близок к нейтральному (6,8-7,4 для молочноконсервных комбинатов, маслодельных заводов). На сыродельных заводах, городских молочных заводах и других предприятиях, вырабатывающих творог и кисломолочные продукты, в

канализационную сеть может сбрасываться определенное количество сыворотки, что обуславливает снижение pH сточных вод до 6,2 [2, 14].

Колебания pH стока часто вызываются также сбросом в канализацию кислотных и щелочных реагентов, применяемых при мойке оборудования. Резкое кратковременное повышение pH общего стока до 10-10,5 может быть объяснено залповым сбросом щелочных моющих растворов, которые в основном применяют на молочных заводах [17].

Длительное пребывание сточных вод в анаэробных условиях (в канализационной сети, отстойниках) обуславливает закисание жидкости в результате молочнокислого брожения и приводит к снижению pH [22].

Взвешенные вещества сточных вод молочных заводов представлены частичками твердых продуктов переработки молока (кусочки творога, молочные пленки, сырное зерно и пр.) и другими примесями (грунт, песок), попадающими в канализацию при мойке технологического оборудования, тары, помещений [21].

Основная часть взвесей (90%) является органическими веществами, как правило, белкового происхождения. Концентрация взвешенных веществ колеблется в широких пределах в зависимости от технологического цикла производства. Концентрация взвешенных веществ в сточных водах молочных заводов колеблется в течение суток; наибольшее количество взвеси поступает в начальный период мойки оборудования [56].

Значения ХПК и БПК_{полн} сточных вод молокозаводов также колеблются в широких пределах и в среднем составляют для городских молочных заводов соответственно 2400 и 1400 мг/л, для сыродельных заводов 3000 и 2400 мг/л. При этом разовые значения концентрации органических веществ по ХПК могут возрастать до 8000-12000 мг/л [29, 33, 58]. В более подробной классификации [10] указывается ХПК и БПК_{полн} для маслодельных заводов 1500 и 1200 мг/л, для производств сухих молочных продуктов 1200 и 1000 мг/л, для молокоприемных пунктов 900 и 700 мг/л, для молочно-консервных 1200 и 1000 мг/л. В более поздних работах диапазон ХПК расширяется и появляются значения 2300-3700 мг/л [17], 2000-6000 мг/л [113] и до 5000 мг/л [72], а широкий ассортимент

выпускаемой продукции на предприятиях не позволил классифицировать данные сточные воды.

Для исходных сточных вод молокозаводов установлена прямая зависимость $\text{БПК}_{\text{полн}} = (0,6-0,84) \text{ХПК}$. Используя это соотношение, по величине ХПК можно ориентировочно рассчитывать $\text{БПК}_{\text{полн}}$ сточных вод молокоперерабатывающего предприятия любого профиля, что значительно облегчает анализ состава сточных вод и контроль за работой очистных сооружений. Следует иметь ввиду, что между БПК_5 и $\text{БПК}_{\text{полн}}$, а также между БПК_5 и ХПК отсутствует четкая взаимосвязь, следовательно, значение БПК_5 для сточных вод молокозаводов не является объективным показателем загрязнения сточных вод [21].

Содержание жиров в сточных водах предприятий молочной промышленности определяется в основном ассортиментом выпускаемой продукции и технологией производства. В зависимости от этих факторов изменяется не только концентрация жиров в сточных водах, но и вид этих загрязнений. Сточные воды цельномолочного производства содержат жиры в том же виде, что и натуральное молоко, поскольку потери молока являются основным загрязнением этих стоков [29, 55]. Жиры молока представляют собой мельчайшие шарики, окруженные гидратированной белковой оболочкой, которые крайне медленно всплывают при отстаивании сточных вод [55].

При производстве высокожирной продукции (сливок, сметаны, масла) из молока извлекаются крупные шарики жира, происходит их слипание и укрупнение, а также разрушение белковой оболочки. Поэтому жировые примеси, содержащиеся в сточных водах таких производств, существенно отличаются по виду и концентрации подобных загрязнений сточных вод других молочных заводов. Выделение молочных примесей из сточных вод производств высокожирной продукции, например, путем отстаивания жидкости, происходит значительно быстрее и эффективнее, чем из сточных вод других производств [56].

При химическом анализе сточных вод определяют содержание жиров и жироподобных веществ, экстрагируемых эфиром или хлороформом. Концентрация экстрагируемых веществ в сточных водах заводов и цехов,

специализированных на выпуске высокожирной продукции, составляет 200-400 мг/л, в сточных водах других видов производства обычно не превышает 100 мг/л [59].

Общий азот в сточных водах молочной промышленности представлен в белковой и небелковой форме. В молочном белке содержится 15-17% азота и 0,65% фосфора [12]. При использовании фосфорсодержащих и азотсодержащих моющих средств сточные воды могут содержать высокие концентрации азота и фосфора [15]. Содержание общего азота в сточных водах городских молочных заводов, молочноконсервных комбинатов, маслодельных заводов составляет 50-60 мг/л, или 4,2-6% от БПК_{полн}, сыродельных заводов – 90 мг/л, или 3,7% БПК_{полн}. Концентрация фосфора обычно составляет 0,6-0,7% от БПК_{полн} [21]. В сточных водах сыродельных заводов могут наблюдаться более высокие концентрации общего азота, что обусловлено дополнительным введением нитратов при производстве некоторых видов твердых сыров [94]. Концентрации солей азота и фосфора в сточных водах молокозаводов являются достаточными для нормального протекания процесса биологической очистки и размножения бактерий, участвующих в окислении загрязнений этих стоков [17].

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 растворах. Концентрация хлоридов в сточных водах молочных заводов достигает 800-1000 мг/л и составляет в среднем 150-200 мг/л. Достаточно высокое содержание хлоридов позволяет применять при очистке сточных вод молочных заводов методы электрофлотации и электрокоагуляции [21].

1.2 Методы очистки сточных вод предприятий молочной промышленности

Загрязненные сточные воды подвергают очистке совместно с бытовыми сточными водами населенных пунктов или других предприятий. Самостоятельная очистка производится только при отсутствии технической возможности или

экономической целесообразности подачи стоков на общие очистные сооружения [70].

Особое внимание при очистке сточных вод следует уделять выделению из смывных вод ценных пищевых компонентов, которые при попадании в канализацию и в водоемы на стадии разложения выделяют высокотоксичные продукты [36]. Современные технологии с использованием коагуляции и флокуляции смывных вод с целью выделения белков и жира описаны в работах [59]. На молочных заводах, производящих такие продукты как творог, сыр, казеин и другие концентрированные белковые продукты (или их полуфабрикаты) образуется сыворотка, особенно актуальным вопросом является ее выделение. Выделение сыворотки выполняется методами флокуляции, ультрафильтрации и др. [35, 54, 71]. Отработанный рассол от посола сыров на этих предприятиях может быть обработан на микрофильтрационных мембранах и использоваться в технологическом процессе посола сыров повторно [39].

Современные предприятия молочной промышленности, как правило, оборудованы станциями безразборной CIP-мойки (*CIP – cleaninplace, англ.*) для очистки технологических трубопроводов и оборудования на предприятии. Отработанные щелочные и кислотные моющие растворы от CIP-станции рекомендуется очищать с помощью нанофильтрации и возвращать в систему для повторного использования на CIP и на технологические нужды [39].

На территории предприятия перед сбросом стоков в канализационную сеть, как правило, располагают следующие сооружения: усреднители расхода отработавших моечных растворов, обеспечивающие прием залпового сброса с последующим равномерным выпуском его; грязеотстойники с маслотовушками у площадок мойки автомобилей [2].

Для механической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности предусматривают установку решеток, песколовок, жироловок, осветлителей с естественной аэрацией, осветлителей-перегнивателей, вертикальных отстойников [21].

Усреднение и нейтрализация сточных вод осуществляется в резервуаре с перемешиванием мешалками и крупнопузырчатой аэрацией. Подача кислоты (щелочи) должна быть автоматизирована, однако практика показывает, что автоматизация этого процесса крайне редко встречается на предприятиях молочной промышленности [26]. Объем резервуара рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить перекачку воды с коэффициентом часовой неравномерности 1,15-1,25. Для поддержания начальной температуры сточных вод необходимо предусматривать теплоизоляцию резервуара [1, 17].

Жироловки и специальные устройства для удаления жиров применяются, как правило, на предприятиях масложировой промышленности. Различные конструкции устройств для удаления жира описаны в работах [28, 53].

Опыт применения флотационных способов очистки стоков предприятий молочной промышленности показал, что флотация без добавки коагулянтов малоэффективна, так как позволяет снизить концентрацию жиров только на 50-60%, ХПК на 35-45%, а взвешенных веществ на 40-50% [17].

При применении в качестве коагулянтов сернокислого алюминия или хлорного железа дозой 100 мг/л (по безводной соли) на 1000 мг/л загрязнений по ХПК при pH=6,7 эффективность очистки по взвешенным веществам составляет 75-80%, по жирам 80-90%, по БПК_{полн} 60-70%. Однако из-за высокой дозы реагента, сложности реагентного хозяйства и большого объема образующегося осадка (до 10% количества сточных вод) реагентная напорная флотация по мнению авторов справочника [17, 34] нецелесообразна. Кроме того, флотошлам после реагентной обработки содержит значительное количество ионов металла, что может ингибировать последующий процесс аэробной стабилизации, соответственно усложняя обезвоживание флотошлама и увеличивая затраты на вывоз жидких отходов. Поэтому отдается предпочтение безреагентной флотации [21].

Также экспериментально доказано, что в схемах с дальнейшей биологической очисткой, применение реагентной флотации приводит к резкому

снижению фосфатов в сточных водах, что препятствует нормальному течению процессов биологической очистки [70].

Тем не менее, реагентная предварительная обработка сточных вод молочных производств широко используется, а исследования направлены на выбор оптимальных реагентов и их доз [64, 82]. В практике эксплуатации сооружений очистки сточных вод молокозаводов также применяется их обработка алюмокремневыми коагулянтами-флокулянтами [27], модифицированными и немодифицированными флокулянтами [57, 61], бифлокулянтами [8] и коагулянтами на основе отходов сельскохозяйственных производств [20, 38].

Биологические методы удаления органических загрязнений считаются наиболее экономически эффективными и экологически приемлемыми. На практике нашли применение различные варианты схем, основанных на биологическом методе очистки сточных вод молокозаводов.

Существуют схемы с окислительными каналами, включающие: решетки, песколовки, окислительные каналы, вторичные отстойники. Сточные воды в каналах циркулируют постоянно. Устройство каналов с двумя парами параллельно расположенных рукавов позволяет осуществить непрерывную работу станции без первичного отстойника [55].

Во многих странах для очистки сточных вод молокозаводов применяются сооружения, в которых главную роль играют биологические фильтры различных конструкций. В состав таких сооружений чаще всего входят решетки, песколовки, первичные отстойники, биологические фильтры, вторичные отстойники, камеры для ферментации ила и площадки для его обезвоживания [110].

В последнее время на многих очистных сооружениях, работающих по схеме с активным илом, не предусматриваются первичные отстойники. Сточные воды после решеток и песколовок направляются в аэротенки [119].

Выбор биологических методов очистки также обусловлен наличием в сточных водах биогенных элементов, удаление которых с применением биологической очистки наиболее рационально.

Так, опыт работы предприятий "Danone" и "EhrmannAG", описанный в работе [17], показывает целесообразность применения при сбросе в водоем биологической очистки в циклических реакторах, которые в периоды остановки воздуходувок обеспечивают не только окисление органических веществ, но и процессы денитрификации. Удаление фосфора предусмотрено реагентным методом.

Применение последовательной аноксидной и аэробной фаз биологической очистки в циклических реакторах на молокозаводе в Бразилии позволило обеспечить высокую эффективность нитрификации и удаления органических загрязнений [107].

Технология анаэробной очистки высококонцентрированных сточных вод молокозаводов широко распространена за рубежом. В России эффективное применение данной технологии описано в работах [14, 72], однако применение данной технологии тормозится как из-за отсутствия рекомендаций по расчету и проектированию сооружений, относительно низкой стоимости энергоресурсов, так и в результате действия более жестких нормативов на прием загрязняющих веществ в системы водоотведения населенных пунктов.

Анаэробные процессы характеризуются гораздо более низким приростом биомассы и позволяют получать биогаз как энергоноситель. Поэтому анаэробную ступень рекомендуется применять в качестве первой ступени очистки высококонцентрированных сточных вод молокозаводов с ХПК от 2500-3000 мг/л [13, 14, 90]. В мировой практике применения анаэробных сооружений на молокозаводах приходится лишь 2% [22].

Сточные воды многих молочных производств богаты фосфором. В составе сооружений биологической очистки применяют реагентное и биолого-реагентное удаление фосфора. Технология биолого-реагентного удаления фосфора проверялась на сточных водах молокозавода в Новой Зеландии. При нахождении в анаэробной зоне в течение 2,5 часов наблюдалось удаление 42 мгР/л [72].

1.3 Использование биомембранной технологии для очистки сточных вод промышленных предприятий

Перспективным техническим решением для биологической очистки сточных вод молокозаводов является технология мембранного биореактора (МБР), объединяющая преимущества биологического и мембранного процессов. Сточные воды после предварительной механической и физико-химической очистки направляются в биореактор с активным илом. Мембраны могут быть погружены внутрь аэротенка, или вынесены в отдельное помещение. Разделение ила происходит за счет использования микро- и ультрафильтрационных мембран с размером пор 0,04-0,5 мкм, что меньше размера хлопьев активного ила. Невозможность выноса ила из системы позволяет повысить концентрацию ила в аэротенках в 2-3 раза, соответственно увеличить окислительную мощность биореактора, а также отказаться от вторичных отстойников и фильтров доочистки, так как пермеат практически не содержит взвешенных веществ, а также размер пор мембраны меньше размера бактерий, что позволяет физическое обеззараживание. Для обеспечения постоянной эффективной работы мембран установки оборудованы системами аэрации, реагентным хозяйством для химической очистки [24].

В мембранном биореакторе применяют в основном погруженные в иловую смесь блоки половолоконных или плоскорамных микро- или ультрафильтрационных мембран, обеспечивающих отведение пермеата под вакуумом. Их промывка осуществляется путем периодической химической обратной промывки (лимонная кислота, гипохлорит, сода, щелочь и др.), которая производится непосредственно в реакторе, а для половолоконных мембран также предусматривается частая обратная промывка потоком очищенной воды [118, 120, 121].

Применяемые в МБР мембраны изготавливаются в основном из полимеров (полиэтилена, полисульфона, полиэтиленсульфона, полиакриланитрила, поливинилиденфторида, поливинилхлорида и др.), а в ряде случаев из

неорганических материалов (оксиды Al, Ti, Zr и др.). По своей геометрии, применяемые в МБР мембраны делятся на трубчатые, плоскостные и полволоконные. Наиболее распространены в практике очистки сточных вод плоскостные и полволоконные мембраны [100].

Экспоненциальный рост количества МБР и производительности промышленных установок начался с середины 1990-х годов. Стимулирует использование биомембранных технологий, несмотря на более высокую стоимость по сравнению с традиционными сооружениями, строгое природоохранное законодательство, повышение стоимости услуг водоотведения, необходимость очистки производственных сточных вод, международный стандарт по созданию экологического менеджмента ISO 14001, наличие устаревших очистных сооружений, обеспокоенность общественности экологическими проблемами и интерес инженерного сообщества [100].

Важным свидетельством востребованности технологии МБР является постоянно возрастающее количество вводимых в эксплуатацию установок по очистке сточных вод с использованием данной технологии. Уже к 2010 г. было отмечено успешное ее применение на более 7000 сооружений очистки и доочистки сточных вод по всему миру [98, 102].

По обобщенной информации на 2014 г., 60% сооружений очистки с МБР очищают хозяйственно-бытовые сточные воды и 40% используются для обработки производственных стоков. Более 99% всех МБР-установок оснащены мембранными модулями погружного типа, так как они позволяют устойчиво работать в жестких условиях с концентрацией ила до 15 г/л и отличаются более низкими энергозатратами и простотой обслуживания [9].

Особенно следует отметить широкое применение технологии МБР для очистки производственных сточных вод, концентрации загрязняющих веществ которых значительно превышают аналогичные значения для хозяйственно-бытовых стоков и классические схемы очистки зачастую не способны обеспечивать достижение нормативных требований к качеству очищенных сточных вод. Применение МБР для очистки производственных сточных вод также

обосновано при наличии трудноокисляемых загрязнений, ограниченной территории для размещения очистных сооружений, повторного использования очищенных сточных вод [45, 100].

Ключевой проблемой эффективной эксплуатации биологических очистных сооружений производственных сточных вод, в частности молокозаводов, является повышенный иловый индекс и низкая способность к седиментации активного ила на стадии вторичного отстаивания. Современные полимерные и неорганические мембраны, применяемые в технологии МБР, являются физическим барьером, исключающим возможность выноса биомассы из зоны биологической очистки [121].

Одновременно с удалением взвешенных веществ происходит обеззараживание на поверхности мембраны, что особенно актуально для сточных вод предприятий пищевой промышленности [7].

В настоящее время известно множество примеров успешного внедрения технологии МБР для очистки и доочистки производственных сточных вод в различных отраслях промышленности: фармацевтике [79], оптоэлектронной [84], текстильной [88], химической и целлюлозно-бумажной промышленности [76, 88], на нефтеперерабатывающих предприятиях [11, 44]. Одним из самых перспективных является направление внедрения технологии МБР на предприятиях пищевой промышленности. Имеются данные об эффективной очистке сточных вод с использованием мембранного биореактора на производствах соков, вина, пива [78, 99], мясоперерабатывающих предприятиях [101, 103], производствах молока и молочных продуктов [80].

Мембранный биореактор может быть использован в комбинации с различными технологическими схемами биологической очистки сточных вод [44]. Для производственных сточных вод, обогащенных соединениями азота, наряду с удалением органических веществ необходимо проводить нитрификацию. Исследования процессов нитрификации при биомембранной очистке показали уменьшение нагрузки на нитрифицирующие бактерии и поддержание их роста в

условиях низких температур и торможения процесса биологического окисления [95, 106, 122].

Актуальными в настоящее время являются исследования технологических и кинетических параметров очистки производственных сточных вод в мембранном биореакторе как для общего, так и для отдельных потоков концентрированных сточных вод на промышленных предприятиях [51, 67, 68].

Загрязнение мембран является общей проблемой в любых мембранных процессах, однако из-за крайне гетерогенной природы иловой смеси в биореакторах, в частности присутствия микроорганизмов, предсказывать и управлять загрязнением мембран в МБР наиболее сложно. Микроорганизмы производят внеклеточные высокомолекулярные полимеры с высокой способностью к загрязнению мембран. На загрязнение также влияет структура и размер хлопка активного ила. Характеристики процесса загрязнения еще более усложняются при изменении физических, химических, и физиологических параметров иловой смеси и качества очищаемой воды во времени. Работа с высокими дозами ила имеет ряд достоинств, так как при этом сокращается прирост ила и снижаются объемы сооружений, но слишком высокие дозы ила обуславливают увеличение вязкости иловой смеси, что снижает массопередачу [111, 112].

Основные закономерности взаимосвязи темпов забивания мембран с параметрами работы биореактора и условиями фильтрования описаны в литературе и выпускаются в качестве рекомендаций для расчета производителями мембран [24]. Тем не менее, опубликованные данные требуют корректировки для каждого вида сточных вод в ходе эксплуатации. Также в литературе отсутствуют данные о влиянии химических промывок на биологические процессы.

1.4 Выводы по главе 1

1. Имеющиеся в технической литературе сведения о качественном составе сточных вод предприятий молочной промышленности не дают достаточной информации по выбору исходных данных для

проектирования сооружений очистки сточных вод, ввиду отсутствия четкой классификации не только по видам выпускаемой продукции, но и технологии основного производства.

2. Определено, что сточные воды любого предприятия молочной промышленности характеризуются высокой концентрацией органических веществ и биогенных элементов и в целом их можно отнести к биологически окисляемым, так как соотношение $\text{БПК}_{\text{полн}}/\text{ХПК}$ составляет 80-84%.
3. Наибольшее распространение на территории Российской Федерации получила схема очистки сточных вод, включающая жироловки, усреднители, установки напорной реагентной флотации, биологические очистные сооружения с аэротенками или биофильтрами. Частыми проблемами, выявленными на подобных станциях, являются нестабильная работа установки физико-химической очистки в связи с отсутствием автоматизированных систем корректировки pH и дозирования коагулянта, а также неэффективная работа сооружений биологической очистки, требующая их модернизации для полного окисления органических веществ, нитрификации, денитрификации и исключения выноса биомассы из вторичных отстойников.
4. Положительный опыт эксплуатации мембранных биореакторов на предприятиях различных отраслей промышленности при многократном увеличении концентрации активной биомассы и полном удержании микроорганизмов в биореакторах, исключения ступеней отстаивания и фильтрования, показывает целесообразность применения данной технологии на предприятиях молочной промышленности.
5. Научный и практический интерес представляет оценка влияния химических промывок мембран "in-line" на течение биологических процессов в мембранном биореакторе.

ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Программа и объекты исследований

Решение поставленных задач потребовало проведения широких экспериментальных исследований, программа которых состояла из двух этапов:

1. Проведение исследований на модели сточных вод предприятий молочной промышленности;
2. Проверка и уточнение полученных результатов на реальных сточных водах промышленного предприятия.

Первый этап исследований был проведен как в контактных условиях, так и в проточных на пилотной установке. Модель сточных вод молокозаводов была разработана на основе анализа состава сточных вод различных предприятий молочной промышленности, представленного в разделе 2.2. Для приготовления модельного стока использовали раствор молока с добавлением однозамещенного фосфата калия, хлорида аммония и нитрата натрия в пропорциях, соответствующих концентрациям загрязняющих веществ до и после физико-химической очистки.

На втором этапе лабораторные исследования на реальных сточных водах в контактных условиях проводились со сточными водами Маслозавода "Пестравский", Чекмагушевского и Никольского молокозаводов и цеха выпуска молочной продукции на территории санатория "Ульяновсккурорт". Эксперимент в динамических условиях на пилотной установке был проведен на сточных водах Маслозавода "Пестравский".

2.2. Обоснование модели сточных вод

Для оценки состава сточных вод в современных условиях на шести российских и одном киргизском предприятиях молочной промышленности был проведен анализ протоколов лабораторных исследований, выполненных аккредитованными лабораториями за период от 6 месяцев до трех лет (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Состав сточных вод на действующих предприятиях молочной промышленности
(средние значения)

Показатели	Сыроваренные заводы			Заводы цельномолочной продукции			
	1	2	3	4	5	6	7
	с. Жылуу-Булак, Респ. Кыргызстан	г. Белебей, Респ. Башкортостан	с. Инсар, Респ. Мордовия	с. Никольское, Красноярский край	с. Пестровка, Самарская область	с. Ундоры, Ульяновская область	пос. Красный Яр, Самарская область
рН	4,5-11,1	4,4-8,9	4,6-9,2	4,8-7,5	6,8-7,12	2-12	3,9-5,8
Взвешенные вещества, мг/л	307	303	-	356	219	-	994
ХПК, мг/л	760	580	2147	1518	1542	1668	3731
БПК _{полн} , мг/л	543	301	1450		1303	980	1634
БПК ₅ , мг/л	-	-	-	796	912	-	1144
Азот аммонийный, мг/л	1,66	5,5	21,1	14,04	20,7	-	14
Азот нитритов, мг/л	1,1	0,7	-	0,02	1,6	-	0,01
Азот нитратов, мг/л	0,44	11,7	4,6	0,1	3,3	-	0,1
Фосфор фосфатов, мг/л	8,51	7,5	55,1	0,15	3,3	9,56	9,93
Жиры, мг/л	-	20,2	-	38,2	33	-	-
Режим мойки оборудования и трубопроводов	СІР	СІР	СІР	СІР	СІР	СІР	ручная
Методы переработки подсырной и творожной сыворотки	вывоз	сушка	сброс в канализацию	вывоз	сброс в канализацию	сброс в канализацию	сброс в канализацию

Анализ данных таблицы 2.1 показывает, что состав сточных вод современных предприятий сильно зависит от двух основных параметров технологии производства: режима мойки оборудования и технологических трубопроводов и метода переработки сыворотки для сыроваренных заводов. Данные особенности в технологии производства оказывают серьезное влияние на состав сточных вод, что не может не сказаться и на технологии их очистки.

Следует отметить, что при рассмотрении ассортимента выпускаемой продукции на предприятиях молочной промышленности практически исключена работа лишь по выпуску одного конкретного продукта, поэтому в таблице 2.1 сыроваренными называются заводы, на которых более 80% перерабатываемого молока идет на производство твердых сыров.

Анализ качественного состава сточных вод сыроваренных заводов по органическим загрязнениям показывает, что при сбросе подсырной сыворотки в канализацию ХПК в общем потоке сточных вод предприятия увеличивается в несколько раз. Это справедливо, так как при исследовании химического состава различных потоков предприятия, сбрасываемых в общую сеть канализации на молокозаводе г. Белебей, было установлено, что в пермеате установок нанофильтрации цеха переработки подсырной сыворотки содержится 2725 мг/л ХПК и 1200 мг/л БПК₅, в то время как в сыворотке в чистом виде ХПК составляет 51-56 г/л.

Анализ состава сточных вод предприятий, выпускающих цельномолочную продукцию свидетельствует о том, что на предприятиях с применением автоматизированных систем безразборной мойки оборудования (*CIP*), фактические концентрации органических загрязнений приближены к литературным данным, однако в настоящее время продолжают действовать молокозаводы, применяющие ручные методы обработки, для которых справочные данные некорректны и концентрации органических веществ на этих предприятиях выше.

На всех анализируемых предприятиях молочной промышленности наблюдается низкое содержание жиров относительно представленных литературных данных. Это связано с технологическим регламентом по очистке оборудования перед его промывкой и мероприятий по уменьшению потерь сырья. Технологи предприятий 2 и 5 также отмечают, что за последние десятилетия, благодаря серьезному технологическому контролю, перестали возникать проблемы с прочисткой канализационных коллекторов от жира, а

контролирующие организации перестали выполнять отборы проб по данному показателю.

Значительная разница в концентрациях азота аммонийного и фосфора фосфатов на всех анализируемых предприятиях связана с используемыми на производстве реагентами для промывки оборудования и технологических трубопроводов. Повсеместное применение азотных кислот и ортофосфатов, особенно на предприятиях, имеющих собственные приемно-мочные отделения для молоковозов, приводит к повышению их концентраций в сточных водах. Имея информацию о суточных расходах применяемых реагентов и объемах воды на промывку, возможно произвести расчет данных показателей в общем потоке сточных вод предприятия.

При расчете количества нитратов на сыроваренных заводах следует учитывать применение при производстве некоторых видов твердых сыров специального введения нитратов. В России допустимо введение нитратов до 30 мг/л перерабатываемого молока.

Следует также отметить, что при химическом анализе сточных вод крайне редко выполняется контроль по общему азоту и фосфору. Однако, по представленной информации в справочной литературе по содержанию азота и фосфора в белке, можно производить пересчет на ХПК согласно данным представленным в главе 1.

Анализ данных ряда действующих в настоящее время предприятий молочной промышленности позволил актуализировать классификацию по составу сточных вод предприятий, выпускающих цельномолочную продукцию и твердые сыры по типу выпускаемой продукции, режимам мойки технологического оборудования и трубопроводов и методам переработки сыворотки. Установлено, что рН сточных вод всех предприятий колеблется в пределах 2-12. Концентрации азота аммонийного находятся в диапазоне 5-20 мг/л, нитритного – 0,01-1,5 мг/л, нитратного – 0,1-12 мг/л, белковый азот и фосфор может быть определен из расчета 2,4% ХПК и 0,1% ХПК соответственно. Для всех предприятий концентрация жиров находится в диапазоне 5-50 мг/л. Определено, что для

предприятий с автоматизированной мойкой оборудования концентрация взвешенных веществ составляет 300-360 мг/л, а при использовании ручной мойки достигает 1000 мг/л. Концентрация органических веществ по ХПК и БПК_{полн} на заводах цельномолочной продукции при автоматизированной мойке находится в пределах 1500-1700 и 980-1300 мг/л соответственно, а при ручной мойке в среднем составляет соответственно 3800 и 1600 мг/л. Для сыроваренных заводов со сбросом сыворотки в канализацию ХПК достигает 2150 мг/л, а при переработке сыворотки – 580-760 мг/л (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1. Классификация предприятий, выпускающих цельномолочную продукцию и твердые сыры по составу сточных вод

2.3 Методика определения кинетических коэффициентов и констант процессов биохимического окисления

Процесс биологической очистки загрязняющих веществ происходит при непосредственном контакте сточных вод с микроорганизмами в присутствии соответствующего количества растворенного кислорода. Микроорганизмы трансформируют загрязняющие вещества и очищают сточные воды в результате биосорбции, биохимического окисления. В ходе биологических процессов происходит разложение органических веществ на более простые соединения с последующим окислением до углекислоты и воды, а высвободившаяся энергия аккумулируется в процессах фосфорилирования в фосфатных связях АТФ и может затем использоваться в анаболических реакциях клеточного синтеза и для обеспечения энергетических нужд клетки [16, 19, 62, 65, 74].

Для математического описания закономерностей протекающих биохимических процессов в последние десятилетия исследователи применяют теоретические закономерности, признанные в современной биохимии и микробиологии. На основании многочисленных экспериментальных исследований [6, 25, 30, 31, 45, 69, 73, 75] была доказана применимость уравнений ферментативных реакций для описания процессов биологической очистки сточных вод, что позволяет анализировать кинетику окисления отдельных компонентов и идентифицировать механизмы торможения.

Математическое описание кинетики ферментативных реакций основано на предположении о существовании комплекса фермента с субстратом и зависимости скорости реакции от скорости распада этого комплекса с образованием свободного фермента и продукта реакции:



где E – фермент, S – субстрат, ES – комплекс фермент-субстрат, P – продукты реакции, k_1, k_{-1}, k_2 – константы скорости.

Влияние концентрации субстрата исследуют путем измерения скорости реакции в серии опытов с разной концентрацией субстрата. График зависимости

скорости ферментативной реакции (ρ) от концентрации субстрата при фиксированной концентрации фермента представляет собой гиперболу (рисунок 2.2).

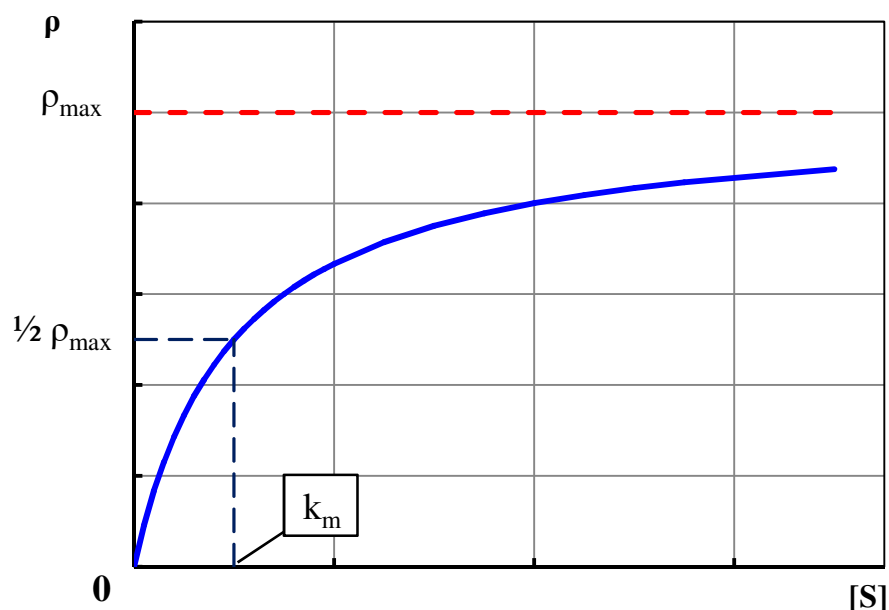


Рисунок 2.2. Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата при постоянной концентрации фермента

Вначале скорость реакции прямо пропорциональна концентрации субстрата, при ее дальнейшем увеличении скорость реакции постепенно достигает максимального значения. Это означает, что все молекулы фермента связаны в фермент-субстратный комплекс ES и скорость реакции уже не увеличивается с ростом концентрации субстрата. Такую зависимость называют кривой субстратного насыщения [18, 23].

Уравнение, описывающее кривую субстратного насыщения, было предложено Михаэлисом и Ментен и носит их имена (уравнение Михаэлиса-Ментен):

$$\rho = \frac{\rho_{\max} [S]}{K_m + [S]}, \quad (2.2)$$

где $\rho_{\max}$ – максимальная скорость реакции при данных условиях опыта;
 K_m – константа Михаэлиса.

Константа Михаэлиса характеризует прочность фермент-субстратного комплекса - меньшее значение K_m соответствует более прочному связыванию субстрата с ферментом [62].

Нахождение величин ρ_{max} и K_m из зависимости (2.2) требует набора данных во всем диапазоне концентраций. Стандартным решением такой проблемы является приведение зависимости к уравнению прямой путем преобразования координат. В энзимологии популярным является прием, предложенный Лайнувером и Берком, подразумевающий запись уравнения Михаэлиса-Ментен в обратных величинах [18]:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_{max}} + \frac{K_m}{\rho_{max}[S]}. \quad (2.3)$$

По графику уравнения Лайнувера-Берка удобно определять ρ_{max} и K_m . Для этого полученную прямую доводят до ее пересечения с осями абсцисс и ординат. Значение ρ_{max} равно обратной величине отрезка, отсекаемого на оси ординат, а значение K_m равно обратной величине отрезка, отсекаемого на отрицательной ветви оси абсцисс (рисунок 2.3).

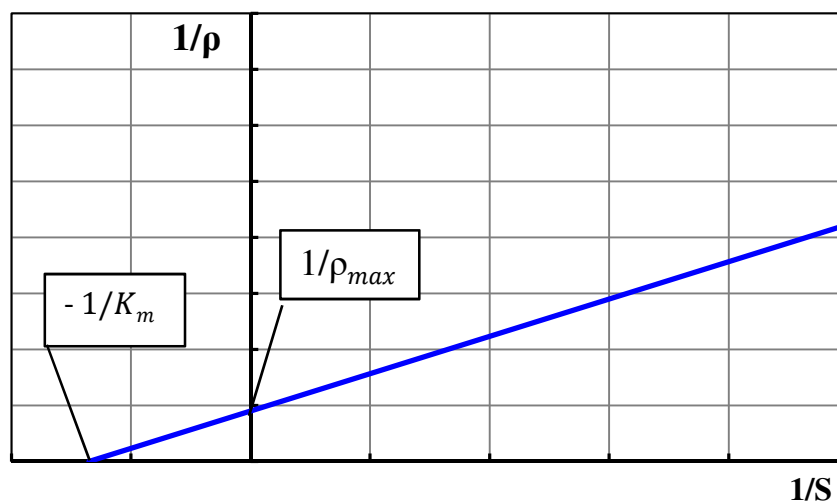


Рисунок 2.3. Графический метод определения K_m и ρ_{max} из уравнения Лайнувера-Берка

На скорость биохимических процессов, кроме концентрации субстрата S , влияет ряд параметров среды: концентрация кислорода C_o , pH, температура T и т.д.:

$$\rho = \rho_{max} f(S) f(C_o) f(pH) f(T), \quad (2.4)$$

Зависимость скорости аэробного процесса от концентрации растворенного кислорода можно описать уравнением:

$$\rho = \rho_{max} \cdot \frac{C_o}{C_o + K_o}, \quad (2.5)$$

где K_o – константа насыщения по кислороду, мг/л.

Константа насыщения K_o зависит от размера флокул и от температуры, поскольку температура влияет на диффузию кислорода внутрь флокул. Объединяя выражения (2.9) и (2.10), получим:

$$\rho = \rho_{max} \cdot \frac{S}{S + K_m} \cdot \frac{C_o}{C_o + K_o}, \quad (2.6)$$

Отметим, что зависимости (2.4) и (2.5) имеют место в условиях лимитирования аэробного процесса по кислороду, т.е. до концентрации растворенного кислорода 2-3 мг/л. При большем содержании кислорода дальнейшее его увеличение, как правило, не увеличивает скорость процесса, однако приводит к перерасходу электроэнергии на аэрацию [4, 25, 52, 75].

Зависимость скорости аэробной конверсии от pH имеет сложный характер, что связано с наложением нескольких факторов – pH-зависимости для конкретных микроорганизмов и селекции различных микроорганизмов. Скорость процесса может быть представлена в виде зависимости от оптимального значения pH:

$$\rho_{(pH)} = \rho_{max(pH_{opt})} \cdot \frac{K_{pH}}{K_{pH} + 10^{pH_{opt}-pH} - 1}, \quad (2.7)$$

где K_{pH} – pH-константа.

Однако следует отметить, что зависимость (2.7), предложенная в работе [56], справедлива лишь для построения кривых с $pH < pH_{opt}$, для обработки всего диапазона данных нами предлагается следующая модификация этого уравнения:

$$\rho_{(pH)} = \rho_{max(pH_{opt})} \cdot \frac{K_{pH}}{K_{pH} + 10^{|pH_{opt}-pH|} - 1}, \quad (2.8)$$

Обычно скорость аэробных процессов снижается при низких значениях pH, которые могут быть связаны как с кислотностью исходных сточных вод, так и быть результатом нитрификации или химического осаждения фосфора, pH-константа для аэробной гетеротрофной конверсии городских стоков находится в пределах 150-250. Нитрифицирующие бактерии могут развиваться при pH от 4,6 до 13, денитрифицирующие микроорганизмы наиболее интенсивно развиваются при pH=7-8,6, бактерии, окисляющие формальдегид, - при pH=7-8 [37].

Зависимость скорости аэробных процессов от температуры в интервале от 0 до 32°C можно описать уравнением Вант-Гоффа [65]:

$$\rho_{(T)} = \rho_{\max(20^{\circ}\text{C})} \cdot e^{\chi(T-20)}, \quad (2.9)$$

где χ - температурная константа (имеет различные значения для гетеротрофной аэробной конверсии, денитрификации и нитрификации).

Биологическая очистка производственных сточных вод также осложняется тем, что некоторые специфические ингредиенты вызывают нарушение нормальной жизнедеятельности микроорганизмов и оказывают на них токсическое действие [11, 83, 87, 93, 96]. Механизм действия разных токсичных соединений чаще всего сводится к повреждению каких-либо составных частей клетки. Интоксикация обычно проявляется лишь при высоких концентрациях вещества [37, 52].

Ингибирование ферментативной активности может быть необратимым или обратимым, конкурентным или неконкурентным. Классификация ингибиторов на конкурентные и неконкурентные основана на том, что при повышении концентрации субстрата их действие ослабляется (конкурентное) или не ослабляется (неконкурентное) (рисунок 2.4) [73].

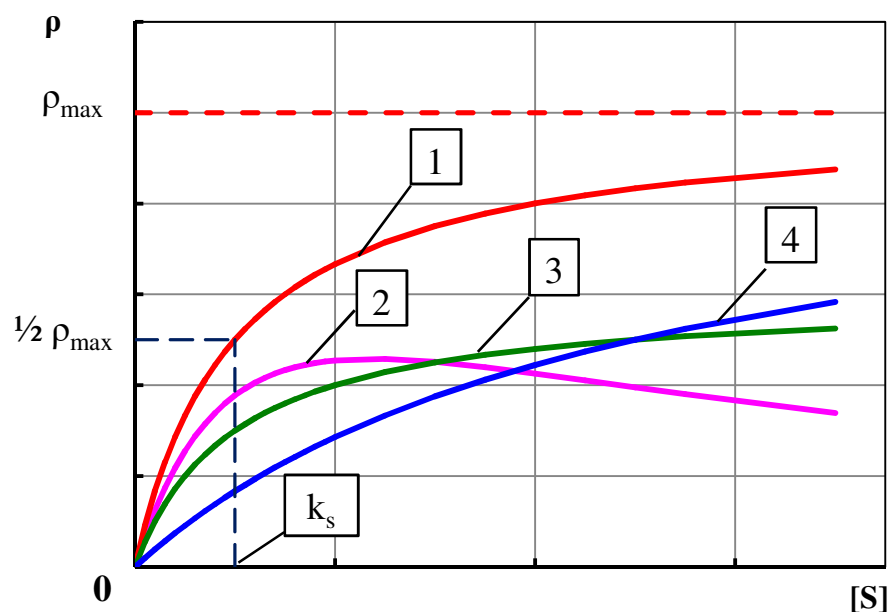


Рисунок 2.4. Зависимость удельной скорости биохимической реакции от концентрации субстрата:

1 – без торможения; 2 – торможение субстратом; 3 – неконкурентное торможение; 4 – конкурентное торможение

При конкурентном ингибировании связывание фермента с ингибитором предотвращает связывание с субстратом, а уравнение для определения скорости ферментативной реакции имеет вид:

$$\rho = \frac{\rho_{max}S}{S+K_m(1+I/K_i)}, \quad (2.10)$$

где K_i - константа ингибирования, I - концентрация неконкурентного ингибитора.

При неконкурентном ингибировании связывание фермента с ингибитором не влияет на связывание фермента с субстратом, но предотвращает образование продукта. Скорость ферментативной реакции в данном случае определяется уравнением:

$$\rho = \rho_{max} \frac{K_i}{K_i+I} \frac{S}{K_m+S}, \quad (2.11)$$

Для разных, но постоянных значений конкурентного ингибитора, зависимость скорости реакции от концентрации в координатах Лайнувера-Берка будет выглядеть как семейство прямых, отсекающих на оси ординат одинаковый

отрезок, равный $\frac{1}{\rho_{max}}$, причем угол наклона этих прямых будет тем больше, чем больше концентрация ингибитора.

В присутствии же постоянной концентрации неконкурентного ингибитора изменения зависимости Лайнувера-Берка состоит в увеличении угла наклона прямых и увеличения отрезка, отсекаемого прямыми на оси ординат.

При биологической очистке сточных вод торможение скорости окисления органических веществ может быть также вызвано самим субстратом, что носит название субстратного ингибирования и чаще всего наблюдается при очистке концентрированных сточных вод. Механизм данного процесса заключается в том, что связывание молекулы фермента со второй молекулой субстрата приводит к образованию неактивного комплекса ES_2 [93, 96].

Кинетическое уравнение для субстратного ингибирования имеет вид:

$$\rho = \frac{\rho_{max}S}{K_m + S + S^2/\alpha K_m}, \quad (2.12)$$

где α является константой торможения.

Схематично данная модель представлена на рисунке 2.4 (кривая 2).

Определение константы торможения α имеет практический интерес, так как позволяет оценить характер и вид торможения, и тем самым определить пути снятия этого торможения. Величина $\alpha > 1$ свидетельствует о конкурентном механизме торможения субстратом, которое зависит от концентраций субстрата, фермента и их сродства. Токсический эффект при таком торможении можно снизить уменьшив концентрацию субстрата, или повысив дозу активного ила, или снизив K_m путем длительной адаптации активного ила. При неконкурентном торможении при $\alpha \leq 1$ степень торможения может быть снижена только путем снижения концентрации токсичного субстрата, содержащегося в сточной воде.

Величины K_m и ρ_{max} уравнения (2.12) определяют из обычной зависимости Лайнувера-Берка (рисунок 2.5).

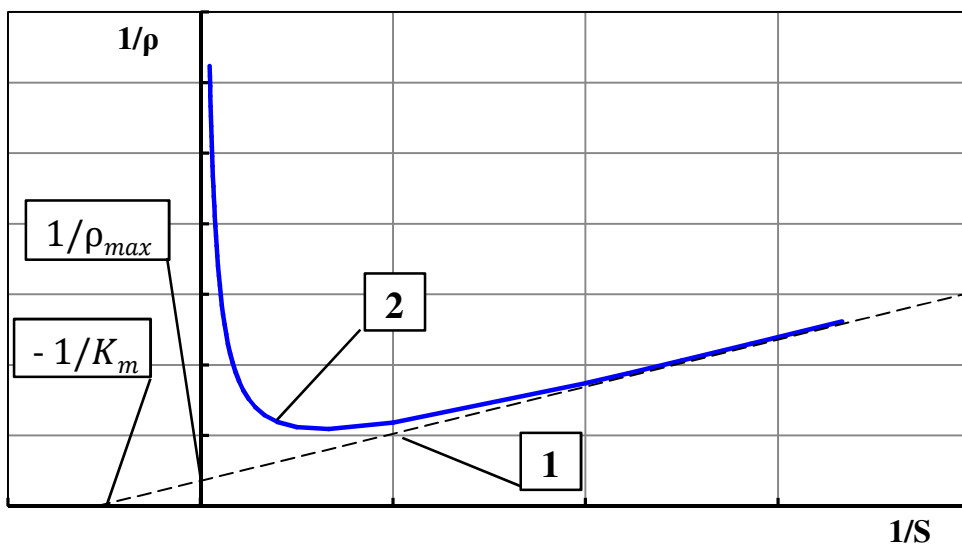


Рисунок 2.5. График Лайнувера-Берка для случая торможения субстратом: 1 – реакция в отсутствие ингибитора; 2 – реакция, протекающая с субстратным торможением

Величину константы торможения α определяют из графика в координатах $(\frac{1}{\rho}, S)$ (рисунок 2.6).

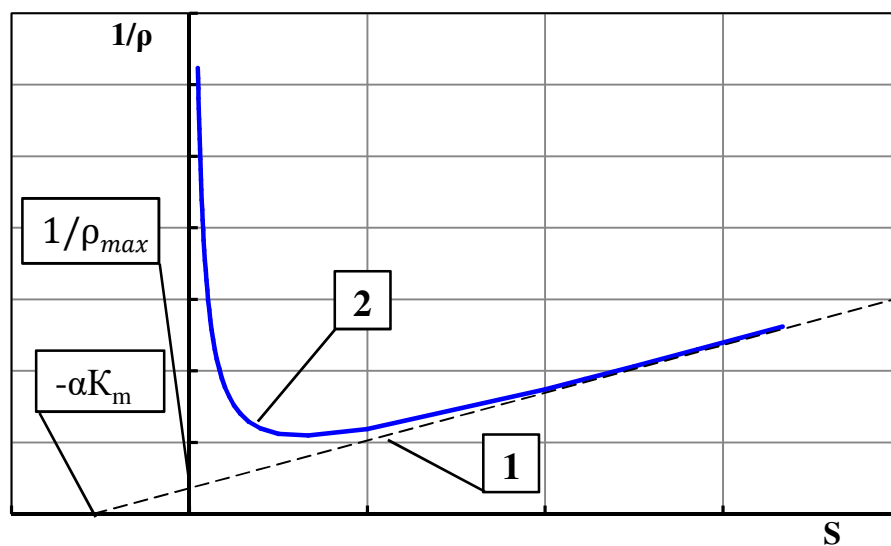


Рисунок 2.6. Зависимость обратной величины скорости окисления от концентрации субстрата для случая торможения субстратом: 1 – касательная к восходящей части прямой; 2 – реакция, протекающая с субстратным торможением.

Ингибирующие вещества оказывают более сильное действие на нитрифицирующие микроорганизмы, чем на гетеротрофные бактерии [11, 63, 86, 97, 109].

Для эффективной очистки производственных сточных вод часто требуется длительная адаптация активного ила и повышение ферментативной мощности микробных сообществ [89, 91, 114]. Повышение концентрации активного ила является одним из наиболее перспективных путей интенсификации работы аэротенков. Однако увеличение концентрации ила связано с рядом проблем. Помимо осложнений, связанных с аэрацией, перемешиванием и разделением концентрированных иловых смесей. Известно, что с увеличением концентрации микроорганизмов активность ила существенно снижается, что может быть следствием ухудшения массообмена при увеличении вязкости иловой смеси, внутривидовой конкуренции микроорганизмов или их угнетения продуктами метаболизма. Наиболее важным фактором представляется последний. Предполагается, что количество продуктов метаболизма, ингибирующих процесс, пропорционально концентрации биомассы. Следует отметить, что ингибирование продуктами метаболизма в определенном диапазоне повышения дозы ила проявляется слабее, чем увеличение общей производительности его биомассы [52].

С учетом влияния концентраций субстрата и активного ила в отсутствии ингибирования токсикантами и субстратом, при постоянных значениях температуры и pH, общее уравнение удельной скорости аэробной деструкции принимает вид:

$$\rho = \frac{\rho'_{max} S}{S + K_m} \left(\frac{1}{1 + \varphi a_i} \right), \quad (2.13)$$

где ρ'_{max} – максимальная скорость биологических процессов при концентрации ила $a_i \rightarrow 0$, мг/(г·ч); a_i – концентрация активного ила, г/л; φ – коэффициент ингибирования продуктами метаболизма активного ила, л/г.

Уравнение (2.13) показывает, что при повышении дозы активного ила удельная скорость окисления снижается в соответствии с коэффициентом φ , а

окислительная мощность очистных сооружений существенно возрастает, приближаясь к максимальной при дозе ила 10–12 г/л [73].

Кинетические константы уравнения (2.13) определяются на основании графиков (рисунки 2.7, 2.8).

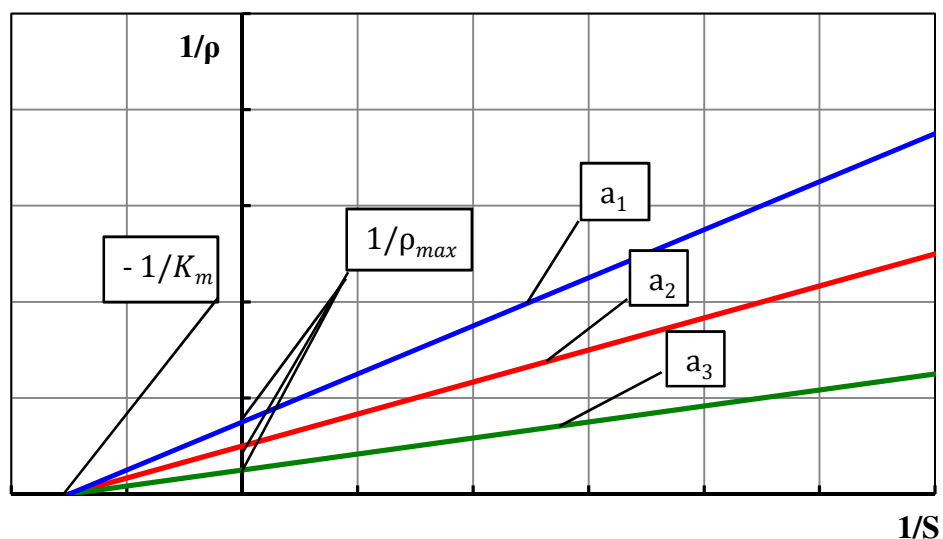


Рисунок 2.7. График Лайнувера-Берка для определения зависимости удельной скорости окисления от концентрации органических веществ при разных дозах активного ила $a_1 > a_2 > a_3$

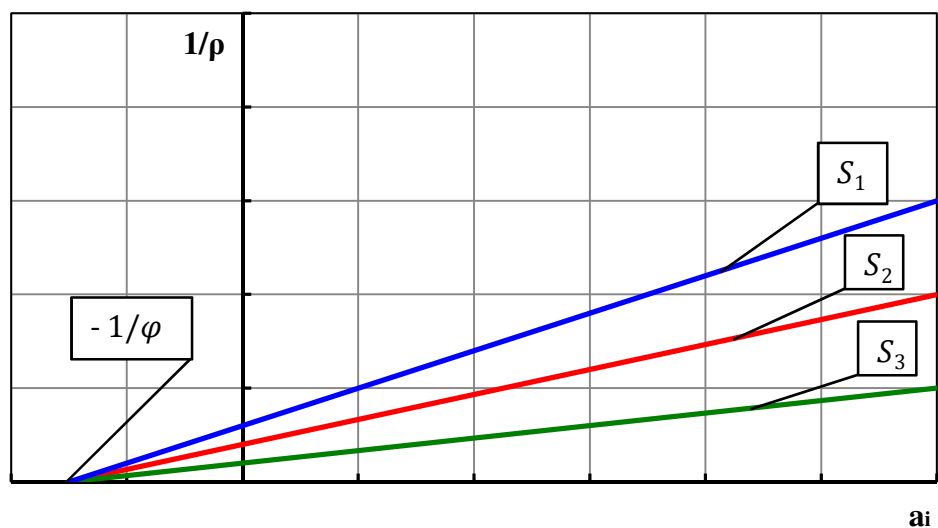


Рисунок 2.8. График зависимости обратной величины удельной скорости окисления от дозы активного ила при различной концентрации субстрата $S_1 < S_2 < S_3$

Исследования, проведенные НИИ ВОДГЕО [32] на проточных моделях и в контактных условиях с десятками видов промышленных и городских сточных вод различного состава, а также с индивидуальными органическими веществами, присутствующими в бытовых и производственных сточных водах, позволили получить кинетические зависимости окисления органических веществ, оцениваемых через $BPK_{полн}$.

Полученные зависимости позволяют рассчитывать сооружения для любой степени очистки, однако характер кривых на графиках показывает, что даже для однотипных предприятий абсолютные значения удельных скоростей окисления существенно различаются, хотя характер кинетики окисления и тип торможения идентичны. Это указывает на необходимость корректировки кинетических констант на основе экспериментальных данных для каждого конкретного предприятия.

2.4. Методика проведения лабораторных исследований в контактных условиях

Постановка экспериментов в контактных условиях диктовалась необходимостью изучения кинетики окисления органических веществ в сточных водах при наличии в них компонентов, отличающихся по своей способности к биоокислению, а также для изучения кинетики процессов в мембранных биореакторах, работающих при высоких дозах ила.

Методика эксперимента заключалась в определении скорости окисления органических веществ по убыли концентрации растворенного кислорода в исследуемой пробе, состоящей из сточной и фоновой (очищенной) воды и активного ила. Для исследования такой зависимости применяются "лимитированные среды", где все компоненты для роста клетки содержатся в избытке, а количество компонента, влияние которого изучается, изменяется от опыта к опыту [30].

Для измерения скорости потребления кислорода исследуемая иловая смесь интенсивно аэрировалась с помощью компрессора до момента приготовления

пробы. Измерение концентрации растворенного кислорода и температуры производилось оксиметром Oxi 3310 фирмы WTW. Перемешивание иловой смеси в исследуемой пробе проводилось магнитной мешалкой, скорость вращения якоря регулировалась для предотвращения образования воронки, способствующей насыщению кислородом пробы. Лабораторная установка представлена на рисунке 2.9.

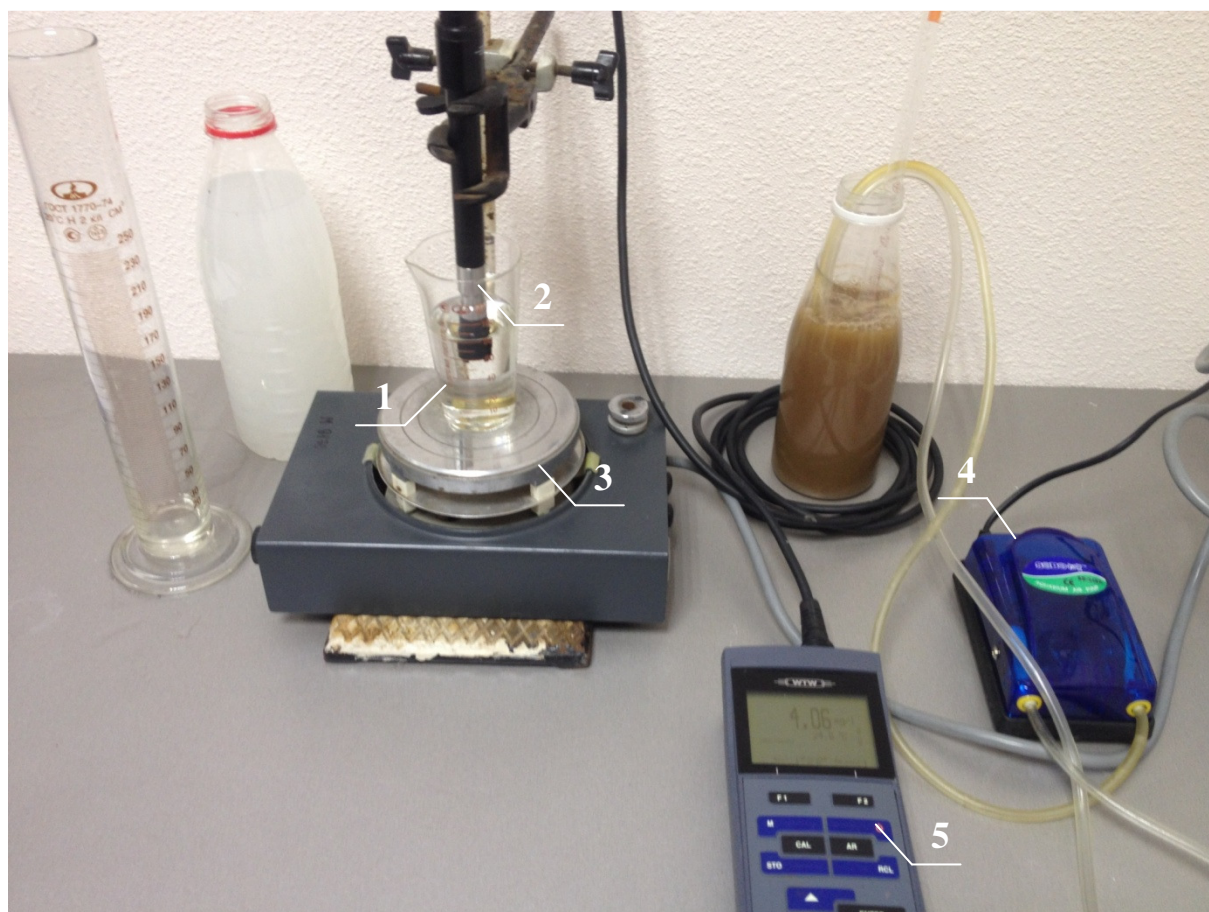


Рисунок 2.9. Лабораторная установка по определению скорости потребления кислорода в иловой смеси:

1 – мерный стакан с иловой смесью; 2 – датчик растворенного кислорода Cellox 325; 3 - магнитная мешалка; 4 – компрессор; 5 – оксиметр Oxi 3310

При обработке результатов лабораторных исследований в контактных условиях определялась разница полученных на начальном этапе значений концентрации растворенного кислорода за установленный промежуток времени. Показатели растворенного кислорода и температуры записывались на устройстве автоматически каждые 30 секунд, после чего выгружались в компьютер для последующей обработки. К расчету принимались значения концентраций

растворенного кислорода в пробе выше 2 мг/л. В начале каждого эксперимента проводилось определение эндогенного дыхания в пробе без субстрата. Значение скорости снижения растворенного кислорода в данной пробе вычиталось из скоростей, полученных в каждом опыте текущего эксперимента.

Химический анализ проводился по показателям: ХПК, БПК₅, БПК_{полн}, аммонийному азоту, нитритам, нитратам, фосфатам, дозе и зольности активного ила в лаборатории АСА СамГТУ.

По полученным данным измерений растворенного кислорода и качественным характеристикам сточных вод и активного ила определялась удельная скорость окисления органических веществ, оцениваемых по БПК:

$$\rho_{уд} = \frac{C_{нач} - C_{кон}}{a_i(1-s)t}, \quad (2.15)$$

где $C_{нач}$ и $C_{кон}$ – концентрации растворенного кислорода в начале и конце периода, мг/л; a_i – концентрация активного ила в пробе, г/л; s – зольность активного ила, доли единицы; t – продолжительность периода, ч.

Кинетические константы биохимических процессов определяются графоаналитическим методом, описанном в разделе 2.3.

2.5. Методика проведения исследований на пилотной установке

Цель экспериментальных исследований состояла в проверке и корректировке полученных в контактных условиях кинетических зависимостей и разработке эффективной технологии биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности с применением активного ила, в том числе биомембранной технологии.

Пилотная установка МБР (рисунок 2.10) состояла из приемной камеры емкостью 200 л, снабженной лопастной мешалкой, аноксидной зоны (денитрификатора) объемом 9 л, аэробной зоны объемом 70 л, в которой располагался плоскораменный мембранный элемент компании SINAP площадью 0,25 м² с размером пор 0,1 мкм, компрессора, насосов подачи исходных сточных

вод, отвода пермеата, рециркуляции иловой смеси из аэробной зоны в денитрификатор.

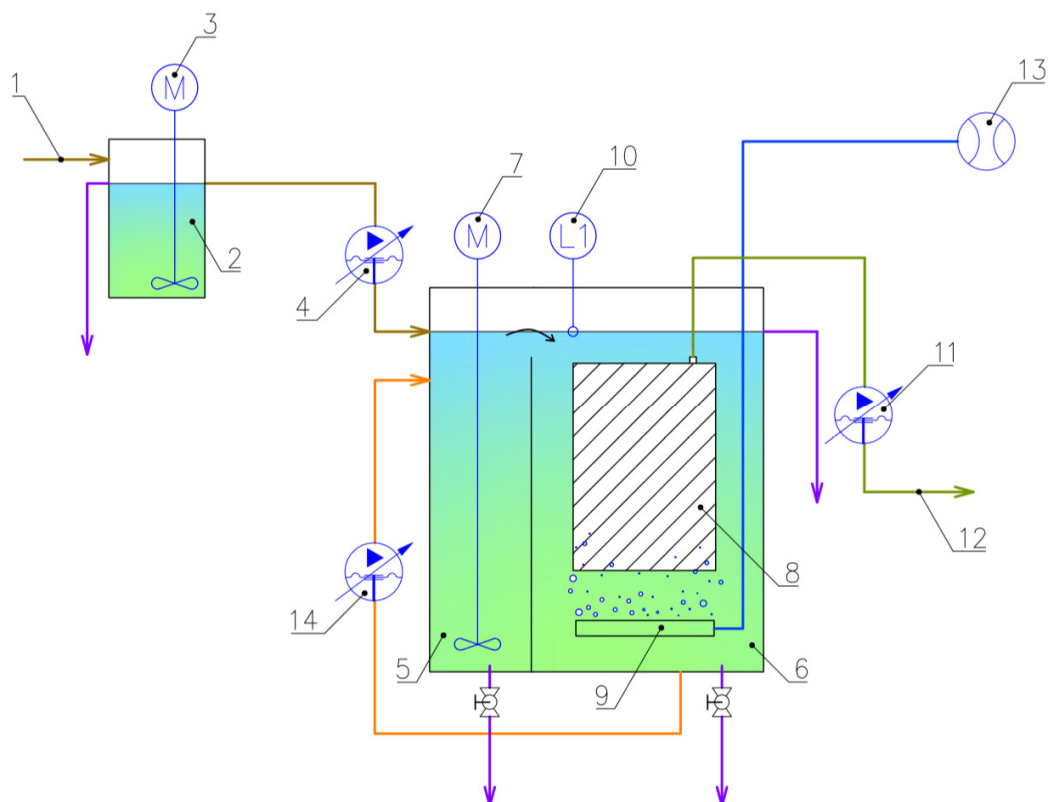


Рисунок 2.10 Схема пилотной установки МБР:

1 – подводящий трубопровод; 2 – приемная камера; 3 – мешалка приемной камеры; 4 – насос подачи исходной воды; 5 – аноксидная зона (денитрификатор); 6 – аэробная зона; 7 – мешалка денитрификатора; 8 – мембранный модуль; 9 – аэратор; 10 – датчик уровня; 11 – насос отвода пермеата; 12 – отводящий трубопровод; 13 – компрессор; 14 – насос рециркуляции.

Предварительно очищенные на установках механической и физико-химической очистки производственные сточные воды подавались по подводящему трубопроводу (1) в приемную камеру (2), где происходило усреднение объема и концентрации сточных вод. В случае работы на модельном растворе, использовалась в качестве резервуара для приготовления и дозирования раствора. Для предотвращения осаждения загрязняющих веществ она была оборудована мешалкой (3). Из приемной камеры сточные воды с установленным расходом с помощью насоса (4) подавались в аноксидную зону реактора, где происходила денитрификация. В аэробной зоне (6) происходило окисление органических загрязнений, нитрификация и разделение иловой смеси

мембранным модулем (8). Пермеат по отводящему трубопроводу направлялся на сброс насосом (11). Для обеспечения стабильной работы мембранного модуля, насос отвода пермеата работал по таймеру с установленным режимом: 8 минут фильтрование и 2 минуты релаксация (короткий период времени, в течение которого прекращается фильтрация, но продолжается аэрация мембраны). Производительность установки по пермеату -96 л/сут. Во избежание перелива из мембранного блока и выноса ила, предусматривалась регулировка насоса подачи сточных вод по датчику уровня (10). Рециркуляция иловой смеси из мембранного блока в денитрификатор осуществляется с помощью насоса рециркуляции (14). Подача воздуха в мембранный блок для аэрации осуществлялась от компрессора (13). Установка была оборудована патрубками перелива и опорожнения для предотвращения аварийных ситуаций.

Общий вид пилотной установки представлен на рисунке 2.11.

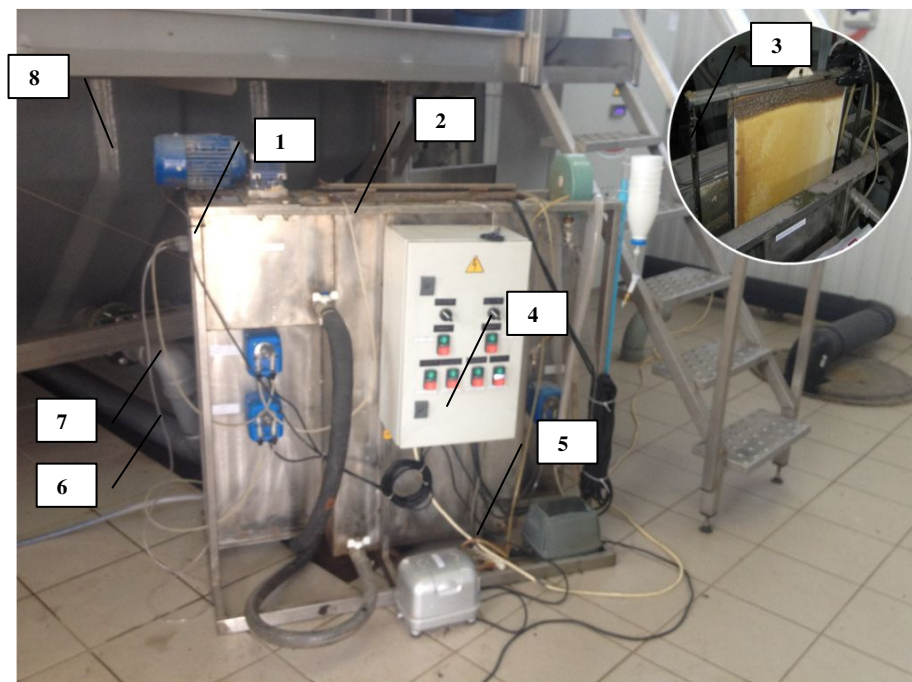


Рисунок 2.11 Общий вид пилотной установки:

1 – аноксидная зона; 2 – аэробная зона; 3 – мембранный модуль; 4 – насос пермеата; 5 – компрессор; 6 – насос исходных сточных вод; 7 – насос рециркуляции; 8 – мешалка денитрификатора

Химический анализ проводился по показателям: ХПК, БПК₅, БПК_{полн}, аммонийному азоту, нитритам, нитратам, фосфатам, дозе и зольности активного

ила в лаборатории АСИ СамГТУ три раза в неделю. Ежедневно контролировались технологические параметры работы установки: расходы на насосах подачи сточных вод, рециркуляции и отвода пермеата, трансмембранное давление, концентрация рН в исходной и очищенной сточной воде, концентрация растворенного кислорода в аноксидной и аэробной зонах. Замеры производились с помощью датчика растворенного кислорода CellOx 325 оксиметра Oxi 3310 WTW и портативного рН-метра рН-150МИ.

Полученный массив данных обрабатывался графоаналитическим методом, описанным в разделе 2.3 с целью определения скоростей окисления органических веществ, нитри- и денитрификации в динамических условиях в периоды устойчивой работы установки. Показатели трансмембранного давления требовались для получения данных о фильтрационных характеристиках мембраны в условиях работы со сточными водами предприятий молочной промышленности.

2.6 Выводы по главе 2

1. Анализ данных действующих предприятий молочной промышленности позволил классифицировать сточные воды по типу выпускаемой продукции, режимам мойки технологического оборудования и трубопроводов и методам переработки сыворотки. Определено, что для предприятий с автоматизированной мойкой оборудования концентрация взвешенных веществ составляет 300-360 мг/л, а при использовании ручной мойки достигает 1000 мг/л. Концентрация органических веществ по ХПК и БПК_{полн} на заводах цельномолочной продукции при автоматизированной мойке находится в пределах 1500-1700 и 980-1300 мг/л соответственно, а при ручной мойке в среднем составляет соответственно 3800 и 1600 мг/л. Для сыроваренных заводов со сбросом сыворотки в канализацию ХПК достигает 2150 мг/л, а при переработке сыворотки – 580-760 мг/л. Для всех предприятий концентрация жиров находится в диапазоне 5-50 мг/л.

2. Использование фундаментальных закономерностей ферментативной кинетики для исследования, описания и анализа процессов биологической очистки может дать необходимую информацию для разработки технологических схем и методики расчета сооружений биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранных биореакторах.
3. Анализ качественного состава реальных сточных вод предприятий молочной промышленности позволил обосновать концентрации загрязнений в модели сточных вод для проведения исследований по биологической очистке: БПК_{полн} - 480-960 мг/л, азот аммонийный - 24-96 мг/л, азот нитратный - 0-40 мг/л, фосфор фосфатов - 4,8-9,6 мг/л. Концентрации азота принимались в большем диапазоне для возможности описания процессов нитрификации и денитрификации.
4. Обосновано, что изучение технологии биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности возможно при использовании двух методик: лабораторные исследования в контактных условиях и исследования в динамических условиях на реальных сточных водах на пилотной установке в условиях колебаний концентраций.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ НА МОДЕЛИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

3.1. Исследование биомембранной очистки сточных вод предприятий молочной промышленности на пилотной установке

Экспериментальные исследования с моделью сточных вод предприятий молочной промышленности проводились в течение четырех месяцев с февраля по июнь 2016 года на пилотной установке (рисунок 2.11).

В начале эксперимента в биореактор был загружен активный ил очистных сооружений с. Пестровка, принимающих сточные воды исследуемого молокозавода в объеме до 50% от общей производительности станции.

Концентрация ила в реакторе в пусковой период составляла 1,04 г/л и в течение четырех месяцев эксперимента возросла до 14 г/л, при этом иловый индекс изменялся от 30 до 150 мл/г (рисунок 3.1). Снижение концентрации активного ила с 6 по 20 мая вызвано техническими причинами.

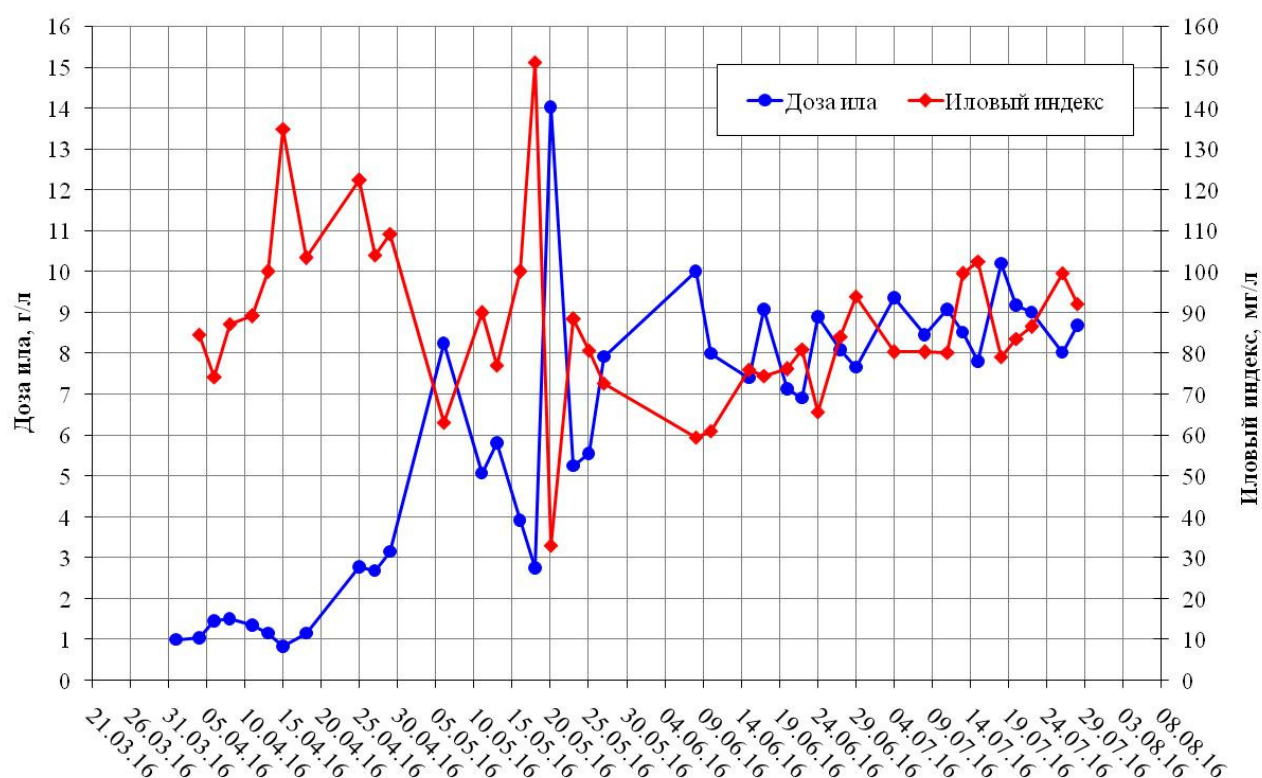


Рисунок 3.1. Динамика изменения дозы активного ила и илового индекса

В ходе эксперимента проводилось последовательное увеличение концентраций загрязняющих веществ в исходном модельном растворе и увеличение расхода. Концентрации исследуемых показателей в пермеате достигали значений, соответствующих требованиям, предъявляемым к очищенным сточным водам при сбросе их в водоемы рыбохозяйственного назначения.

На рисунках 3.2 - 3.4 представлены динамики по БПК_{полн}, азоту аммонийному и азоту нитратов.

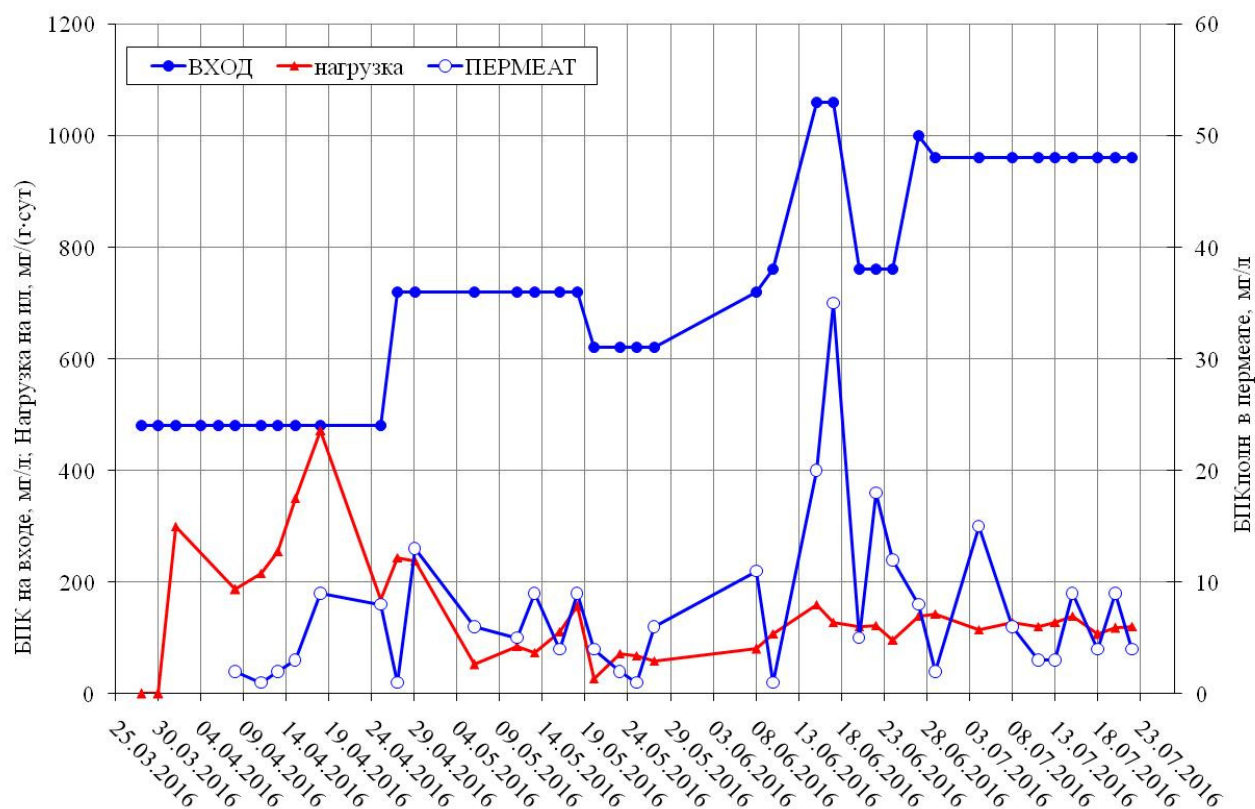


Рисунок 3.2. Динамика изменения БПК_{полн} и нагрузки на ил в процессе очистки

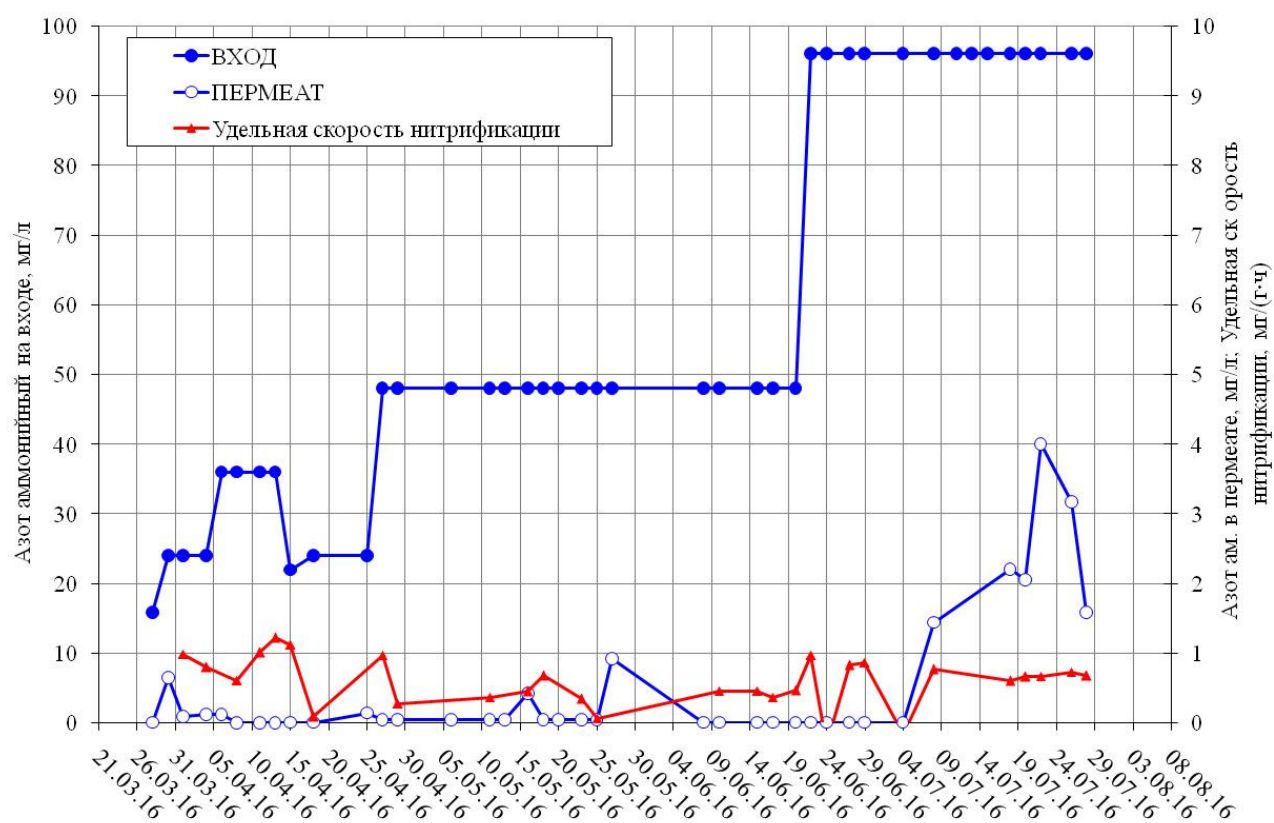


Рисунок 3.3. Динамика изменения концентрации азота аммонийного и удельной скорости нитрификации

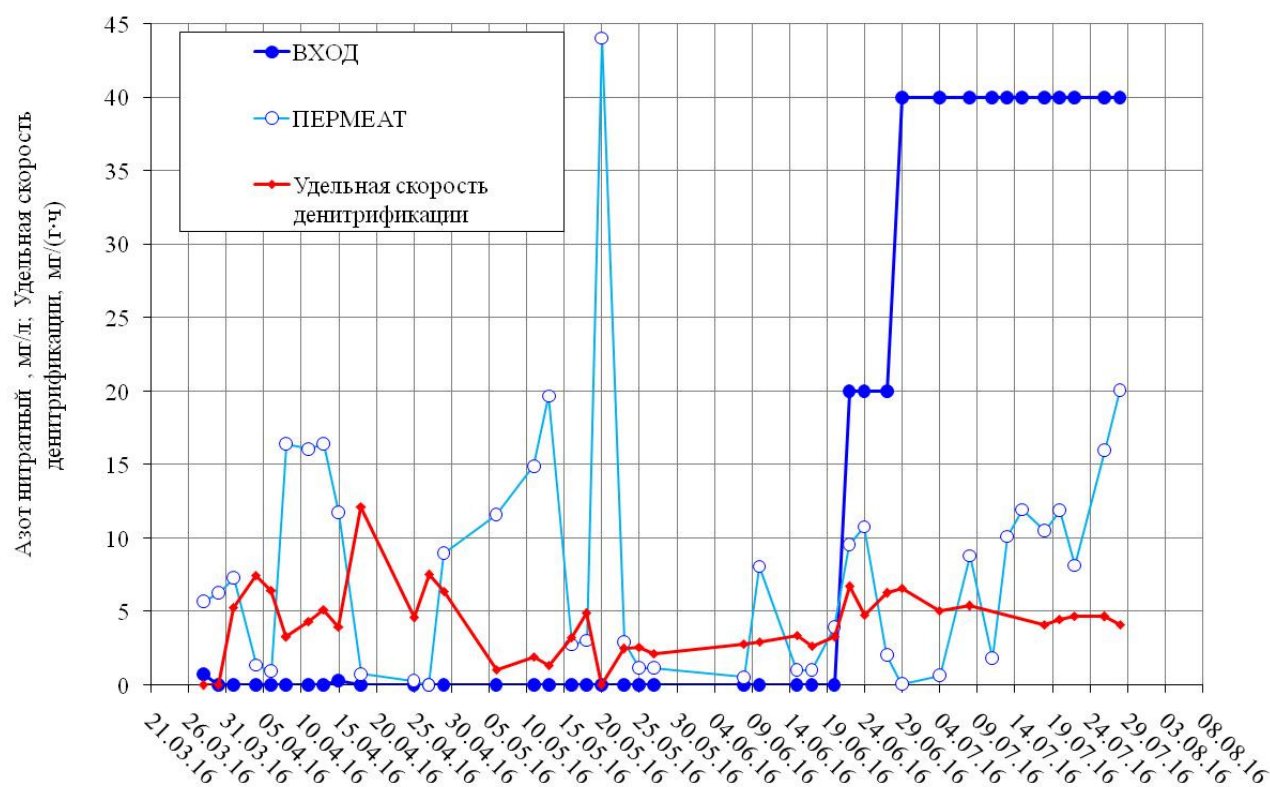


Рисунок 3.4. Динамика изменения концентрации азота нитратного и удельной скорости денитрификации

За весь период работы установки было выделено девять технологических режимов, отличающихся продолжительностью аэрации в мембранном биореакторе и концентрацией загрязняющих веществ модельного стока (рисунок 3.5).

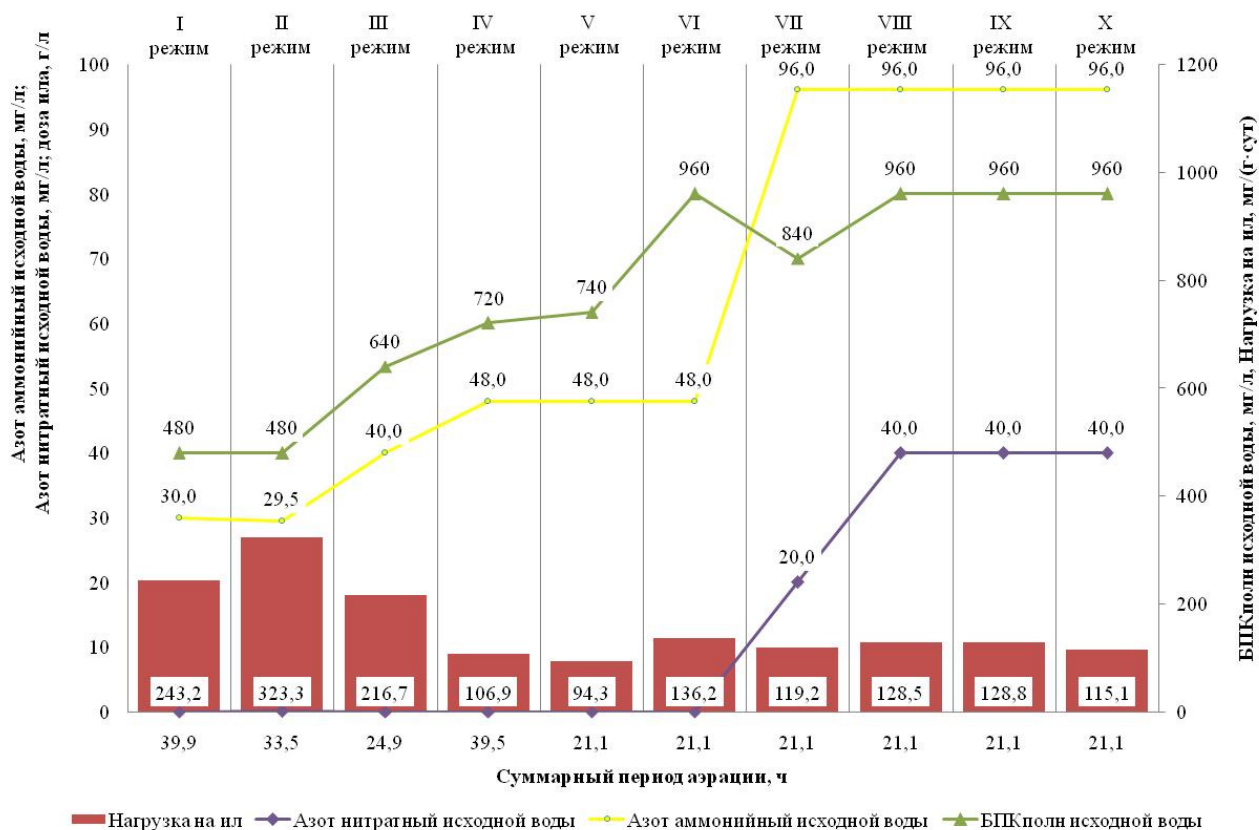


Рисунок 3.5. Усредненные показатели работы установки

В зависимости от режима работы установки БПК_{полн} исходной воды изменялось от 480 до 960 мг/л, концентрация аммонийного азота в исходной воде варьировала от 30 до 96 мг/л и концентрация нитратного азота – от 0 до 40 мг/л. Продолжительность аэрации изменялась от 21,1 до 39,9 часов, при этом нагрузки на ил по БПК_{полн} находились в диапазоне 94,3-323,3 мг/(г·сут). Завышенные концентрации азота аммонийного и нитратного, а также высокие значения нагрузки на ил поддерживались в биореакторе для получения большего диапазона данных, позволяющего описать процессы биологического окисления органических веществ, нитрификации и денитрификации. Необходимо отметить полное отсутствие взвешенных веществ в пермеате.

Установлено, что окислительная мощность мембранного биореактора при очистке модельного стока по БПК_{полн} при дозе активного ила 9 г/л достигала 1000 г/(м³·сут), а при дозе активного ила 3 г/л составляла 630 г/(м³·сут), т.е. в 1,7 раза меньше (рисунок 3.6), что соответствует данным [29].

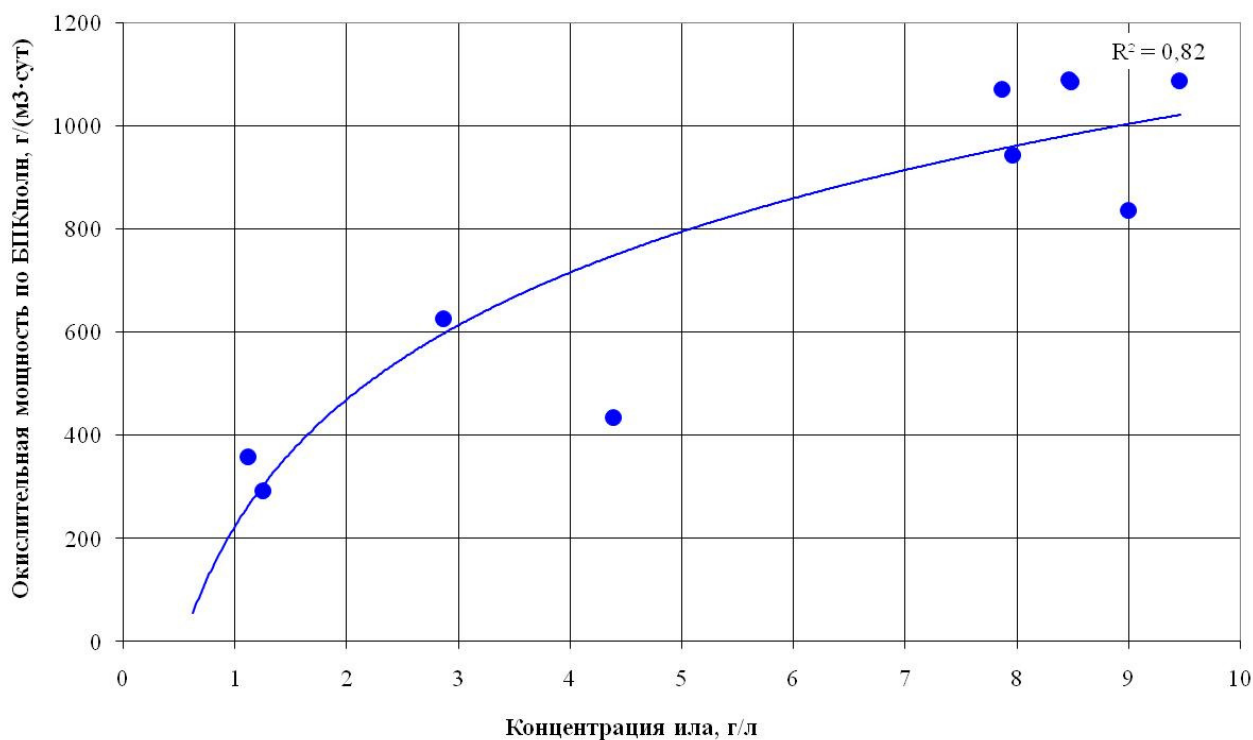


Рисунок 3.6. Зависимость окислительной мощности от дозы активного ила

На рисунке 3.7 представлена зависимость удельной скорости окисления органических веществ по БПК_{полн} от концентрации ила (кривая 1). Аналогичные зависимости получены для процессов денитрификации и нитрификации (кривые 2 и 3). При дозе ила 3-4 г/л удельные скорости окисления органических веществ по БПК_{полн}, денитрификации и нитрификации составили: 9 мг/(г·ч); 4,3 и 0,5 мгN/(г·ч) соответственно, при дозе ила 6-8 г/л: 6,5 мг/(г·ч); 3,1 и 0,4 мгN/(г·ч). Скорости биологических процессов определялись при концентрациях БПК_{полн} в пермеате в диапазоне от 2 до 7 мг/л, азота аммонийного - от 0,1 до 0,5, азота нитратного от 3 до 10 мг/л.

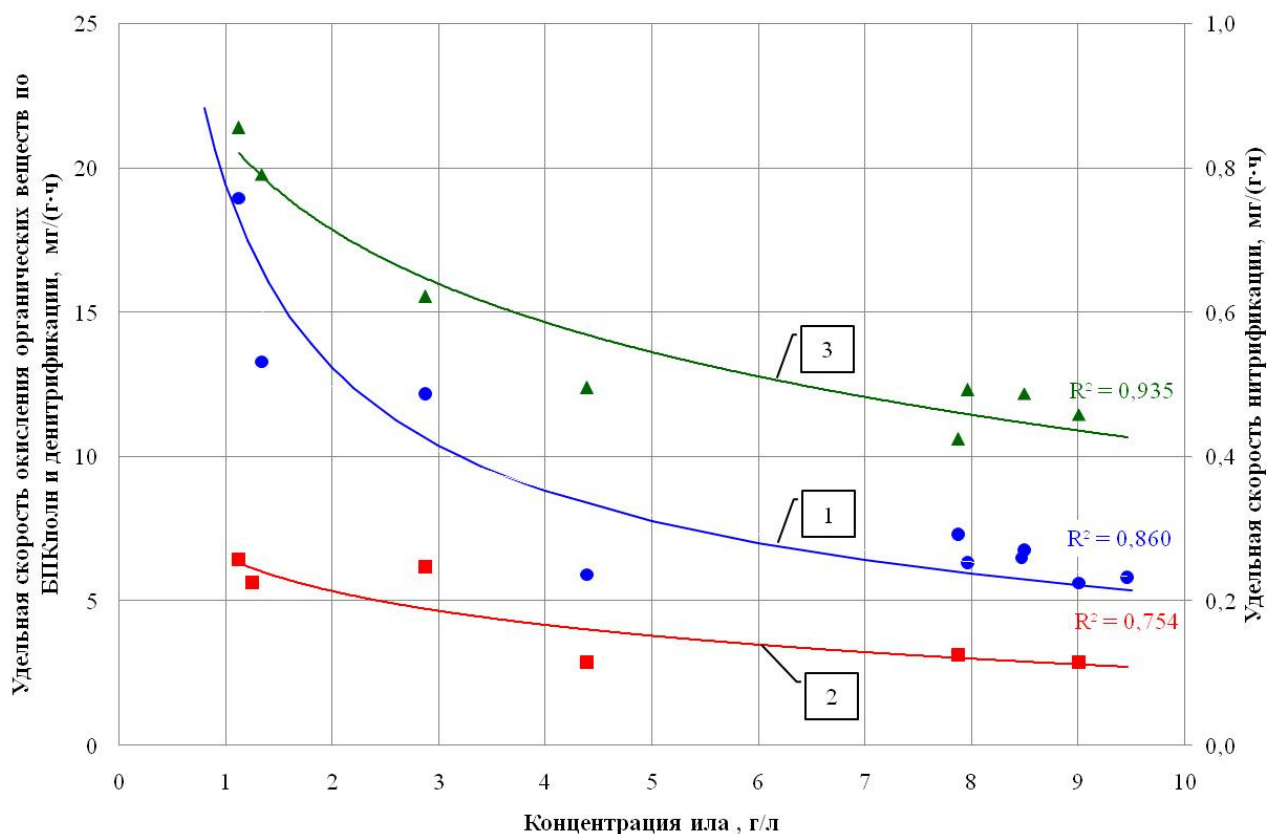


Рисунок 3.7. Зависимость удельной скорости окисления органических веществ по БПК_{полн} (кривая 1), денитрификации (кривая 2) и нитрификации (кривая 3) от концентрации ила

Графоаналитическим методом определены коэффициенты ингибирования продуктами метаболизма ϕ , которые составили для гетеротрофной микрофлоры окисления органических веществ - 0,39 л/г, для процессов нитрификации - 0,19 л/г и денитрификации - 0,22 л/г (рисунок 3.8).

Обработка результатов исследований по очистке сточных вод на модельном растворе, проведенных на пилотном МБР при температуре сточных вод от 20 до 35°C, позволила определить температурные константы χ уравнения Вант-Гоффа (2.9), град⁻¹: для аэробной гетеротрофной конверсии - 0,091 (рисунок 3.9), для нитрификации - 0,096 (рисунок 3.10) и для денитрификации - 0,13 (рисунок 3.11) [41, 49].

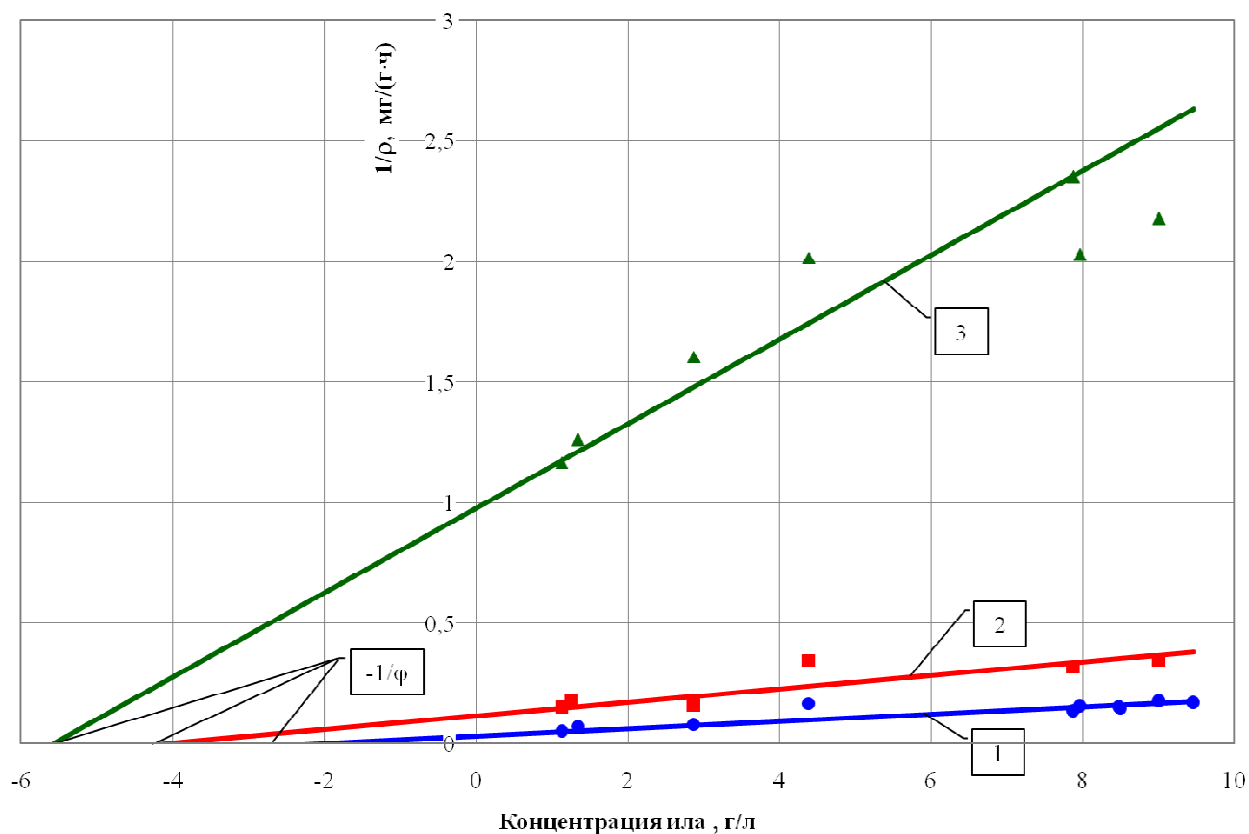


Рисунок 3.8. Определение коэффициента ϕ графоаналитическим методом для окисления органических веществ по БПК_{полн} (кривая 1), денитрификации (кривая 2) и нитрификации (кривая 3)

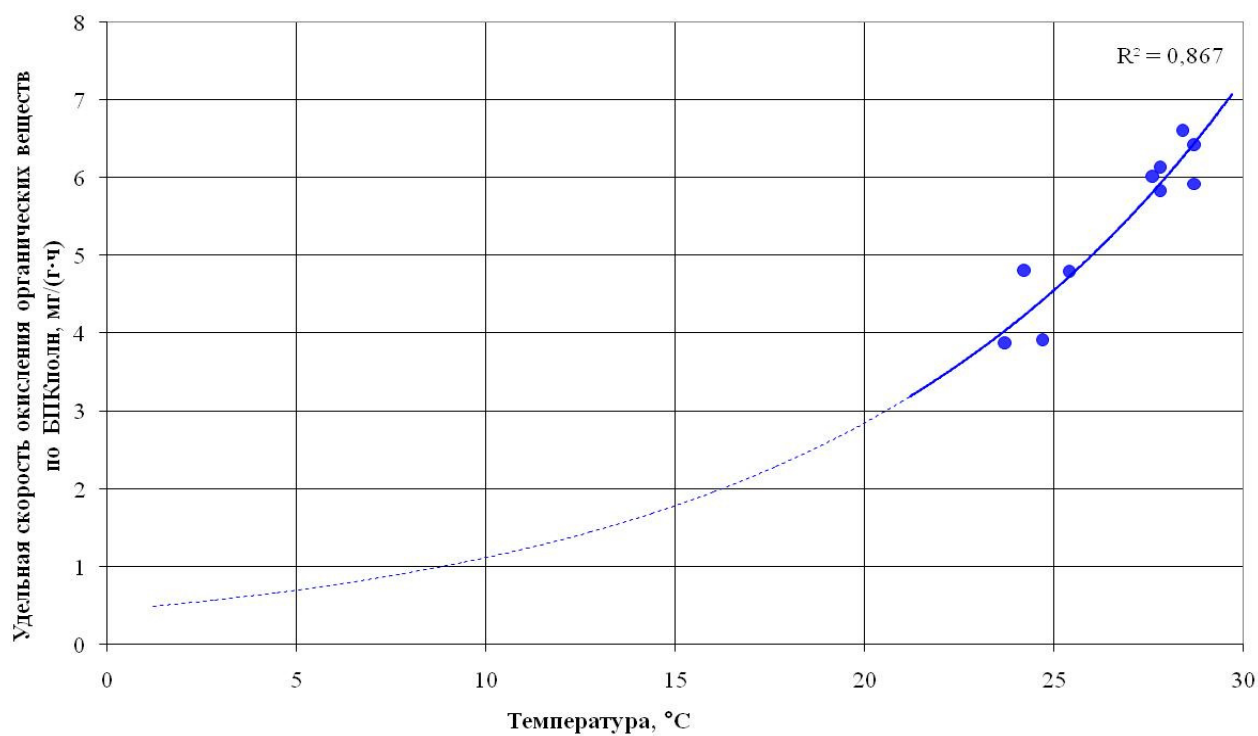


Рисунок 3.9. Зависимость удельной скорости окисления по БПК_{полн} от

температуры

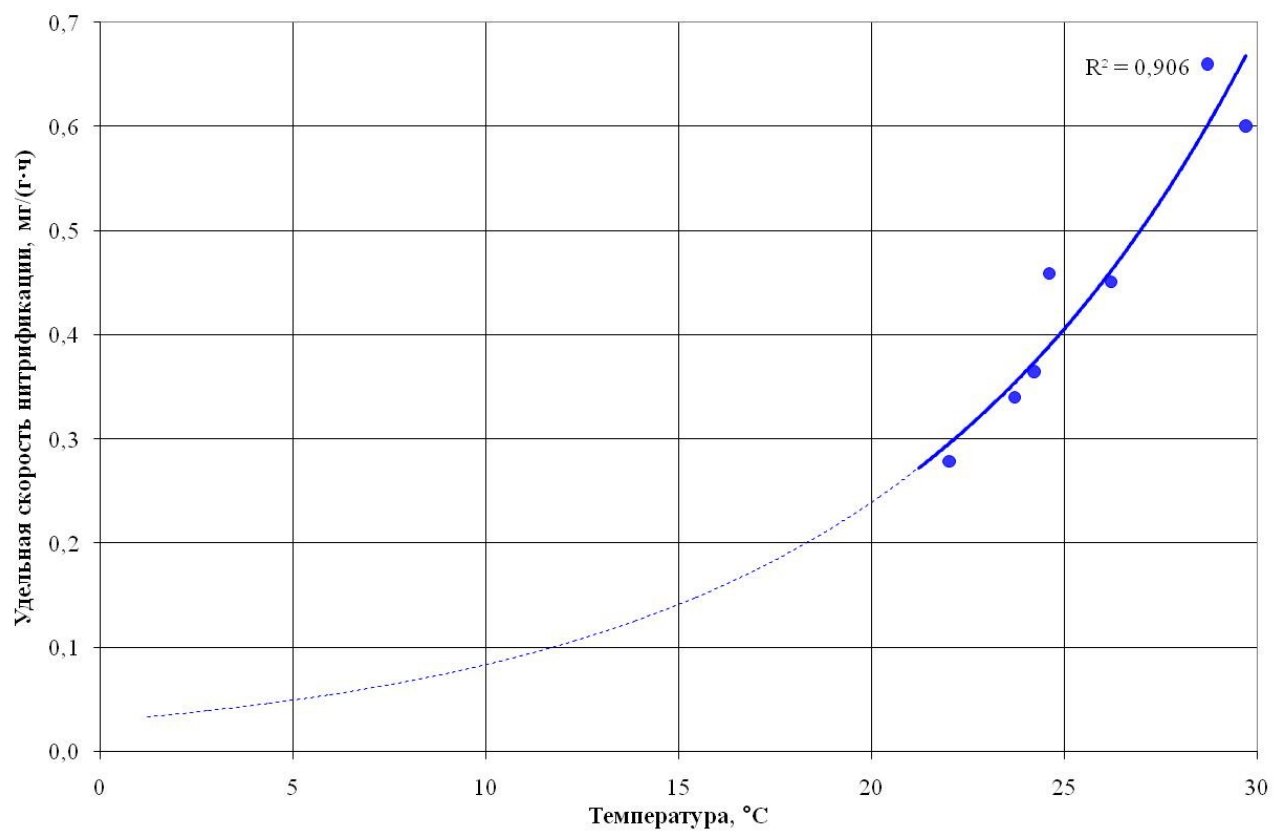


Рисунок 3.10. Зависимость удельной скорости нитрификации от температуры

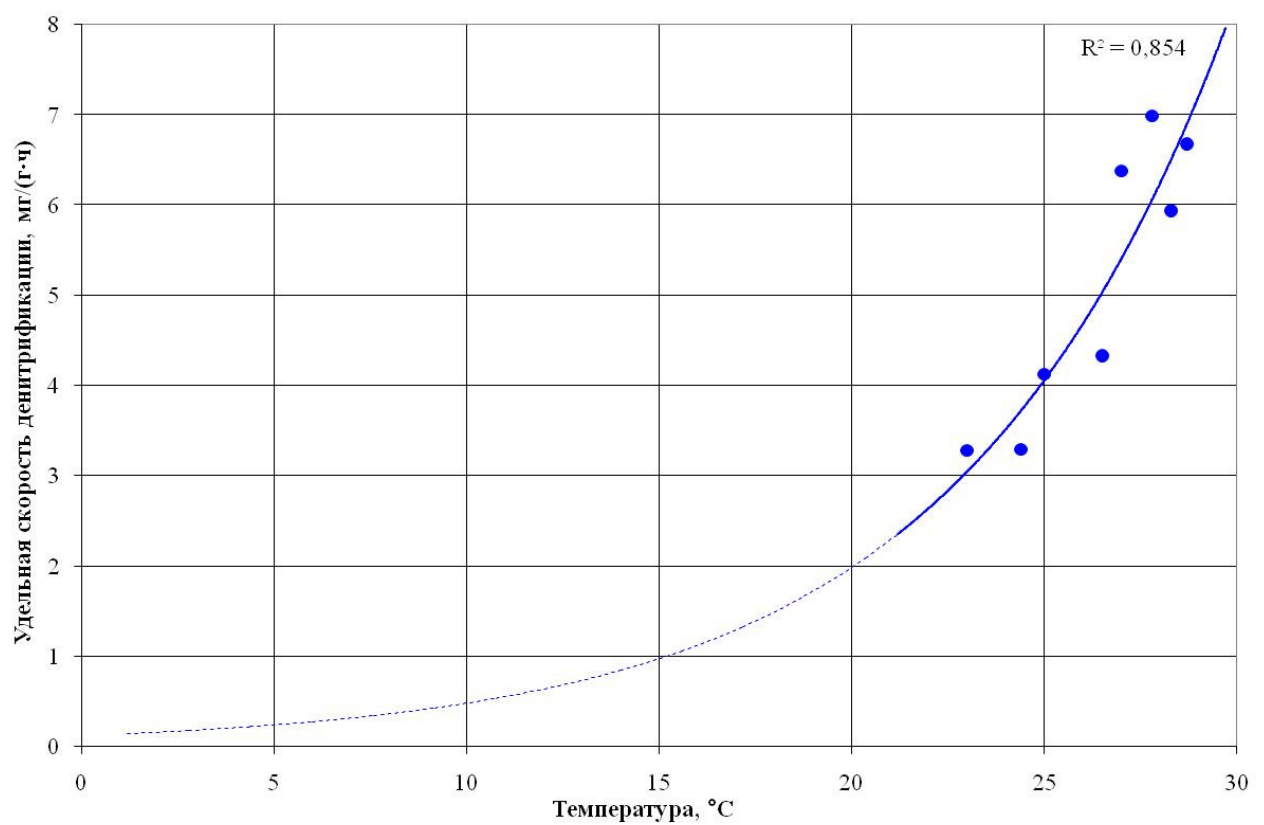


Рисунок 3.11. Зависимость удельной скорости денитрификации от температуры

Проведенные исследования в диапазоне рН от 5,5 до 8 позволили установить зависимость скорости окисления органических веществ от рН по формуле (2.8). Определено, что pH_{opt} для сточных вод молокозаводов составляет 6,9 при рН-константе 150 (рисунок 3.12).

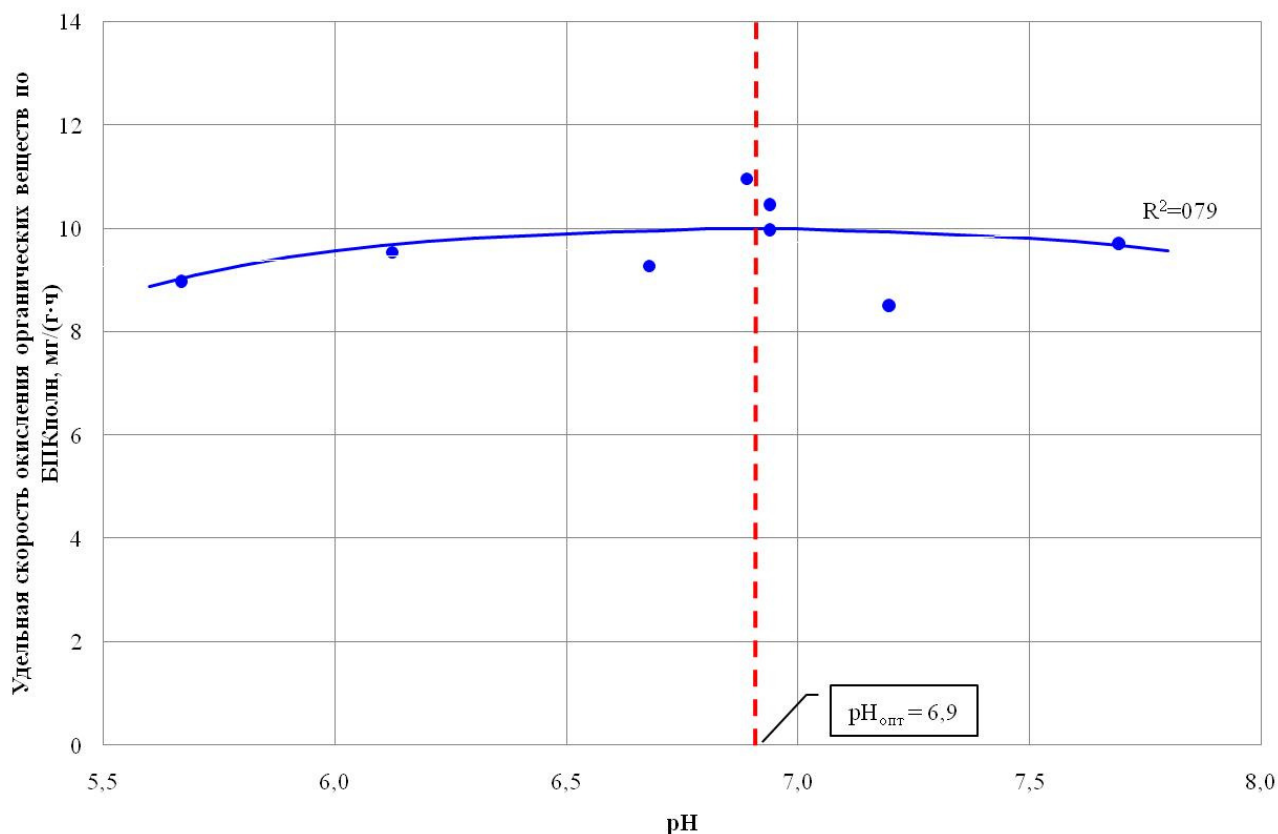


Рисунок 3.12. Зависимость удельной скорости окисления органических веществ по БПК_{полн} от рН

На основании полученных зависимостей от дозы активного ила, температуры и рН были построены основные кинетические зависимости окисления органических веществ, нитрификации и денитрификации при температуре 25°C и $pH_{opt} = 6,9$ для схем с мембранным биореактором при дозе ила 8 г/л (рисунки 3.13, 3.14, 3.15).

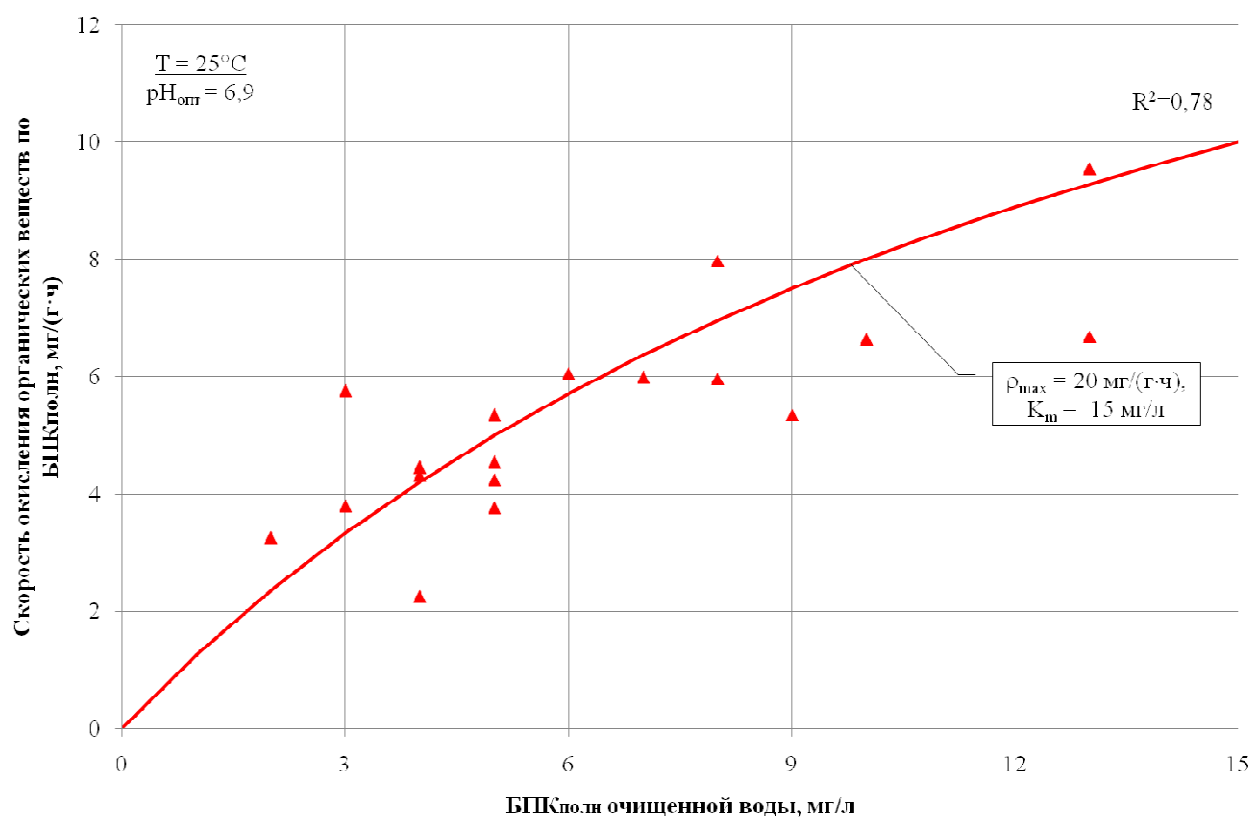


Рисунок 3.13. Кинетика окисления органических веществ от БПК_{полн}

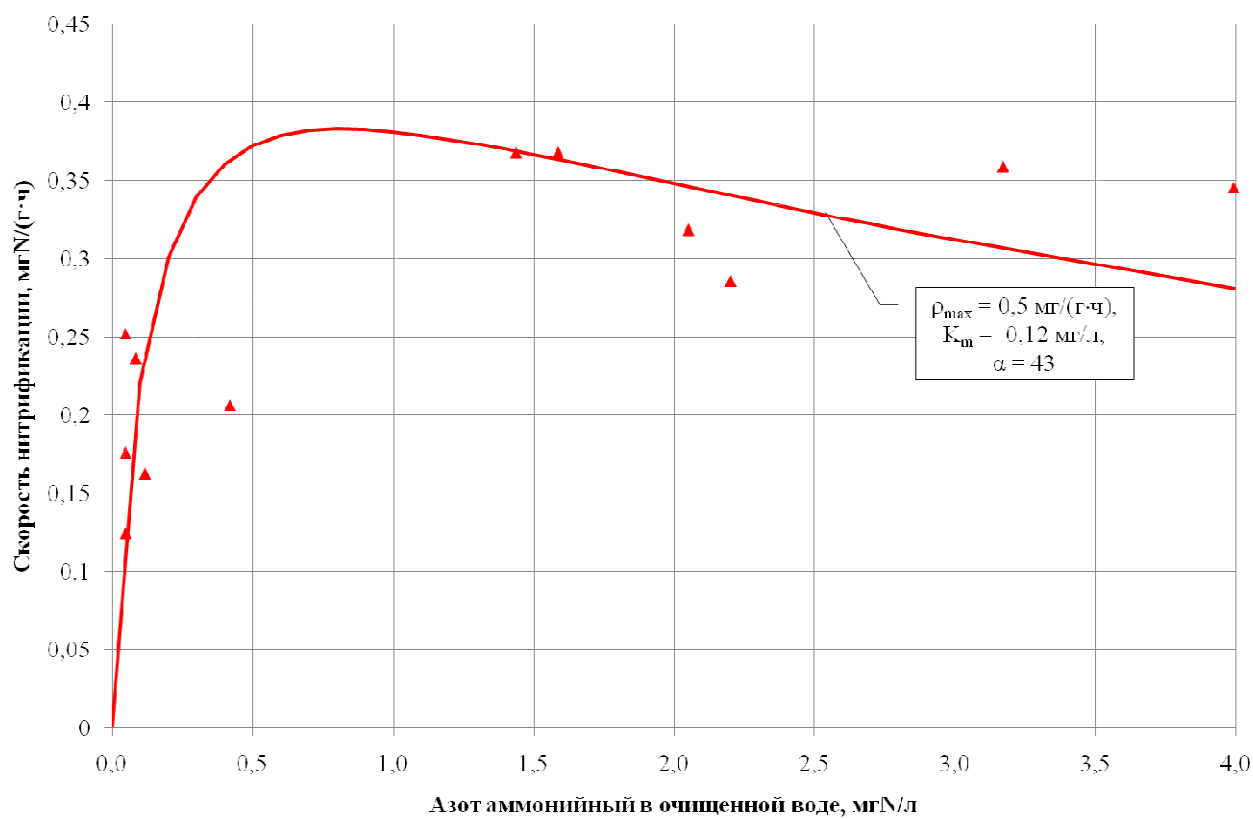


Рисунок 3.14. Кинетика нитрификации

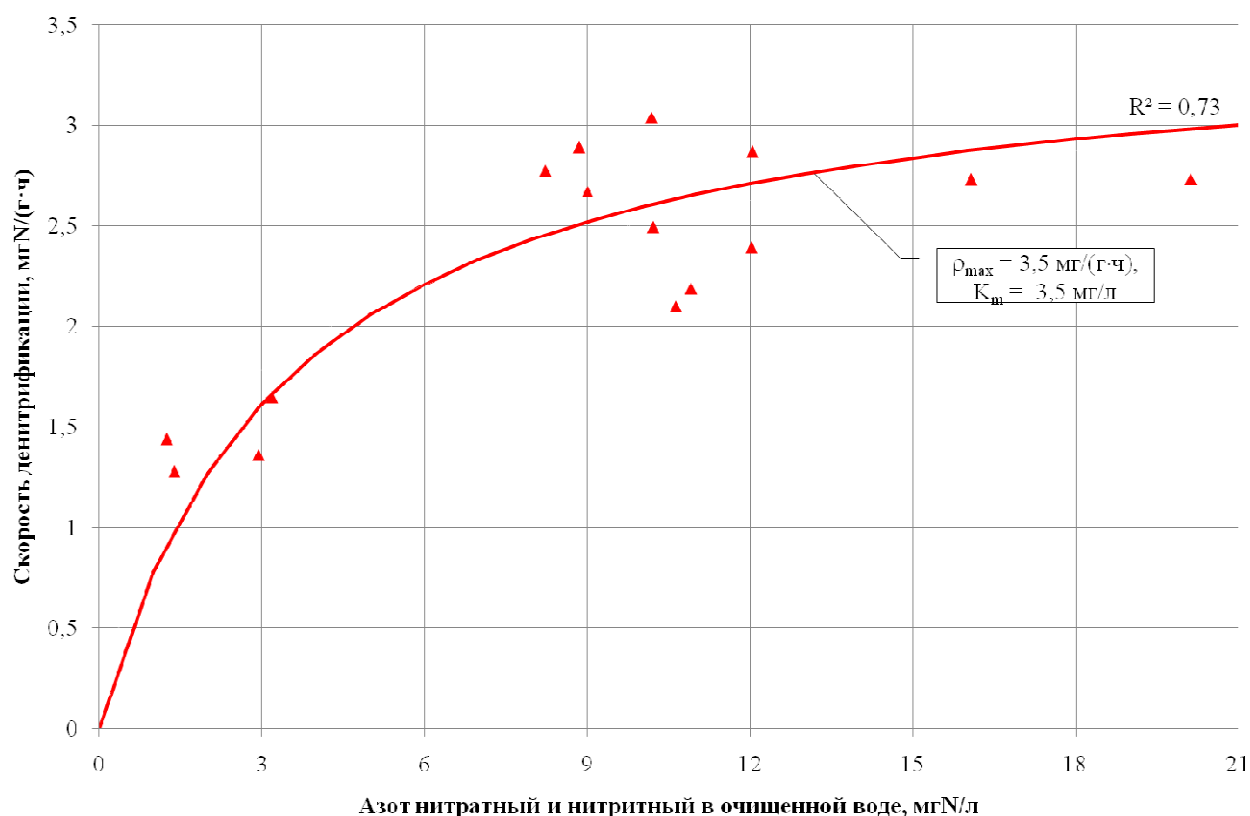


Рисунок 3.15. Кинетика денитрификации

Кинетика окисления органических веществ может описываться одной кривой по уравнению Михаэлиса-Ментен без торможения субстратом. Максимальная удельная скорость окисления $\rho_{\max}$ при этих условиях составляет 20 мг/(г·ч) при дозе ила 8 г/л, константа Михаэлиса K_m – 15 мг/л.

Кинетика нитрификации описывается уравнением с субстратным торможением, максимальная удельная скорость нитрификации составляет 0,5 мг/(г·ч) при дозе ила 8 г/л, константа Михаэлиса K_m – 0,12 мг/л, константа торможения $\alpha=43$.

Кинетика денитрификации описывается уравнением без торможения субстратом, максимальная удельная скорость денитрификации составляет 3,5 мг/(г·ч) при дозе ила 8 г/л, а константа Михаэлиса K_m – 3,5 мг/л.

Максимальные скорости по уравнению (2.14) для окисления органических веществ, нитрификации и денитрификации составили 82,5; 1,49 и 10,8 мг/(г·ч) соответственно.

Найденные кинетические константы позволяют определить удельную скорость окисления при любом требуемом качестве очищенного стока и, соответственно, рассчитать объемы реакторов до любой заданной степени очистки.

3.2. Изучение влияния концентрации активного ила на скорость окисления загрязнений в сточных водах молочной промышленности в контактных условиях

Проведены лабораторные исследования в контактных условиях по определению влияния концентрации активного ила на скорость окисления загрязнений в модельных сточных водах в соответствии с методикой, описанной в разделе 2.4. Лабораторные исследования проводились при температуре исследуемой пробы 26-27°C. Скорость биохимической деструкции в аэробных условиях при повышении дозы активного ила снижается в соответствии с уравнением (2.21) на величину коэффициента $\frac{1}{1+\varphi a_i}$, что подтверждают полученные экспериментальные зависимости (рисунок 3.13).

Используя графоаналитический метод (раздел 2.3, рисунок 2.5), по полученным экспериментальным точкам построены графики для определения кинетических констант (рисунок 3.14).

В проведенном опыте значение φ составило 0,39, что соответствует данным, полученным в ходе эксперимента в динамических условиях на пилотной установке.

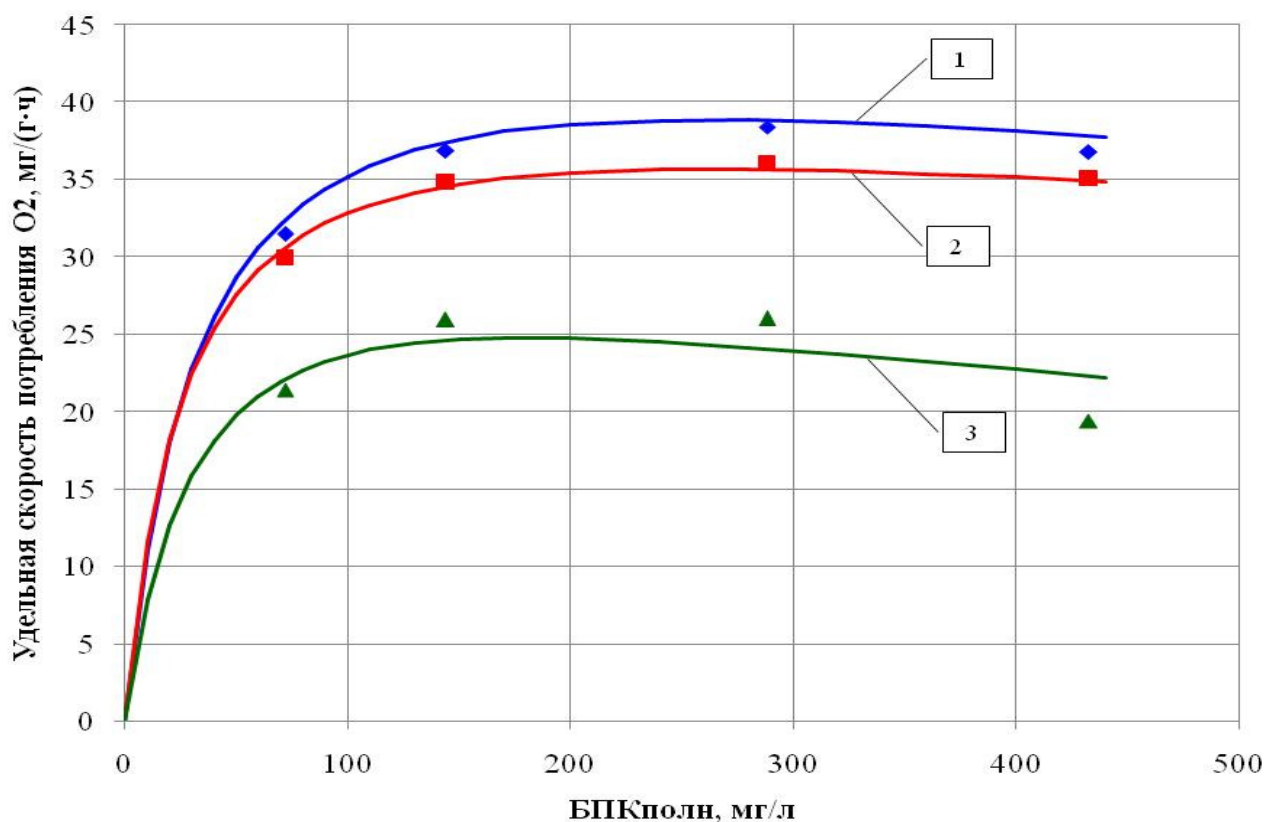


Рисунок 3.13. Зависимость удельной скорости окисления от концентрации органических веществ в модельной сточной воде при дозе ила, г/л:
1 – 2,21; 2 – 3,32; 3 – 4,36

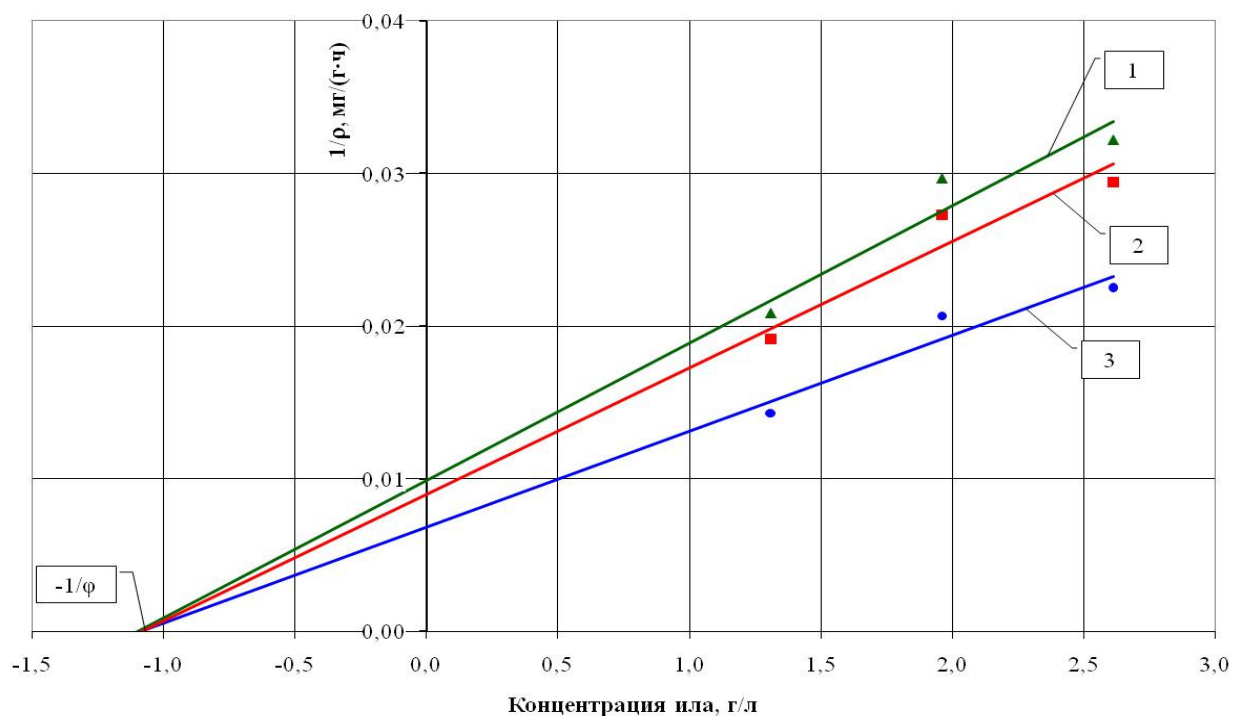


Рисунок 3.14. Зависимость обратной величины удельной скорости окисления от дозы активного ила при концентрации субстрата по БПК_{полн}:
1 – максимальная скорость окисления; 2 – 20 мг/л; 3 – 10 мг/л

3.3. Влияние химической промывки мембран на биологические процессы

Исследование фильтрационных характеристик мембран не входило в задачи эксперимента, однако в ходе эксплуатации пилотной установки фиксировались показатели расхода пермеата и трансмембранного давления, что позволило получить зависимости для оценки продолжительности работы мембраны на молочном стоке без химических промывок [48].

В качестве обобщенной характеристики состояния мембран использована величина нормализованного потока J_n , определяемая как отношение удельного потока через мембрану $J_{уд}$ м³/(м²·сут) к величине трансмембранного давления (ТМД, м вод. ст.). Оценка данных величин проводилась в течение 52 суток при колебаниях дозы ила 6,9-10,2 г/л и постоянном удельном потоке 0,36 м³/(м²·сут). Мгновенная производительность насоса пермеата с учетом релаксации составляла 18,8 л/(ч·м²). Полученная динамика представлена на рисунке 3.15.

Из рисунка 3.15 видно, что в условиях эксперимента, соответствующих обычному режиму эксплуатации МБР, продолжительность работы мембраны без химических промывок и повышения ТМД до 5 м вод. ст. возможна не более двух месяцев.

Согласно паспортным данным, химическая промывка мембран SINAP проводится в зависимости от степени загрязнения примерно 1 раз в 3-6 месяцев. Очистка гипохлоритом натрия используется для окисления и контроля уровня биологических и органических загрязнений на поверхности и в порах мембраны и осуществляется раствором с концентрацией 2000-5000 мг/л по $NaOCl$ из расчета 0,5 л на элемент SINAP 25 (2 л/м²). Промывка лимонной кислотой в основном применяется для удаления неорганических осадков (в основном кальция, бария, магния) и оксидов металлов (железа и алюминия) и проводится раствором лимонной кислоты с концентрацией 1000 мг/л в таком же объеме.

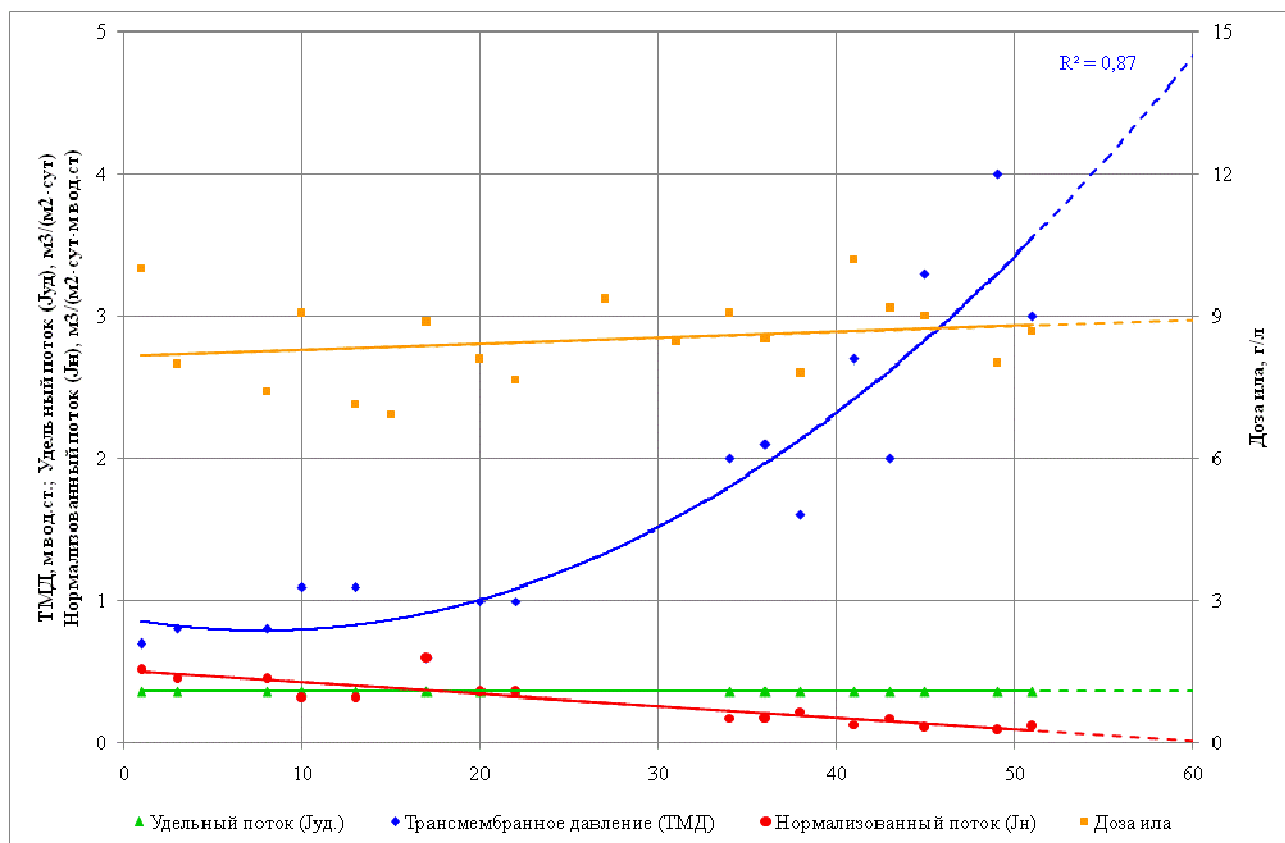


Рисунок 3.15. Характеристика работы мембранного модуля пилотной установки в ходе исследований на модельном растворе

Влияние химических промывок "in-line" на биологические процессы в мембранном биореакторе было изучено при концентрации активного хлора 5-40 мг/л и лимонной кислоты 5-20 мг/л в смеси адаптированного активного ила и модельного стока. Отметим, что в промышленном МБР с установкой мембранных кассет в аэротенке, расчетные концентрации активного хлора и лимонной кислоты, поступающих в биореактор при промывке, составят 11,2 и 5,6 мг/л соответственно. Эти значения получены из условия полного смешения поступающего раствора и иловой смеси. Следует учитывать, что при использовании гипохлорита натрия фактическая концентрация активного хлора будет ниже за счет его потребления на окислительные процессы. Скорость окисления органических веществ оценивалась по скорости потребления кислорода, которая регистрировалась оксиметром Oxi 3310 фирмы WTW.

Анализ влияния концентрации гипохлорита натрия на скорость окисления органических веществ при концентрации ила 1,6 г/л представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Влияние концентрации гипохлорита натрия на окисление органических веществ					
БПК _{полн} , мг/л	Удельная скорость окисления органических веществ, мг/(г·ч) при концентрации активного хлора, мг/л				
	0	6,6	12,8	26,1	38,9
72	20,4	10,9	3,5	0	0
144	31,9	21,41	8,77	0	0
216	23,34	22,11	14,04	1,2	0

Увеличение концентрации гипохлорита натрия снижало скорость окисления органических веществ, а при концентрации активного хлора 26,1 мг/л биологические процессы прекратились. Под действием гипохлорита наблюдалось конкурентное торможение, при котором изменяется константа K_m , а максимальная скорость реакции при концентрации ила 1,6 г/л остается постоянной - 35 мг/(г·ч). При достаточно высокой концентрации субстрата или при очень низкой концентрации ингибитора степень торможения снижается.

Анализ влияния лимонной кислоты на биологические процессы представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Влияние лимонной кислоты на биологические процессы при концентрации ила 1,15 г/л					
БПК _{полн} , мг/л	Удельная скорость окисления органических веществ, мг/(г·ч) при концентрации лимонной кислоты, мг/л и pH среды				
	0	5	10	15	20
	pH=6,22	pH=6,0	pH=5,86	pH=5,74	pH=5,56
106	15,7	14,2	10,6	8,9	7,0
212	19,0	17,5	16,6	12,8	9,4

Из таблицы 3.2 видно, что увеличение концентрации лимонной кислоты снижает скорость окисления органических веществ. Поскольку введение лимонной кислоты уменьшает pH, для определения влияния аниона лимонной кислоты на биологические процессы были выполнены аналогичные опыты при pH исходной воды 7,26 (таблица 3.3).

Таблица 3.3

Влияние лимонной кислоты на биологические процессы при pH исходной воды 7,26				
БПК _{полн} , мг/л	Удельная скорость окисления органических веществ, мг/(г·ч) при концентрации лимонной кислоты, мг/л и pH среды			
	0	5	10	20
	pH=7,26	pH=7,17	pH=7,1	pH=6,83
46	21,2	21,4	20,4	22,5
92	23,8	22,5	24,5	24,7

Определено, что токсичность лимонной кислоты не проявляется в диапазоне pH 6,83-7,17, что является благоприятной средой для протекания биологических процессов. Следовательно негативное влияние промывки лимонной кислотой обусловлено только снижением pH.

Для получения информации о времени восстановления иловой смеси после промывки были проведены контактные опыты с иловой смесью пилотного МБР, работающего на модельном стоке с концентрацией активного ила 1,8 г/л после проведения промывки in-line на субстрате модельного раствора.

Схема устройства системы промывки представлена на рисунке 3.16.

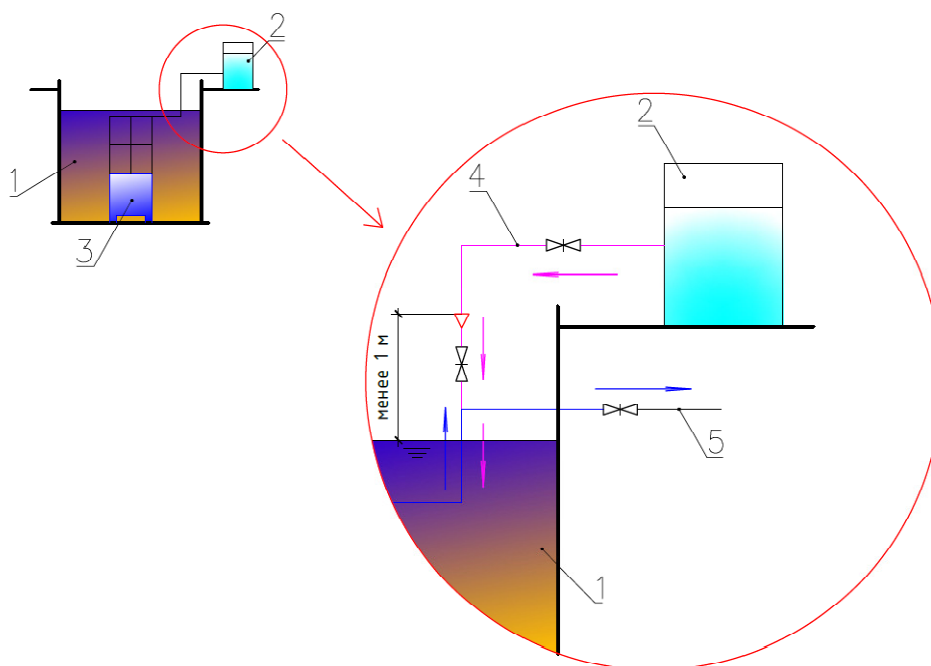


Рисунок 3.16. Схема устройства системы промывки:

1 – мембранный реактор, 2 – реагентный бак промывки, 3 – мембранный элемент, 4 – линия подачи реагента, 5 – линия пермеата

Перед химическими промывками подача сточной воды и отбор пермеата прекращались. Растворы реагента в количестве 0,5 л подавали внутрь мембраны через емкость, расположенную не выше 1 м над уровнем жидкости в реакторе. Концентрация гипохлорита в регенерирующем растворе составляла 2000 мг/л по NaOCl, что соответствовало 6,6 мг/л активного хлора в иловой смеси реактора, а концентрация лимонной кислоты - 1000 мг/л, что соответствовало 7 мг/л реагента в реакторе. Работу установки возобновляли через два часа после промывки гипохлоритом натрия и через один час после промывки лимонной кислотой. Контактные опыты по определению скорости окисления органических веществ проводили до и после промывки (таблица 3.4).

Таблица 3.4

Контактные опыты по определению скорости окисления органических веществ до и после промывки

Показатель	Вид промывки						
	гипохлоритом				лимонной кислотой		
	до про- мывки	после подачи сточных вод и отвода пермеата, мин.			до про- мывки	после подачи сточных вод и отвода пермеата, мин.	
		30	90	150		30	90
Максимальная скорость окисления $\rho_{\max}$, мг/(г·ч)	11,5	11,5	11,5	11,5	7,1	7,1	7,1
Константа Михаэлиса K_m	35	111	80	53	32	37	37
Удельная скорость окисления при БПК ₅ =96 мг/л, мг/(г·ч)	8,43	5,34	6,22	7,4	5,33	5,14	5,14
Отношение текущей скорости окисления к исходной	-	0,63	0,74	0,88	-	0,96	0,96

Данные таблицы 3.4 подтверждают закономерности, полученные в контактных условиях при обработке иловой смеси растворами тех же реагентов. В случае промывки лимонной кислотой торможение биологических процессов практически отсутствует. При промывке гипохлоритом натрия, через 30 минут

после включения установки в работу, отношение текущей скорости окисления к исходной до промывки составило 0,63. Через 90 и 150 минут после промывки зафиксировано увеличение скорости окисления. Экстраполируя полученные данные, можно определить, что первоначальная удельная скорость окисления может быть достигнута через 210-220 минут после начала подачи сточных вод и отвода пермеата (рисунок 3.17).

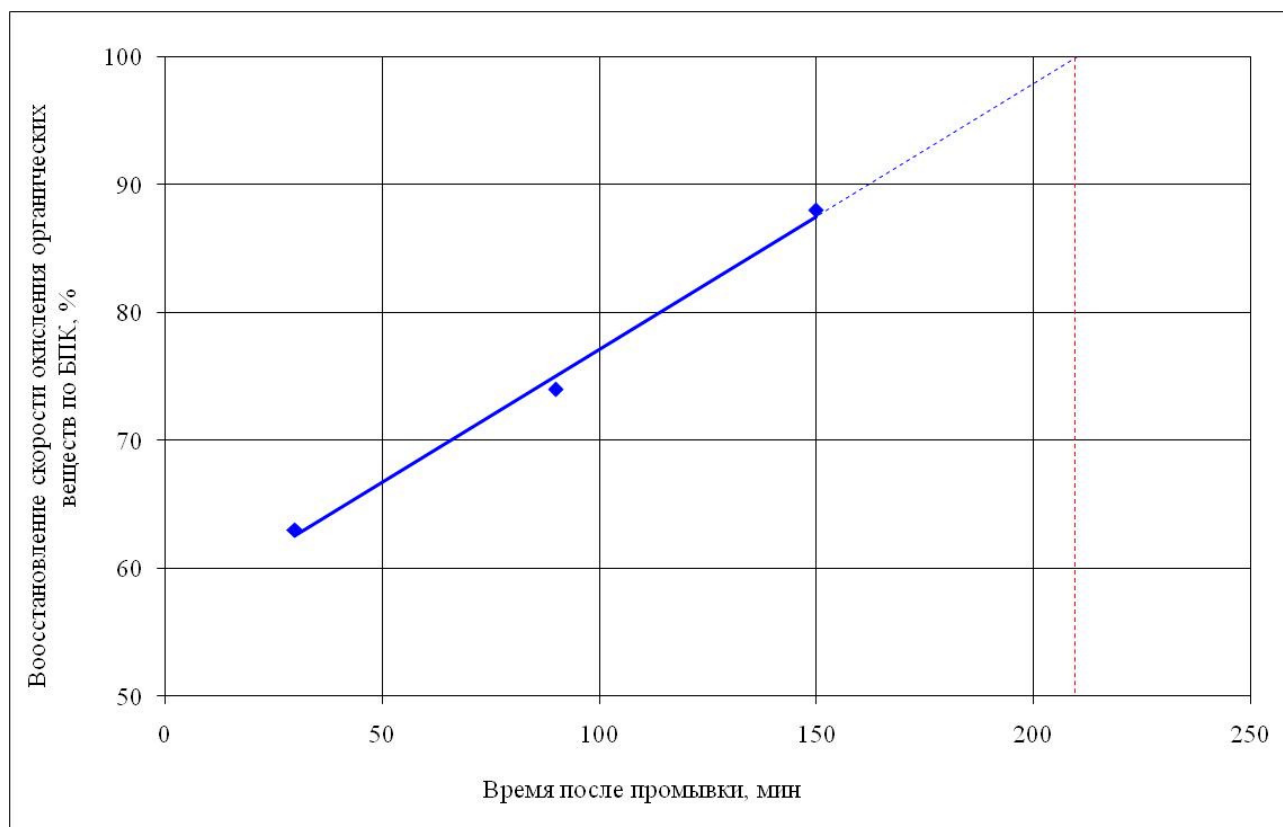


Рисунок 3.17. Динамика изменения скорости окисления органических веществ по БПК после промывки

3.4. Выводы по главе 3

1. Полученные на модельном растворе результаты эксперимента позволили установить увеличение окислительной мощности сооружения в 1,7 раза при повышении концентрации ила с 3 до 9 г/л, что позволяет значительно уменьшить объемы сооружений биологической очистки при использовании технологии МБР за счет сокращения объема биореактора и исключения из схемы вторичных отстойников и сооружений доочистки.

2. В ходе экспериментов на пилотной установке МБР и кинетических опытов в контактных условиях, проведенных на модельных сточных водах молокозавода, были определены коэффициенты ингибирования продуктами метаболизма активного ила ϕ , которые составили, л/г: для окисления органических веществ по БПК_{полн} - 0,39, для нитрификации - 0,19, для денитрификации - 0,22.
3. На основании исследований, проведенных на пилотном МБР, графоаналитическим методом найдены величины температурной константы $\chi, \text{град}^{-1}$, для аэробной гетеротрофной конверсии - 0,091, для нитрификации - 0,096 и для денитрификации - 0,13, что является важным для расчета очистных сооружений при существенных колебаниях температуры сточных вод на различных предприятиях молочной промышленности.
4. Проведенные исследования в диапазоне pH от 5,5 до 8 позволили установить зависимость скорости окисления органических веществ от pH. Определено, что pH_{опт} для сточных вод молокозаводов составляет 6,9 при pH-константе 150.
5. Экспериментально определены кинетические зависимости для окисления органических веществ, нитрификации и денитрификации при температуре 25° и pH 6,9. Максимальная скорость окисления органических веществ ρ'_{max} составляет 82,5 мг/(г·ч), константа Михаэлиса K_m – 15 мг/л. Максимальная скорость денитрификации составляет 10,8 мг/(г·ч), константа Михаэлиса K_m – 3,5 мг/л. Максимальная скорость нитрификации 1,49 мг/(г·ч), константа Михаэлиса K_m – 0,12 мг/л, константа торможения $\alpha=43$.
6. Определено, что при очистке сточных вод молокозавода в МБР с дозой ила 7-9 г/л и удельном потоке 0,36 м³/(сут·м²), соответствующем обычному режиму эксплуатации плоскораменных мембран, продолжительность работы установки без химических промывок и повышения ТМД более 5 м вод.ст. возможна до двух месяцев.

7. Промывка мембран лимонной кислотой с концентрацией раствора 1000 мг/л и концентрацией кислоты в реакторе 5-20 мг/л уменьшает скорость биохимических процессов за счет снижения pH. Токсичность лимонной кислоты не проявляется в диапазоне pH иловой смеси выше 6,8.
8. При промывке мембран раствором гипохлорита натрия с концентрацией 2000 мг/л по $NaOCl$ и получением концентрации активного хлора в реакторе 6,6-12,8 мг/л наблюдается конкурентное торможение скорости окисления органических веществ с практически полным подавлением биологических процессов при концентрации активного хлора свыше 26,1 мг/л.
9. Продолжительность восстановления первоначальной скорости окисления органических веществ в МБР, после завершения промывки in-line с концентрацией активного хлора в реакторе 6,6 мг/л и включения установки в работу, может быть оценена в 210-220 минут.

ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ НА РЕАЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОДАХ ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

4.1. Характеристика сточных вод и методы очистки на существующих предприятиях молочной промышленности

Экспериментальные исследования проводились на четырех предприятиях молочной промышленности: молокозавод "Пестравский" в Самарской области, "Никольский" в Красноярском крае, "Чекмагушевский" в республике Башкортостан и цех молочной продукции санатория "Ульяновсккурорт" в Ульяновской области.

Все предприятия специализируются на выпуске цельномолочной и кисломолочной продукции, масла и творога. Оборудование для производства сыра предусмотрено на заводах "Никольский" и "Ульяновсккурорт", однако выпуск данной продукции производится крайне редко.

Заводы "Пестравский", "Никольский" и "Чекмагушевский" перерабатывают свыше 100 т молока в сутки и имеют собственные приемно-моечные отделения для молоковозов. Цех молочной продукции "Ульяновсккурорт" не производит ополаскивание цистерн молоковозов на своей территории.

Все предприятия оборудованы безразборной мойкой трубопроводов и технологического оборудования и в основном для мойки используют каустическую соду, азотную и сульфаминовую кислоты, для дезинфекции применяется перекись водорода.

В общую канализационную сеть данных предприятий сбрасываются бытовые и производственные сточные воды завода, образующиеся в основном при ополаскивании цистерн молоковозов, безразборной мойке технологических линий и оборудования, сбросе творожной и подсырной сыворотки.

Удельное водоотведение предприятий колеблется в пределах 2-4 м³/т перерабатываемого молока. Значительные колебания расходов сточных вод в течение суток наблюдаются на предприятиях "Никольский" и "Ульяновсккурорт"

ввиду их работы в 1-2 смены. Сезонные колебания расходов сточных вод связаны с изменением объема перерабатываемого молока и наблюдаются на всех предприятиях.

На предприятиях имеются локальные очистные сооружения для механической и физико-химической очистки перед сбросом сточных вод в городской коллектор, а на молокозаводе "Никольский" предусматривается сброс в реку и построены сооружения биологической доочистки на фильтрах с прикрепленной микрофлорой. Однако биоценоз на загрузке не развивается и биофильтры не обеспечивают требуемое качество очищенной воды.

Лишь на молокозаводе "Никольский" на стадии механической очистки предусматривается решетка, очистка которой производится не чаще 1 раза в 1-2 месяца.

Жироловки имеются на всех молокозаводах, кроме цеха молочной продукции "Ульяновсккурорт", однако сбор осадка и жира из этих сооружений производится крайне редко.

После локальной механической очистки сточные воды данных предприятий попадают в усреднители, оборудованные крупнопузырчатой аэрацией, откуда насосами перекачиваются на физико-химическую очистку, представленную смесителями, напорными флотаторами и реагентным хозяйством.

Автоматизированная корректировка pH имеется на молокозаводах "Пестравский" и "Ульяновсккурорт", на заводе "Чекмагушевский" корректировку pH производят вручную по показаниям pH-метра.

На очистных сооружениях этих заводов используют различные типы коагулянтов и флокулянтов. На молокозаводе "Пестравский" в смесители дозируют растворы коагулянта Polypacs 30LF (полиалюминия хлорид) и анионного флокулянта Besfloc K4034 (сополимер акриламида с возрастающими долями акрилата). На молокозаводе "Чекмагушевский" применяют сульфат алюминия и флокулянт Superfloc. В цеху молочной продукции "Ульяновсккурорт" используют только коагулянт - сернокислый алюминий, а на заводе "Никольский"

- Аква-Аурат-30 – полиоксихлорид алюминия. Следует отметить, что на всех предприятиях применяются коагулянты на основе алюминия.

Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах рассматриваемых заводов до и после физико-химической очистки представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Качественный состав сточных вод молокозаводов до и после физико-химической очистки

Показатели	Молокозавод "Пестравский"			Молокозавод "Чекмагушевский"			Молокозавод "Никольский"			Цех молочной продукции "Ульяновск-курорт"
	До очистки, мг/л	После ФХО, мг/л	Эффект, %	До очистки, мг/л	После ФХО, мг/л	Эффект, %	До очистки, мг/л	После ФХО, мг/л	Эффект, %	До очистки, мг/л
ХПК	1497	934	38	-	-	-	1518	702	54	1668
БПК ₅	620	200	68	1200	600	50	796	380	52	980
Взвешенные	772	51	93	110	62,5	43	356	120	66	-
Р-РО ₄	-	-	-	5,2	0,5	90	0,15	0,07	53	9,56
Жиры	-	-	-	-	-	-	38,2	12	68	-

Анализ данных таблицы 4.1 показывает, что при использовании коагулянта и флокулянта максимальный эффект очистки по взвешенным веществам может достигать 93%, а при обработке только коагулянтом - 66%. Эффективность очистки по органическим веществам составляет 52% при использовании только коагулянта, а в комбинации с флокулянтом 50-68%. Коагуляция также значительно снижает содержание фосфора в очищенных сточных водах. Эффективность очистки по жирам зависит от концентрации жиров на входе и при низких исходных показателях незначительна.

Динамика изменения концентраций загрязняющих веществ в течение суток в очищенных сточных водах маслозавода "Пестравский" (после флотатора) и требования к сбросу на муниципальные очистные сооружения представлены в таблице 4.2. Жирным шрифтом выделены превышения установленных концентраций.

Таблица 4.2

Колебание концентраций загрязняющих веществ в сточных водах молокозавода "Пестравский" после локальных очистных сооружений

Показатели	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00	Среднее	Допустимые концентрации
ХПК, мг/л	-	1323	833	980	980	490	2450	1176	-
БПК _{полн.} , мг/л	440	320	580	900	860	-	940	673	350
БПК _{полн.} /ХПК	-	0,24	0,70	0,92	0,88	-	0,38	0,6	-
N-NH ₄ , мг/л	6,95	5,88	7,35	7,23	7,19	7,47	5,76	6,8	35
N-NO ₂ , мг/л	0,49	0,38	0,65	2,32	0,7	1,05	1,19	1,0	0,1
N-NO ₃ , мг/л	11,4	17,3	19,9	19,7	7,3	9,9	10,2	13,7	3
P, мг/л	0,19	0,15	1,51	3,55	7,5	5,5	6,5	3,6	7,0

Несмотря на проведение предварительной очистки сточных вод на предприятии, качество очищенной воды не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к сточным водам, отводимым на очистные сооружения населенного пункта, что влечет за собой их нестабильную работу. Концентрации органических веществ превышают допустимые нормы в среднем в два раза, а при залповых сбросах в три раза. Постоянное многократное превышение также наблюдается по азоту нитритному и нитратному, а также, не смотря на предварительную коагуляцию, в очищенных сточных водах периодически превышает допустимая концентрация по фосфору.

4.2. Влияние локальной физико-химической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности на биологические процессы

Исследование влияния физико-химической очистки сточных вод проводилось со сточными водами четырех предприятий молочной промышленности, описанных в разделе 4.1.

Следует отметить, что для проведения опытов на Пестравском и Чекмагушевском заводах и в цеху молочной продукции "Ульяновсккурорт" использовался адаптированный активный ил с биологических очистных сооружений, принимающих данные сточные воды. Для молокозавода

с. Никольское использовался активный ил сооружений очистки бытовых сточных вод поселка.

На Пестравском молокозаводе перед флотацией вода обрабатывалась коагулянтом Polypacs 30LF с дозой 200 мг/л и флокулянтом Besfloc дозой 2 мг/л, на Чекмагушевском молокозаводе - сульфатом алюминия с дозой 20 мг/л и Superfloc с дозой 4 мг/л, на Никольском молокозаводе коагулянтом Аквааурат-30 с дозой 150 мг/л, в цеху молочной продукции "Ульяновсккурорт" - сульфатом алюминия с дозой 600 мг/л.

Было установлено, что кинетика окисления органических загрязнений исходной сточной воды молокозаводов с. Пестравка и с. Никольское описывается уравнением Михаэлиса-Ментен без торможения (рисунок 4.1, кривые 2а и 3а), а для Чекмагушевского молокозавода и цеха молочной продукции "Ульяновсккурорт" - с торможением субстратом (кривые 1а и 4а), начиная с 300 и 70 мг/л соответственно. В тоже время биологическое окисление загрязнений сточной воды после реагентной флотации на всех заводах происходит по механизму субстратного торможения (кривые 1б - 4б): на трех заводах наблюдается при БПК_{полн} свыше 120 мг/л, а в цеху молочной продукции "Ульяновсккурорт" - при БПК_{полн} 40 мг/л.

Из рисунка 4.1 видно, что удельная скорость окисления после физико-химической очистки при БПК_{полн}, например, 250 мг/л снижается по сравнению с исходной водой на Чекмагушевском молокозаводе в 1,3 раза, на Пестравском заводе - в 1,6 раза, на Никольском - в 1,2 раза, в цеху "Ульяновсккурорт" - в 2,3 раза.

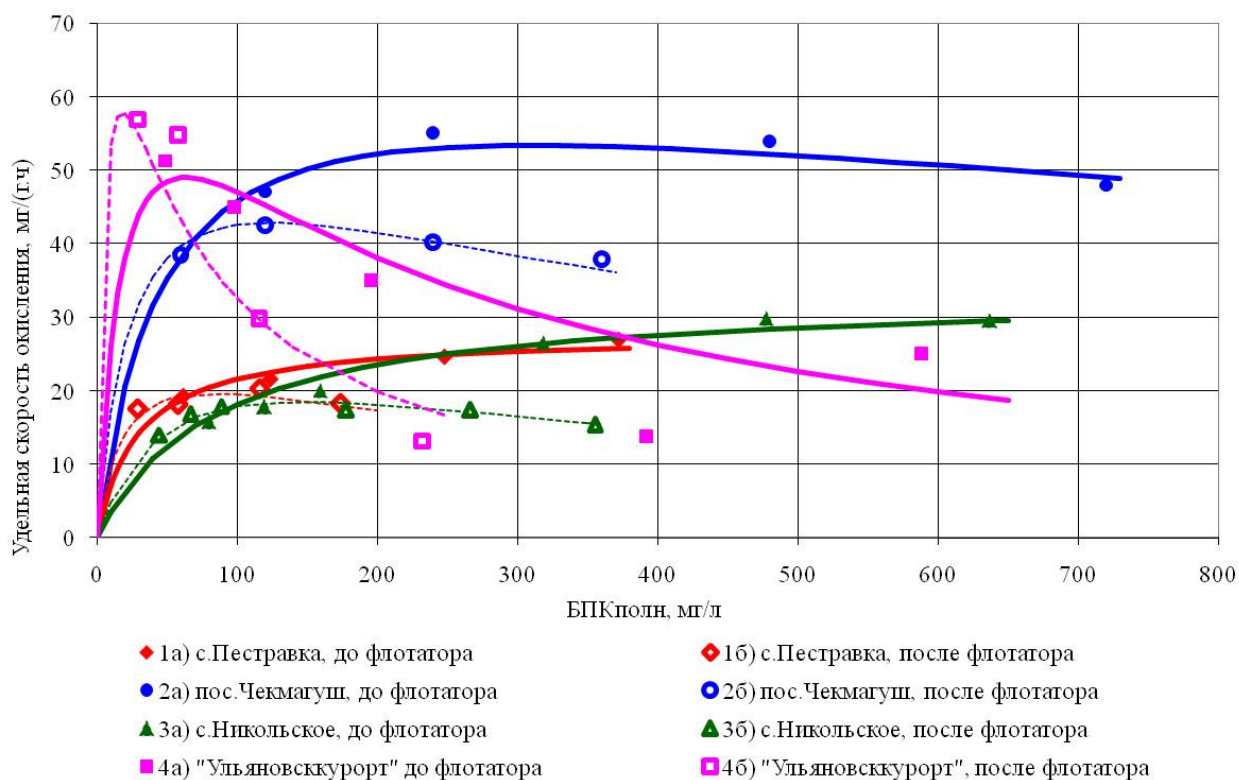


Рисунок 4.1. Зависимость удельной скорости окисления от концентрации органических веществ (по БПК_{полн}) в сточной воде заводов в с. Пестравка (1), пос. Чекулагуш (2), с. Никольское (3) и цеха молочной продукции "Ульяновсккурорт" (4), до (1а, 2а, 3а, 4а) и после реагентной флотации (1б, 2б, 3б, 4б).

Определение константы торможения представляет большой практический интерес, поскольку позволяет установить тип торможения и оценить степень снижения скорости процесса при увеличении концентрации субстрата. Зная тип торможения, можно наметить пути снятия ингибирования, что является немаловажным при биологической очистке токсичных сточных вод.

Кинетические константы (таблица 4.3) определены графоаналитическим способом: константы V_{max} и K_m – построением графиков двойных обратных величин, константа торможения α – из графика зависимости обратной величины удельной скорости окисления от концентрации субстрата.

Таблица 4.3

Кинетические константы биологических процессов до и после физико-химической очистки

Объект	Проба	Доза ила, г/л	$V_{\max}$, мг/(г·ч)	K_m , мг/л	α
Чекмагушевский молокозавод	До обработки реагентами	1,3	69,8	47,6	42,3
	До обработки реагентами	1,96	48,4	45,5	46,5
	До обработки реагентами	2,6	44,5	45,5	49,4
	После обработки реагентами	1,3	60	25	25
Пестравский маслозавод	До обработки реагентами	0,97	27,8	28,8	-
	После обработки реагентами	0,97	30	22	14,5
Никольский молокозавод	До обработки реагентами	1,5	34,5	83	-
	После обработки реагентами	1,5	34,5	59	6,2
Цех молочной продукции "Ульяновсккурорт"	До обработки реагентами	0,6	80	20	10
	После обработки реагентами	0,6	100	6,7	7,5

Самое сильное торможение наблюдалось в опытах со сточной водой после флотатора Пестравского и Никольского молокозаводов. Значение констант торможения α выше единицы указывает на конкурентное ингибирование, которое уменьшается при увеличении α . В свою очередь, константу торможения можно увеличить снижением концентрации субстрата в сточной воде (работа аэрационного сооружения в режиме глубокой очистки), либо увеличением концентрации фермента за счет увеличения дозы активного ила, либо снижением величины K_m за счет длительной адаптации активного ила.

Полученная прямая зависимость константы торможения α от концентрации активного ила (рисунок 4.2) подтверждает возможность снижения токсического эффекта увеличением дозы активного ила в сооружении.

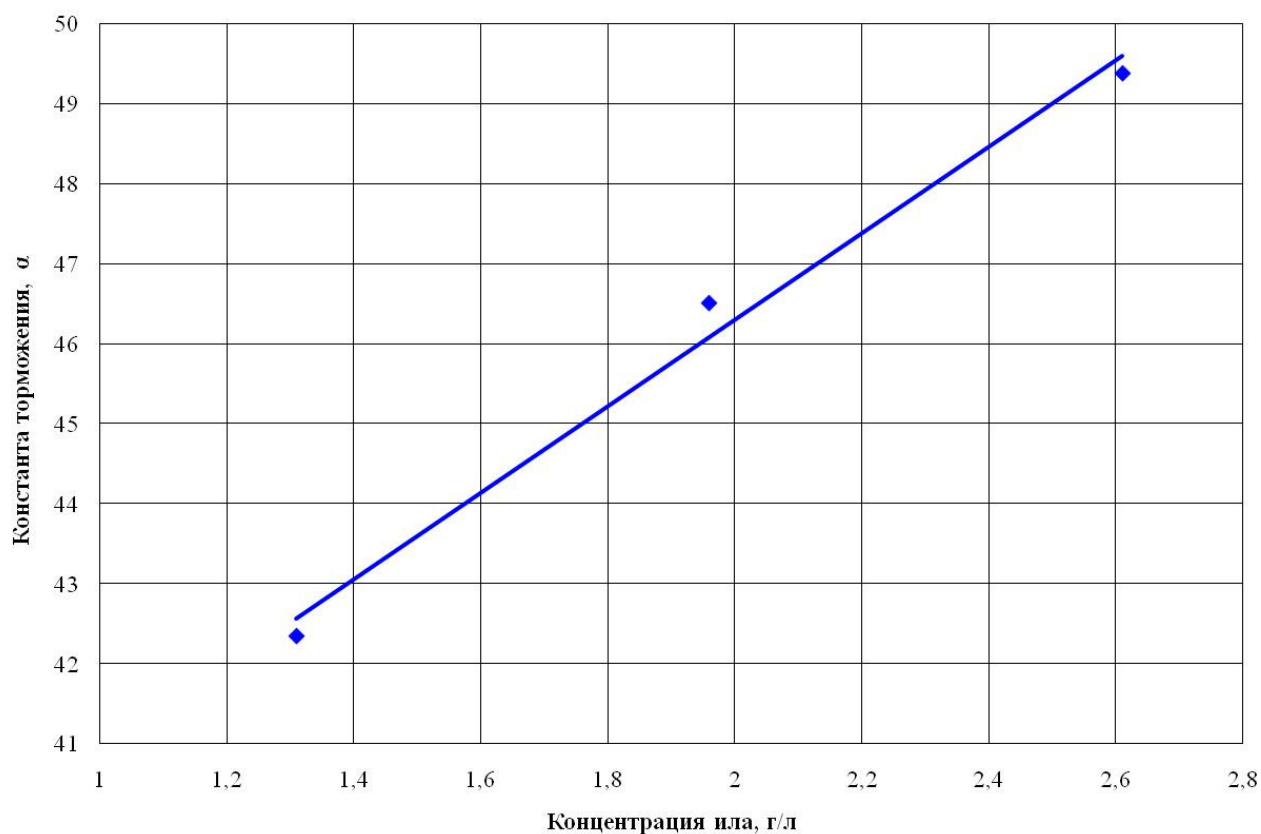


Рисунок 4.2. Зависимость константы торможения α от концентрации активного ила

Из вышеизложенного следует, что для биологической очистки данного вида сточных вод технологически целесообразно применять аэрационные сооружения, работающие с высокими дозами активного ила, например мембранные биореакторы.

Результаты контактных опытов при оценке скорости окисления органических загрязнений по скорости потребления кислорода для молокозавода "Пестравский" приведены на рисунках 4.3 и 4.4 и в таблице 4.4.

В опытах от 06.10.2016 (рисунок 4.3), 20.10.2016 и 25.10.2016 исследовались одноразовые пробы сточной воды до флотаторов и сточная вода после обработки флокулянтom Besfloc дозой 2 мг/л. В опытах от 26.10.16 (рисунок 4.4) перед флотатором дозировался коагулянт Polypacs 30LF (доза 200 мг/л) и флокулянт Besfloc (доза 2 мг/л). Пробы 1 и 2 - усредненные, отбираемые каждые 2 часа по 200 мл в течение суток, а проба 3 – среднесуточная, отбираемая равномерно насосом-дозатором в течение суток.

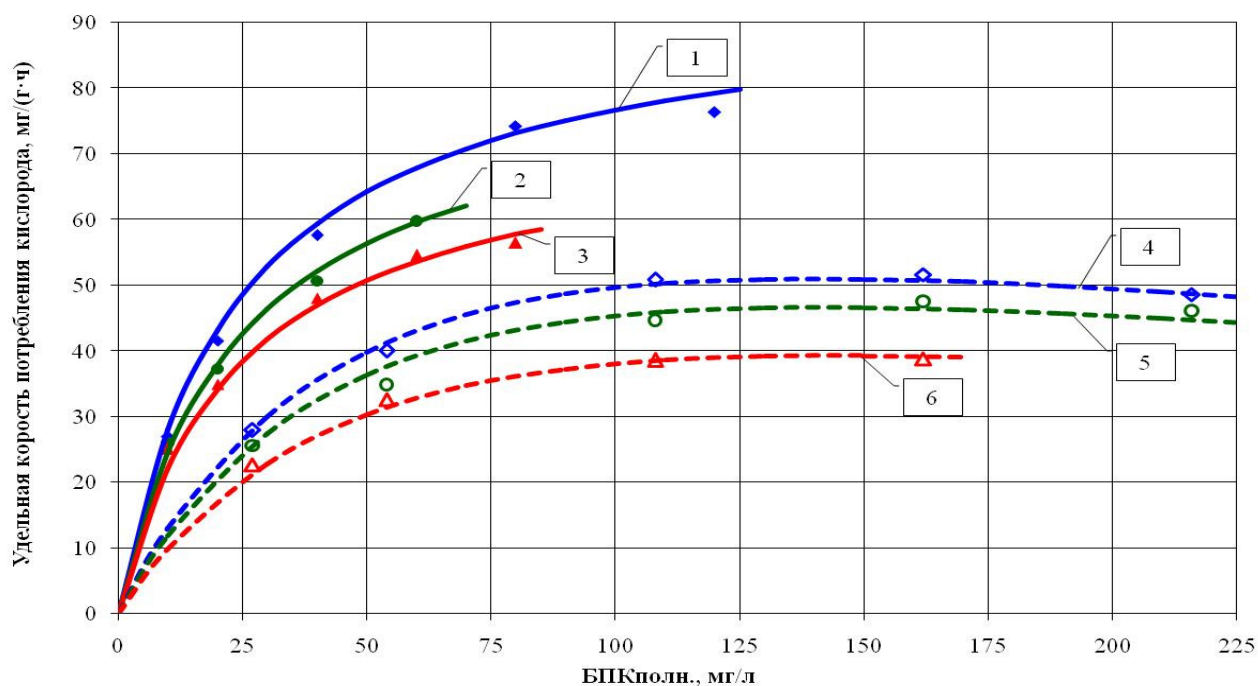


Рисунок 4.3. Зависимость удельной скорости потребления кислорода от концентрации органических загрязнений по БПК при концентрациях активного ила (опыт 06.10.2016):

1 и 4 – 1,78 г/л; 2 и 5 – 2,67 г/л; 3 и 6 – 3,56 г/л; 1-3 - сточная вода до флотаторов; 4-6 - сточная вода после флотаторов

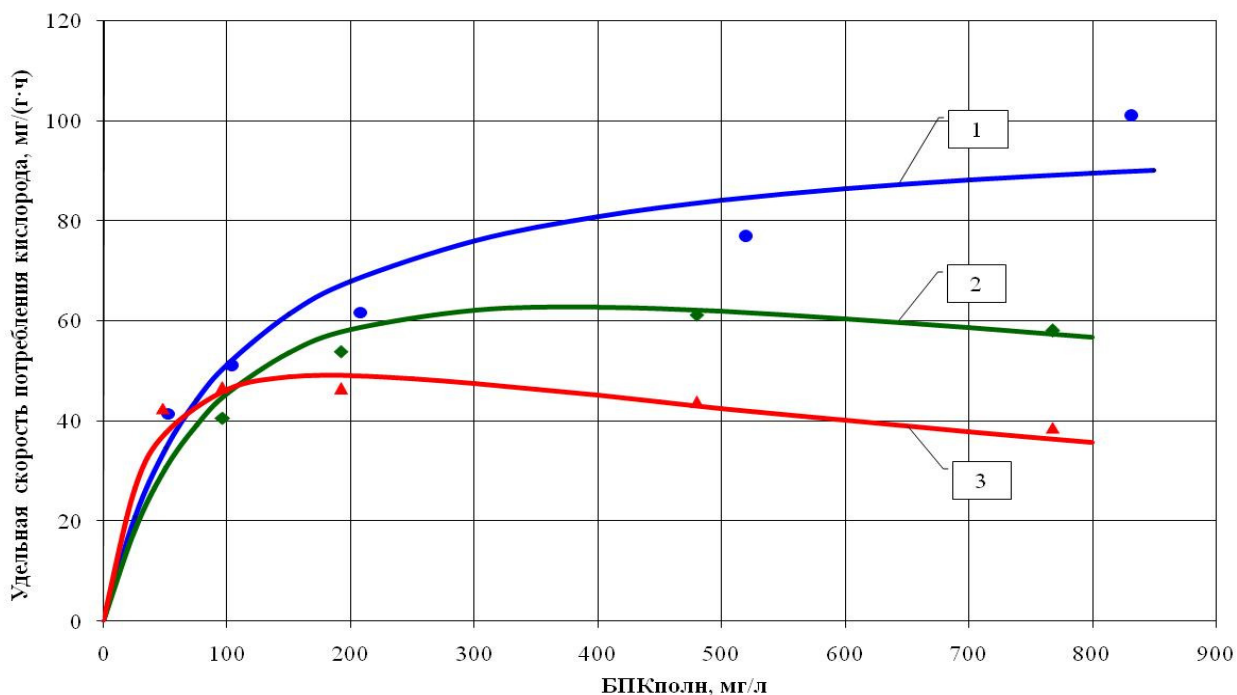


Рисунок 4.4. Зависимость удельной скорости потребления кислорода от концентрации органических загрязнений по БПК (опыт 26.10.2016):

1 - усредненная проба сточной воды до флотаторов; 2 - усредненная проба сточной воды после флотаторов и 3-среднесуточная проба сточной воды после флотаторов

Таблица 4.4

Результаты контактных опытов								
Дата	Проба	Дозы реагентов	БПК (ХПК), мг/л	Доза ила, г/л	V_{max} , мг/(г·ч)	K_m , мг/л	α	φ , л/г
06.10.2016	До флотатора	Besfloc 2 мг/л	200	1,78	95	24	-	0,49
	До флотатора		200	2,67	83	24	-	
	До флотатора		200	3,56	75	24	-	
	После флотатора		540	1,78	99	66	4,45	0,51
	После флотатора		540	2,67	90	66	4,6	
	После флотатора		540	3,56	75	66	4,8	
20.10.2016	До флотатора	Besfloc 2 мг/л	500	0,32	61	50	-	-
	После флотатора		320	0,32	80	30	10	-
25.10.2016	До флотатора		300 (1078)	1,45	48	20	-	-
	После флотатора		260 (686)	1,45	46	12	40	-
	После пробной коагуляции		200 (490)	1,45	85	30	4	-
26.10.2016	До флотатора	Polypacs 30LF 200 мг/л и Besfloc 2 мг/л	1040 (1816)	0,93	100	95	-	-
	После флотатора		960 (1568)	0,93	99	110	12	-
	После флотатора		960 (2009)	0,93	70	40	22	-

Установлено, что кинетика окисления органических загрязнений исходной сточной воды молокозавода «Пестравский» описывается уравнением Михаэлиса–Ментен без торможения субстратом. В тоже время биологическое окисление загрязнений после реагентной флотации во всех опытах происходит по механизму субстратного торможения. Самое сильное торможение скорости окисления наблюдалось при исследованиях одноразовых утренних проб и пробы после пробной коагуляции (коагулянт Polypacs 30LF с дозой 200 мг/л и флокулянт Besfloc - дозой 2 мг/л), константа торможения α составляла соответственно 4,45 и 4. С увеличением дозы активного ила константа торможения α увеличилась, что подтверждает возможность снижения токсического эффекта в сооружениях, работающих с высокими концентрациями активного ила. Графоаналитическим методом определен коэффициент ингибирования продуктами метаболизма φ , равный 0,49 л/г для исходной сточной воды и 0,51 л/г - для сточной воды после реагентной обработки.

На рисунке 4.5 представлена кинетика окисления органических загрязнений по БПК_{полн} сточной воды Чекмагушевского молокозавода при различных дозах активного ила. Графоаналитическим методом определен коэффициент ингибирования продуктами метаболизма ϕ , равный 0,93 л/г (рисунок 4.6).

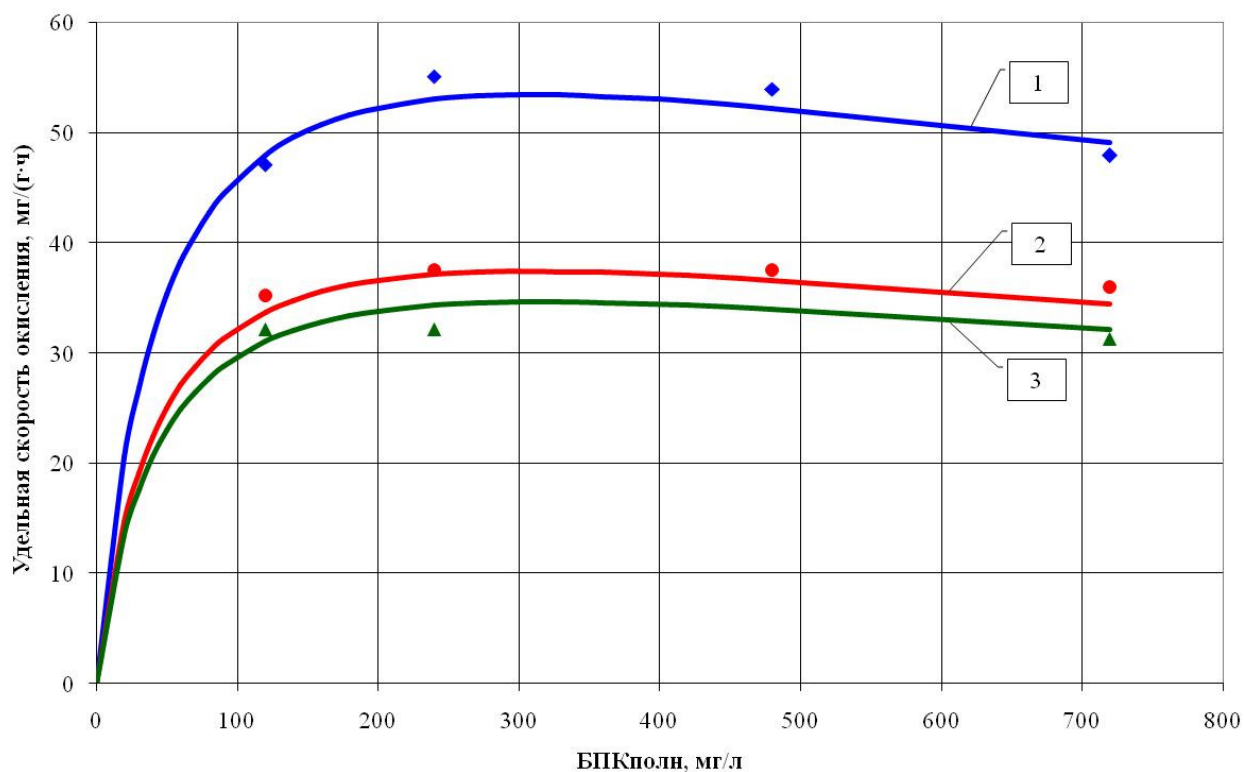


Рисунок 4.5. Кинетика окисления органических загрязнений по БПК_{полн} сточной воды молокозавода пос. Чекмагуш при различных дозах активного ила, г/л:
1 - 1,31; 2 - 1,96; 3 - 2,61

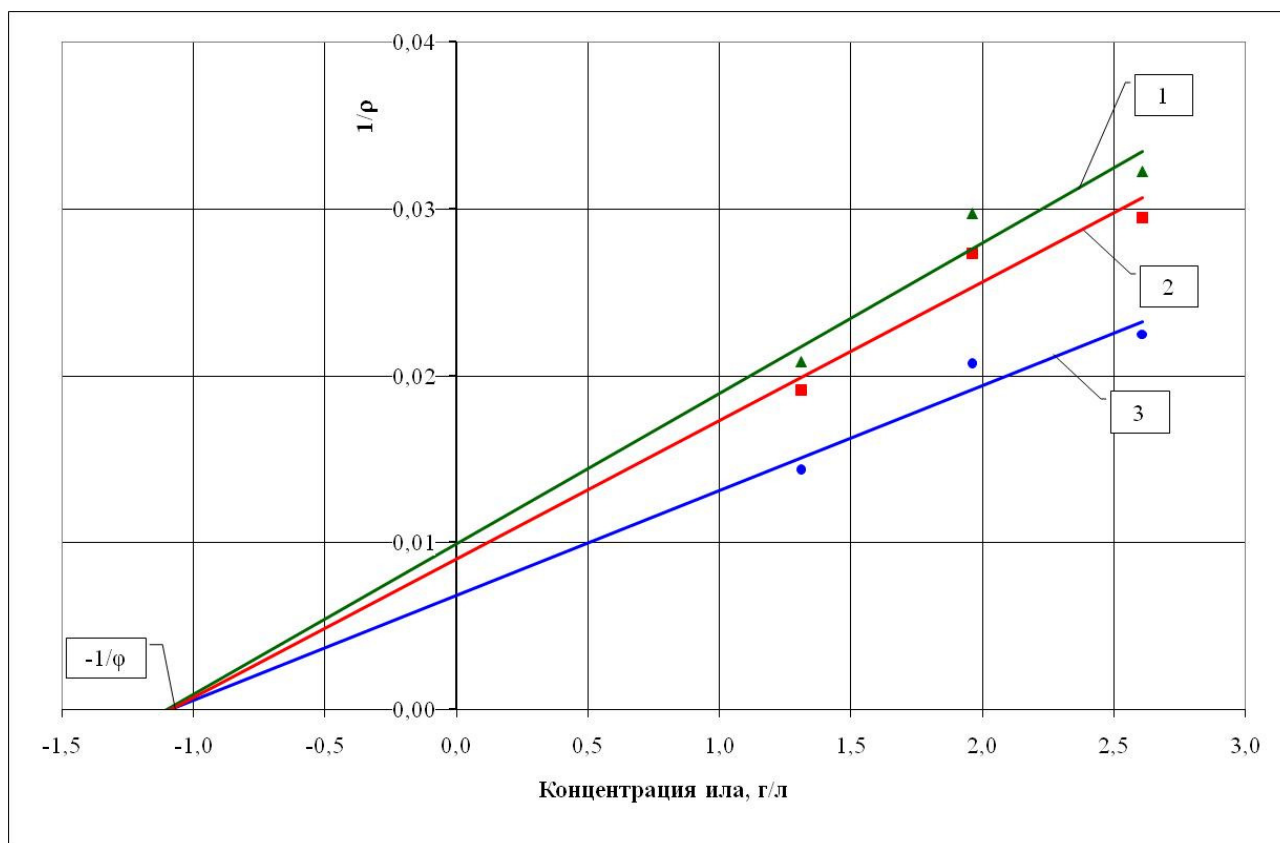


Рисунок 4.6. Зависимость обратной величины удельной скорости окисления сточной воды молокозавода пос. Чекмагуш от дозы активного ила при концентрации БПК_{полн}, мг/л:

1 – 720; 2 – 480; 3 – максимальная скорость окисления

Контактные опыты подтвердили необходимость локальной биологической очистки на предприятиях молочной промышленности перед подачей их на городские или поселковые очистные сооружения, поскольку сброс очищенных сточных вод после предварительной физико-химической обработки может вызывать нарушение процесса на этих сооружениях, особенно в случае залпового сброса при опорожнении резервуаров с отработанными моющими растворами, запуске технологической линии и в момент приемки молока.

Исследования оценки влияния на биологические очистные сооружения различных реагентов, используемых при физико-химической очистке на молокозаводе "Пестравский" были проведены в контактных условиях для определения кинетических характеристик органических веществ сточной воды до и после реагентной обработки со следующими реагентами: коагулянт Polypacs

30LF дозой 75 мг/л, коагулянт Polypacs 30LF дозой 75 мг/л с флокулянтom BesflocK4034 дозой 2 мг/л, коагулянт Аурат10 дозой 60 мг/л и коагулянт Аурат10 дозой 60 мг/л с флокулянтom BesflocK4034 дозой 2 мг/л.

Результаты контактных опытов при оценке влияния реагентов на скорость окисления органических загрязнений по скорости потребления кислорода приведены графически (в качестве примера) на рисунке 4.7.

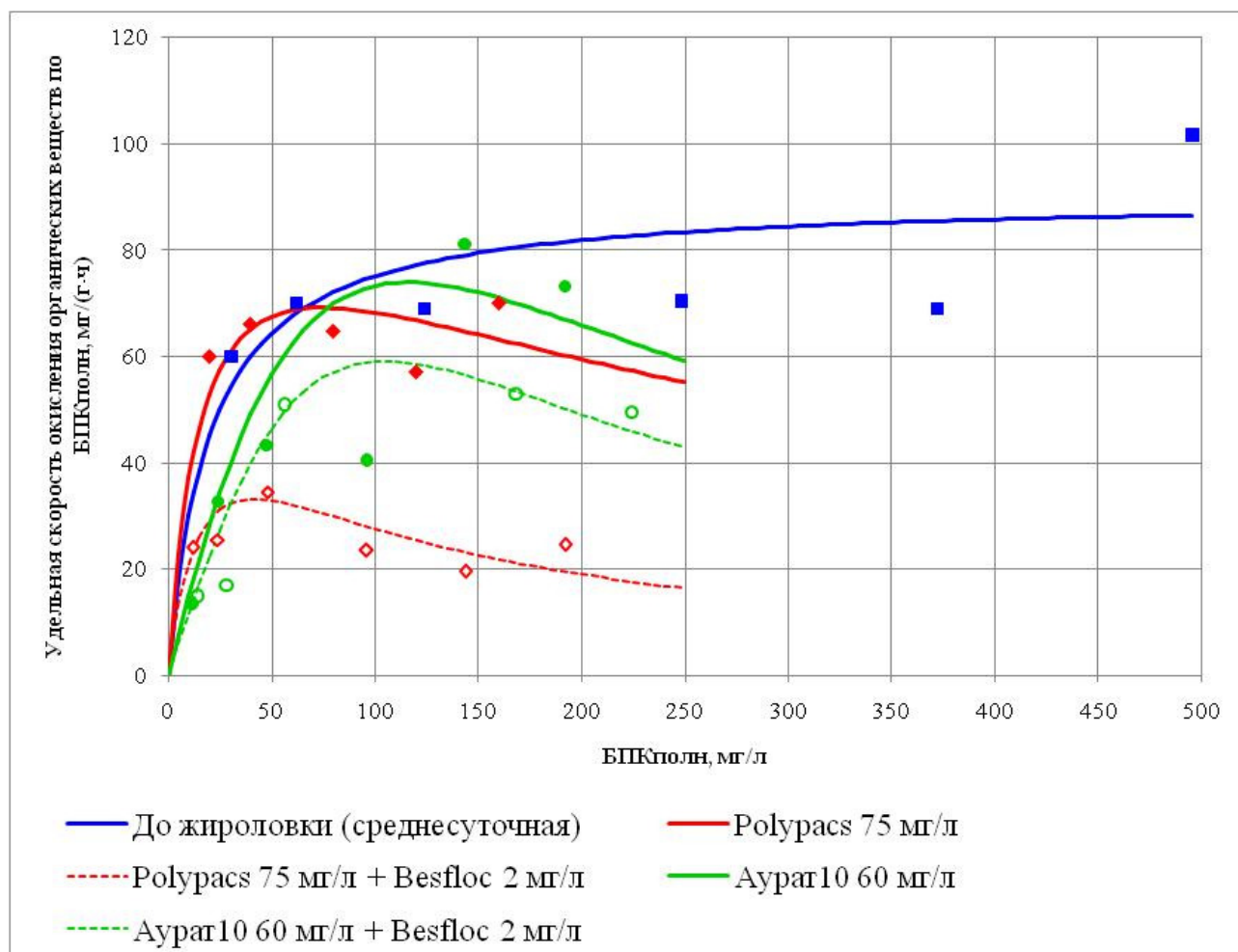


Рисунок 4.7. Кинетические зависимости, полученные в контактных условиях на сточных водах молокозавода "Пестравский" до и после обработки реагентами

Установлено, что кинетика окисления органических загрязнений исходной сточной воды молокозавода «Пестравский» описывается уравнением Михаэлиса–Ментен без торможения субстратом (2.2). В тоже время биологическое окисление загрязнений после реагентной флотации во всех опытах происходит по механизму субстратного торможения (2.12). Сравнение степени торможения при обработке только коагулянтom и одновременной работе коагулянта и флокулянта

свидетельствует о том, что в обоих случаях наблюдается значительное снижение скорости окисления органических веществ, но при использовании флокулянта это снижение заметно выше. Самое сильное торможение скорости окисления наблюдалось после пробной коагуляции (коагулянт Polypacs 30LF с дозой 75 мг/л и флокулянт Besfloc - дозой 2 мг/л). В области низких БПК (условия полной биологической очистки) значительных различий в скоростях окисления органических веществ при использовании выбранных типов коагулянта не наблюдалось. Это свидетельствует о возможности замены реагента на предприятии без ухудшения влияния на дальнейшую биологическую очистку.

4.3. Исследование биомембранной технологии очистки сточных вод на реальных сточных водах предприятия молочной промышленности

Исследования на пилотном МБР (рисунок 2.13) проводились в течение четырех месяцев с июля по октябрь 2016 года на сточных водах маслозавода "Пестравский".

Использование в процессе физико-химической очистки дорогостоящих реагентов, высокие тарифы на сброс сточных вод в сети поселковой канализации, несоответствие качественного состава очищенной сточной воды требованиям к приему на биологические очистные сооружения сточных вод предприятий молочной промышленности определили заинтересованность в проведении экспериментальных исследований по апробации разработанной ранее технологии нитри-денитрификации в мембранном биореакторе.

Данные таблицы 4.2 свидетельствуют о высокой нестабильности качественного состава сточной воды, которая обусловлена режимами мойки оборудования на предприятии. Концентрация органических загрязнений по ХПК изменяется от 490 до 2450 мг/л, БПК_{полн} – от 440 до 940 мг/л, причем соотношение БПК/ХПК варьировало от 0,24 до 0,9, составляя в среднем 0,6. Это указывает на существенные колебания в сточной воде содержания легкоокисляемого субстрата. В ходе эксперимента после прохождения пускового периода было выделено четыре режима работы установки, отличающихся продолжительностью

пребывания сточных вод в установке, концентрациями загрязняющих веществ на входе и дозой активного ила. Динамика изменения основных показателей в ходе биологической очистки сточных вод в мембранном биореакторе пилотной установки представлена на рисунках 4.9 - 4.12.

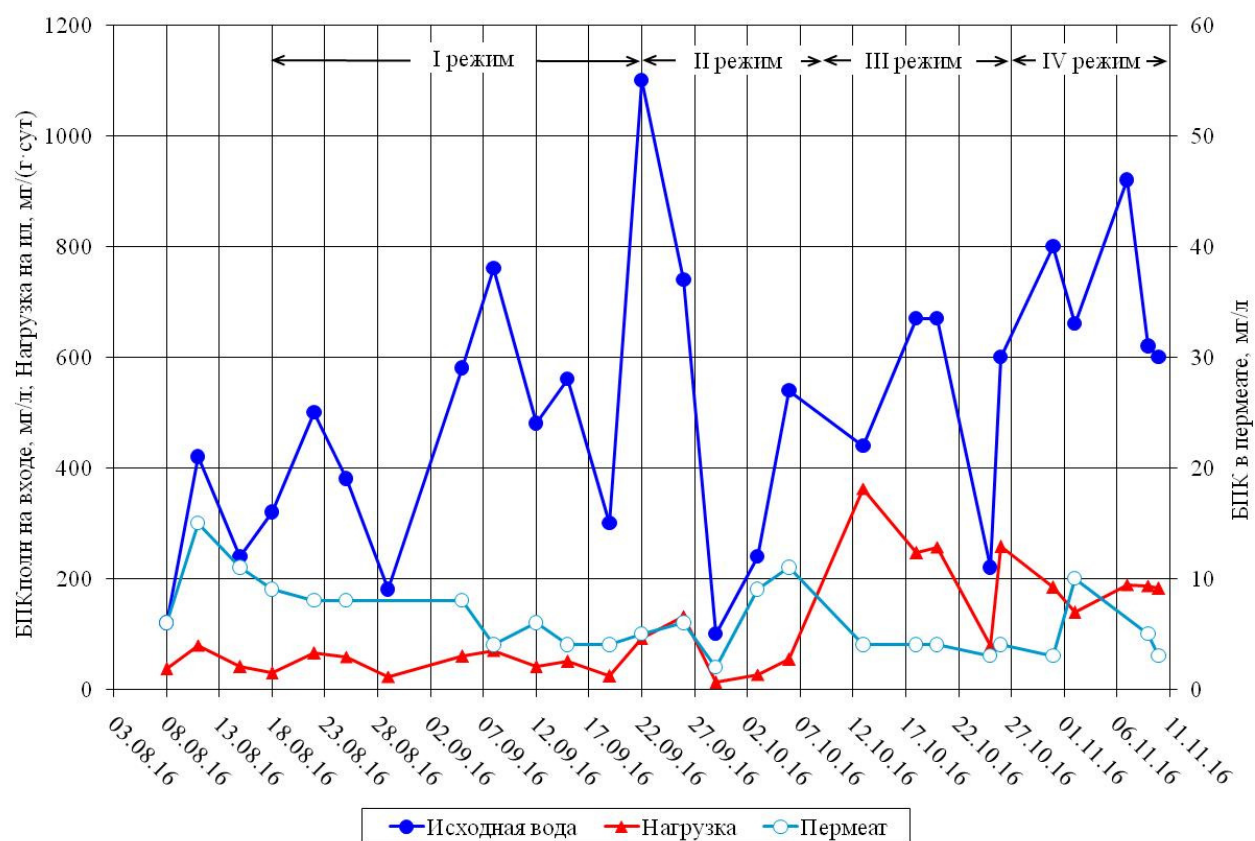


Рисунок 4.9. Динамика изменения БПК_{полн} и нагрузки на ил

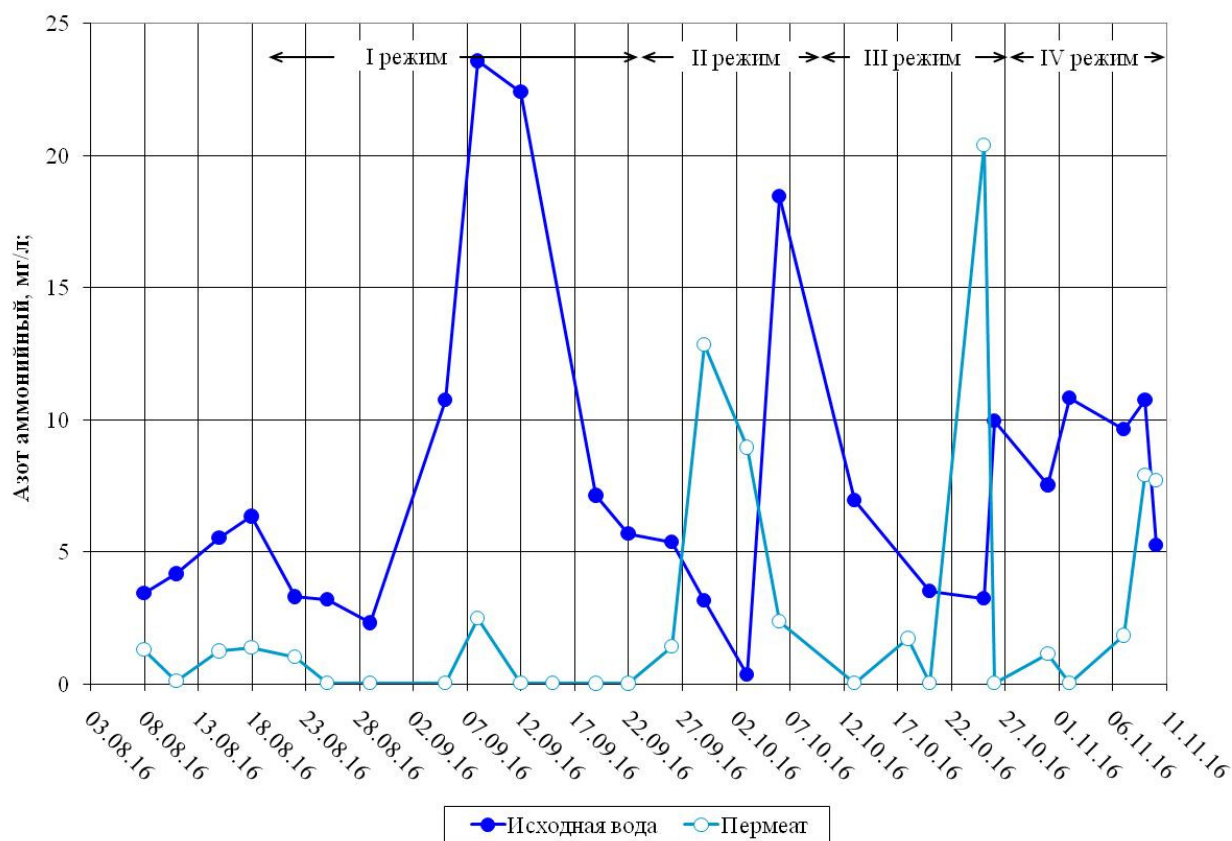


Рисунок 4.10. Динамика изменения концентрации азота аммонийного

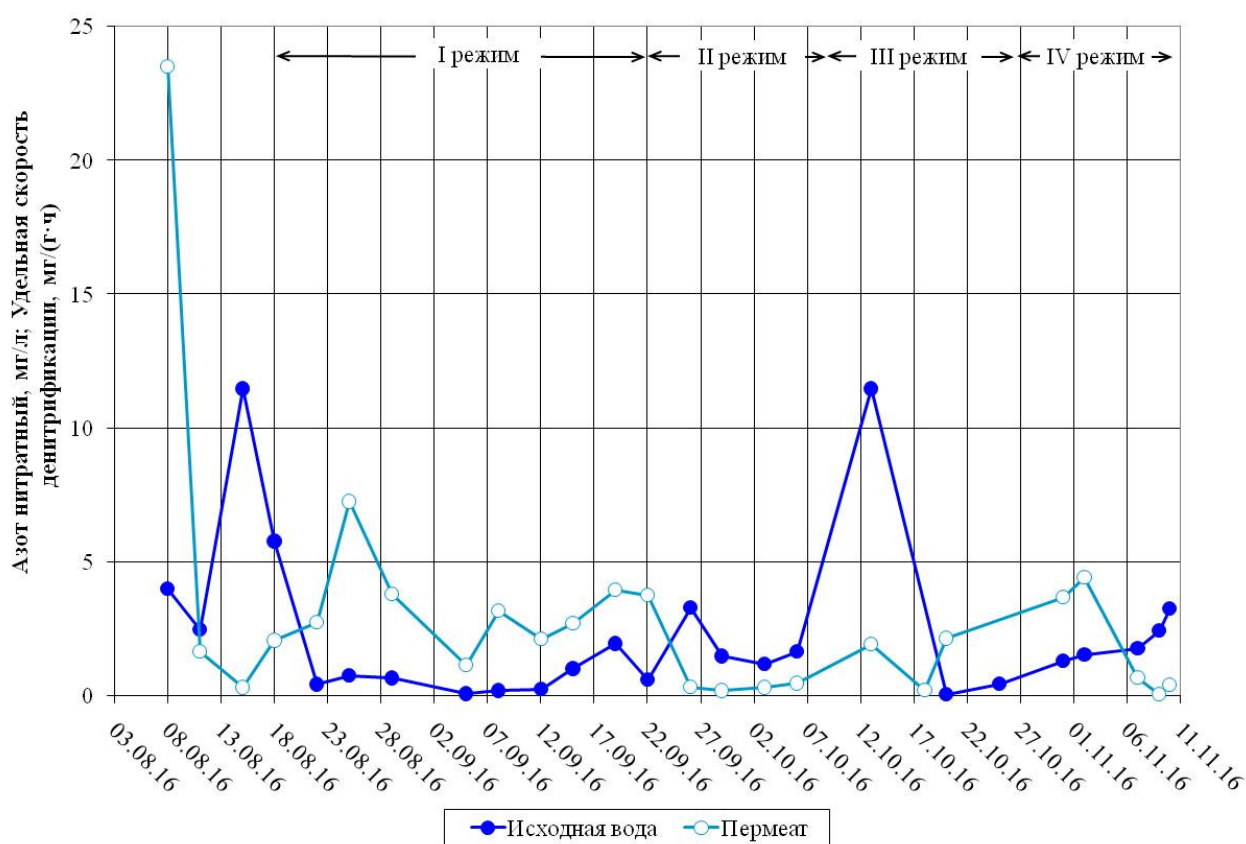


Рисунок 4.11. Динамика изменения азота нитратов

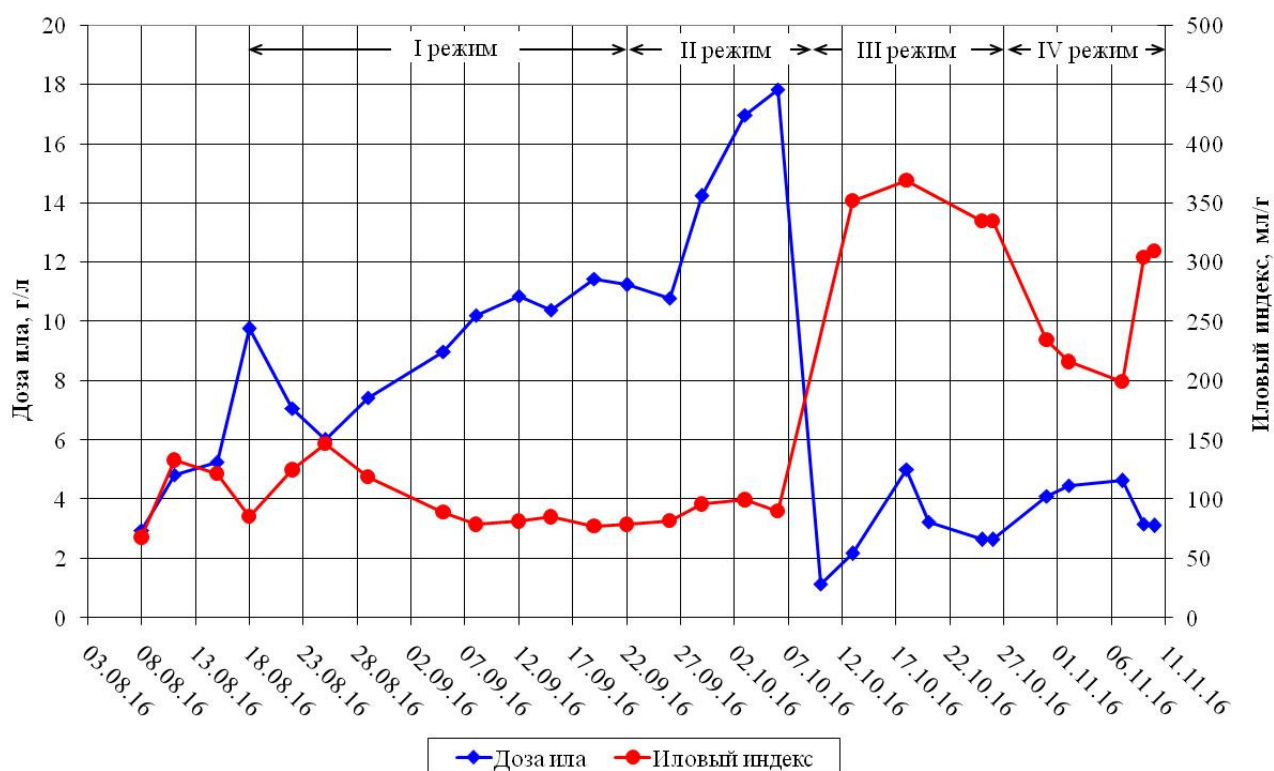


Рисунок 4.12. Динамика изменения дозы ила и илового индекса

Анализ результатов работы установки в течение четырех месяцев после установления рабочего режима (таблица 4.5, рисунок 4.13) показывает, что для очистки сточных вод может быть успешно применена биологическая очистка в МБР с нитри-денитрификацией.

Таблица 4.5

Изменение качества очищенного стока от продолжительности обработки в МБР и дозы активного ила

Параметр	Исходная вода			Пермеат		
	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее
БПК _{полн} , мг/л	440	1100	686	2	11	5,6
Азот аммонийный, мг/л	0,4	23,6	7,1	<0,05	20,4	2,5
Азот нитратный, мг/л	<0,05	11,4	3,3	<0,05	7,2	3,4
Доза ила, г/л	1,1	17,8	6,0	-	-	-
Иловый индекс, мл/г	77	369	219	-	-	-

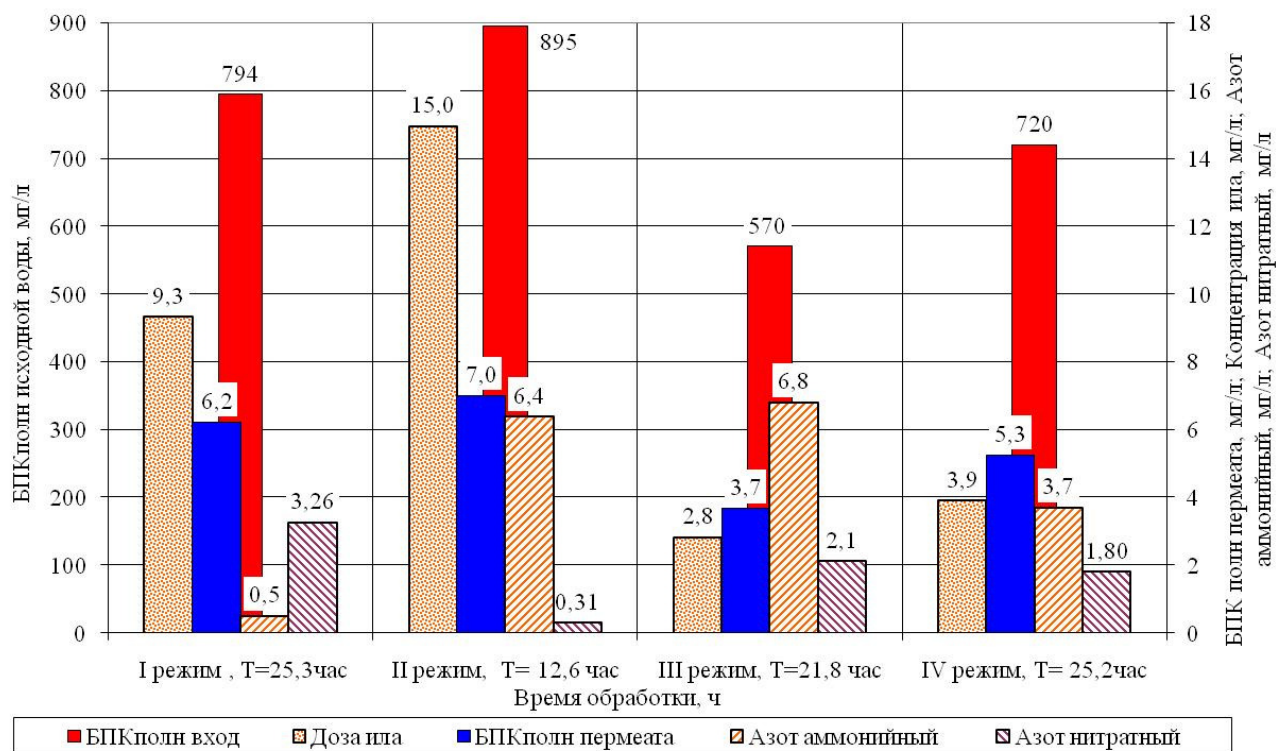


Рисунок 4.13.Изменение качества очищенного стока в зависимости от продолжительности обработки в МБР и дозы активного ила

За весь период наблюдений концентрация органических загрязнений по БПК_{полн} в сточной воде изменялась от 440 до 1100 мг/л, в пермеате от 2 до 11 мг/л, и в среднем по четырем режимам снижалась с 794 до 6,2 мг/л, с 895 до 7 мг/л, с 570 до 3,7 мг/л и с 720 до 5,3 мг/л, соответственно. Эффективность очистки по БПК превышала 99%. В очищенной воде отсутствовали взвешенные вещества, имело место полное задержание активного ила в реакторе, что позволяло поднимать дозу активного ила в биореакторе до 15 г/л.

Концентрация азота аммонийного в пермеате в среднем по режимам изменялась от 0,5 до 6,8 мг/л, при этом во всех случаях средняя концентрация азота нитратов в очищенной воде не превышала 3,3 мг/л. Глубокая нитрификация получена при продолжительности обработки воды в МБР не менее 22 часов и дозе активного ила 6-10 г/л (I режим). В то же время, уменьшение продолжительности аэрации (режим II) и дозы активного ила (режимы III и IV) привело к снижению эффективности нитрификации.

Таким образом, режим I показал, что для очистки сточных вод молокозаводов может быть успешно применена технология МБР. Данные режимов III-IV были использованы для получения кинетических зависимостей при высоких нагрузках на ил.

На рисунке 4.14 представлена зависимость окислительной мощности и удельной скорости окисления по БПК_{полн} в мембранном биореакторе от концентрации активного ила.

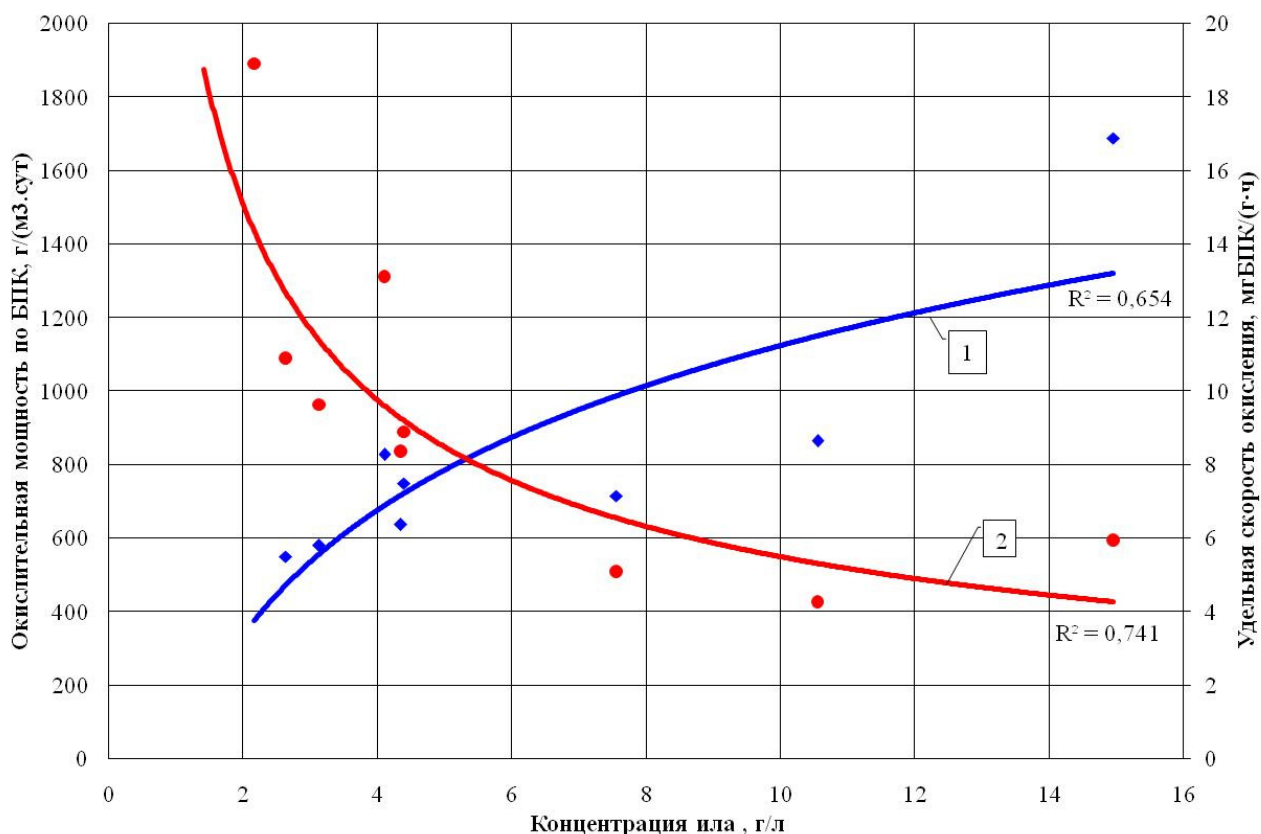


Рисунок 4.14. Зависимость окислительной мощности (1) и удельной скорости окисления (2) в мембранном биореакторе от концентрации активного ила

Окислительная мощность мембранного биореактора при дозе активного ила 8 г/л достигала 1000 г/(м³·сут), а при дозе активного ила 3,5 г/л составляла 700 г/(м³·сут). Высокая окислительная мощность биомембранного реактора, в 1,4-1,5 раза выше, чем аэротенка, достигается за счет возможности повышения дозы активного ила.

Графоаналитическим методом определен коэффициент ингибирования продуктами метаболизма ф, который составил для гетеротрофной микрофлоры

0,54 л/г(рисунок 4.15), что практически совпадает со значениями, определенными в контактных опытах и подтверждает достоверность полученных данных.

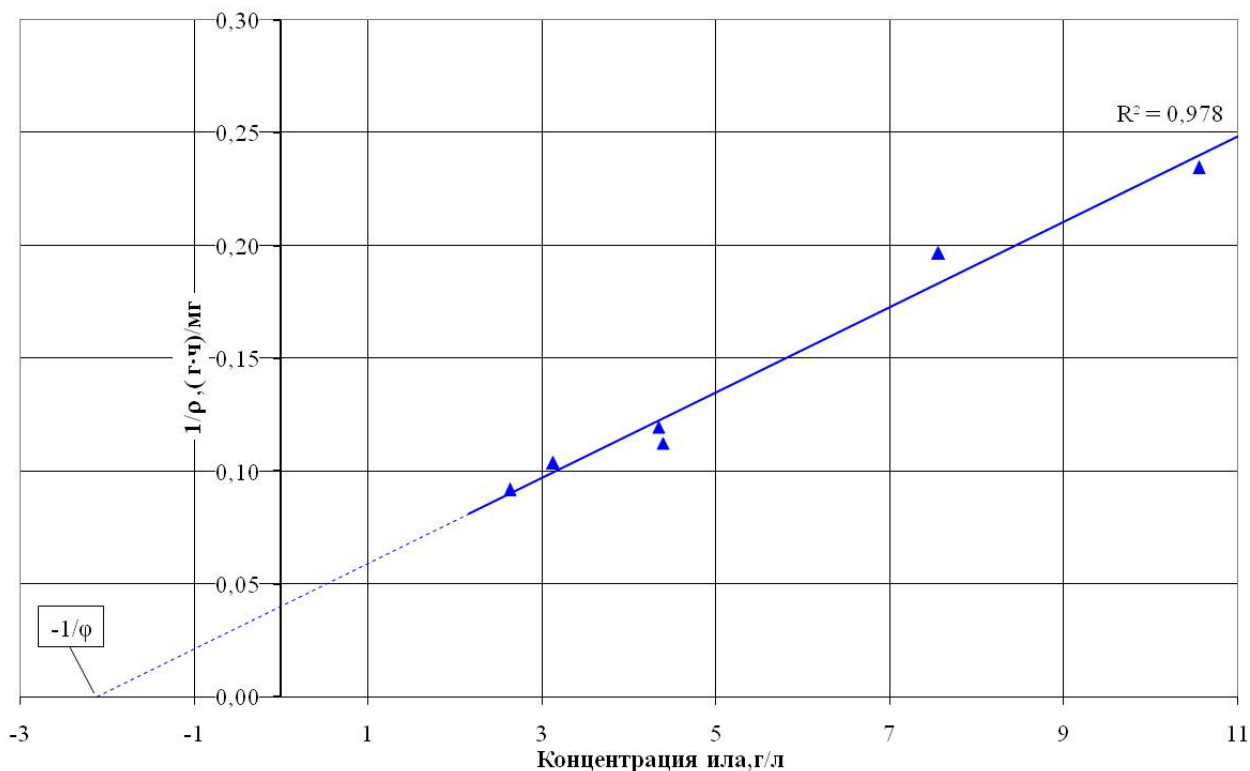


Рисунок 4.15. Зависимость обратной величины удельной скорости окисления сточной воды маслозавода Пестравский от дозы активного ила

Стабильность и надежность технологического процесса биологической очистки обеспечивается созданием в сооружениях условий, оптимальных для окисления органических веществ и отделения активного ила. Несмотря на то, что успешная работа МБР не зависит от седиментационных свойств активного ила и величины илового индекса, в результате эксперимента получена зависимость илового индекса от нагрузки на ил (рисунок 4.16) и определена оптимальная нагрузка по БПК на активный ил, равная 80-140 мг/(г·сут), при которой иловый индекс не превышает 130 мл/г (условия эффективной работы вторичных отстойников). Поддержание оптимальной нагрузки на ил, обеспечивающей хорошие седиментационные свойства активного ила, необходимо при расчете и эксплуатации традиционной технологической схемы с аэротенками нитриденитрификации и вторичными отстойниками.

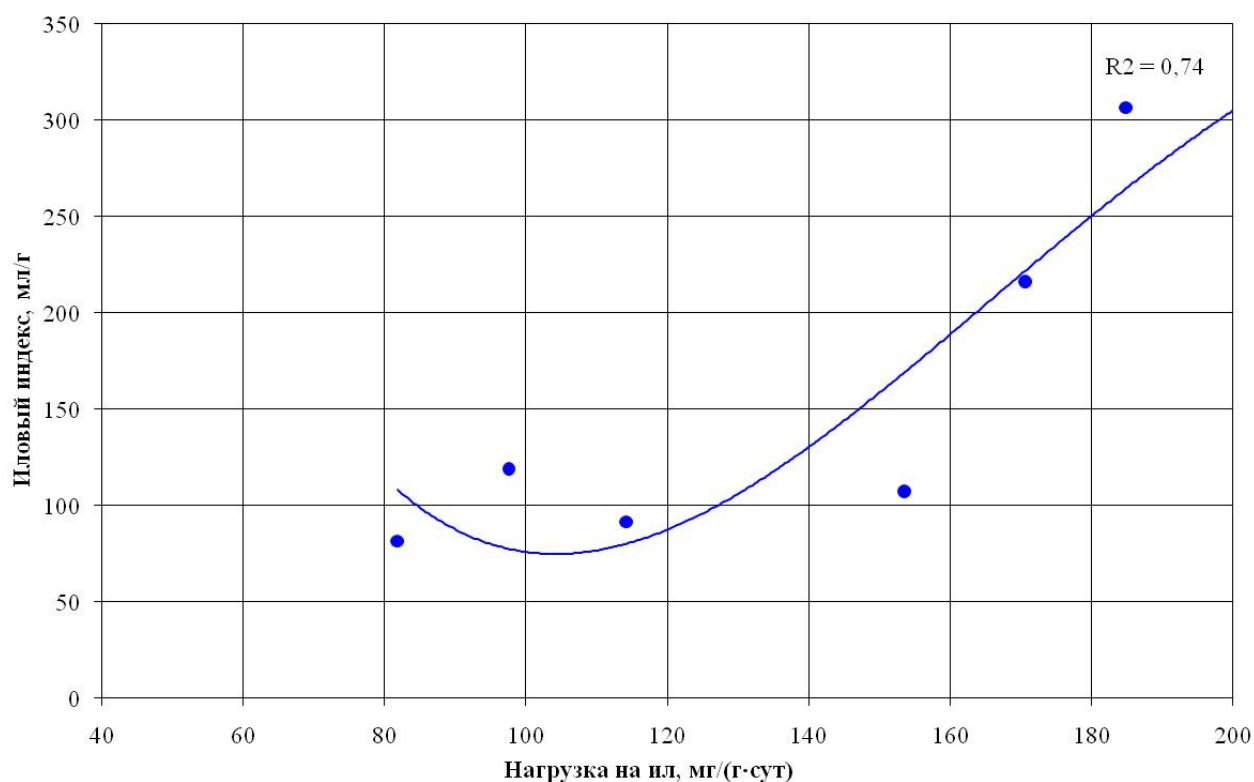


Рисунок 4.16. Зависимость илового индекса от нагрузки на активный ил

На основании экспериментально полученной зависимости удельной скорости окисления от температуры (рисунок 4.17), определена температурная константа уравнения Вант-Гоффа (2.9) для аэробной гетеротрофной конверсии, равная $0,079 \text{ град}^{-1}$ [121, 122, 123].

Используя найденные выше коэффициенты и константы, получена основная кинетическая зависимость для расчета МБР при дозе активного ила 8 г/л , температуре 25°C и $\text{pH}_{\text{опт}} = 6,9$ (рисунок 4.18). Причем для сточной воды до и после флотаторов данная зависимость при БПК_{полн} до 100 мг/л имеет идентичный характер и может описываться одной кривой по уравнению Михаэлиса-Ментен без торможения субстратом.

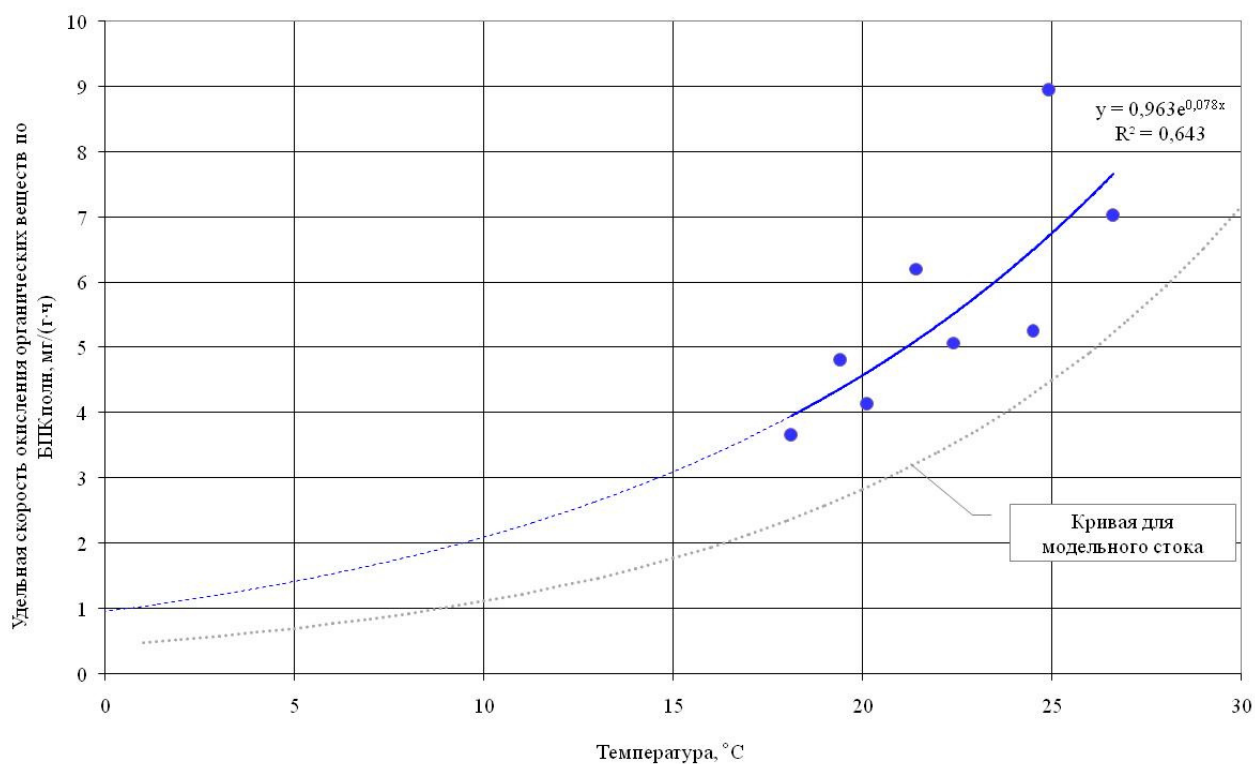


Рисунок 4.17. Зависимость удельной скорости окисления от температуры в МБР

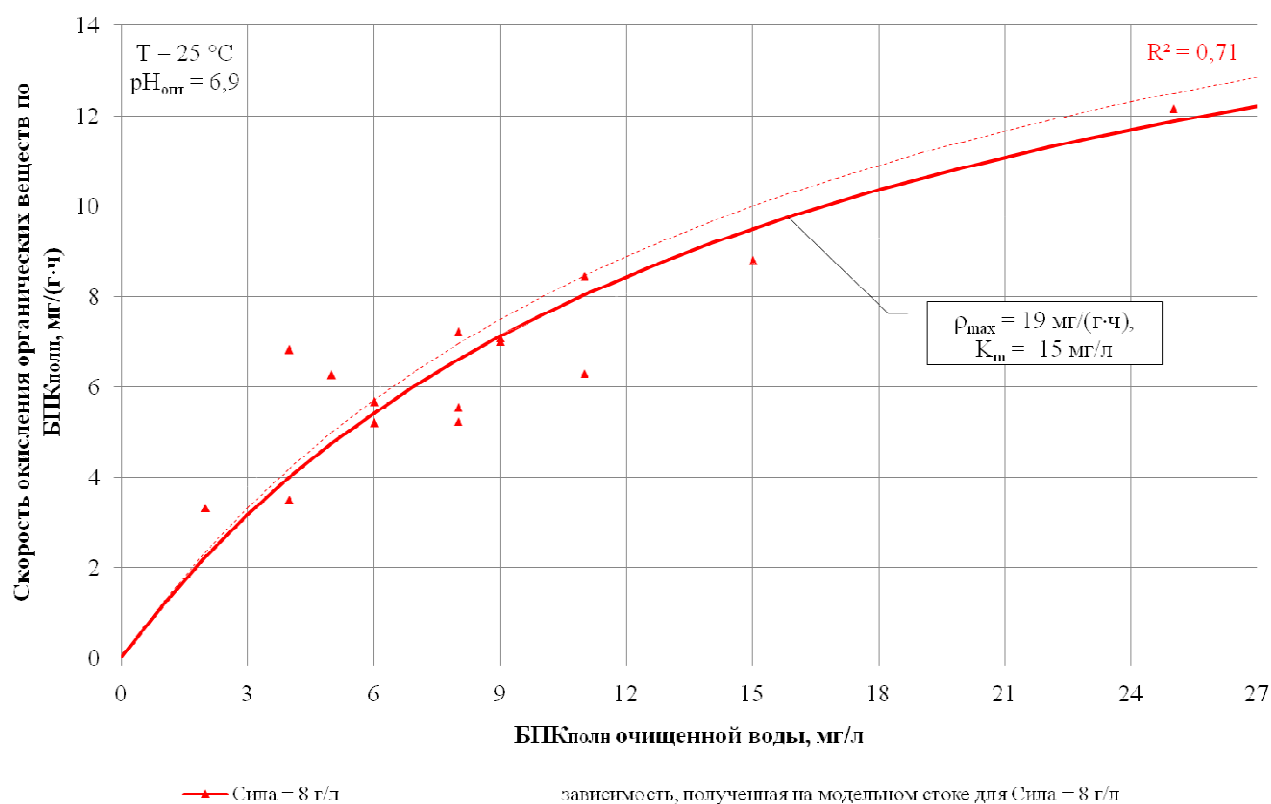


Рисунок 4.18. Кинетика окисления органических веществ по БПК

Максимальная удельная скорость окисления органических веществ $\rho_{\max}$ при дозе ила 8 г/л составила 19 мг/(г·ч), а максимальная скорость $\rho'_{\max}$ – 101,1 мг/(г·ч), константа Михаэлиса K_m – 15 мг/л. Найденные кинетические константы позволяют определить удельную скорость окисления при любом требуемом качестве очищенного стока и, соответственно, рассчитать объемы реакторов до любой заданной степени очистки. Кинетические кривые окисления органических веществ для модельного стока и для сточных вод реального предприятия практически совпадают, что свидетельствует о достоверности полученных данных и возможности их использования для расчета сооружений биологической очистки предприятий молочной промышленности.

Проведенные на реальной сточной воде экспериментальные исследования на пилотной установке МБР позволили получить основные технологические и кинетические параметры процесса биологического окисления сточных вод предприятий молочной промышленности, на примере молокозавода «Пестравский».

4.4. Выводы по главе 4

1. Установлено, что после предварительной обработки сточных вод молокозаводов коагулянтами и флокулянтами удельная скорость окисления органических загрязнений значительно снижается по сравнению с исходной водой за счет субстратного торможения скорости биохимических реакций. Величина снижения на различных предприятиях при разных дозах и видах реагентов составила 1,2-2,3 раза при концентрации субстрата 250 мг/л по БПК_{полн}.
2. Экспериментально установлена возможность снижения степени торможения процесса биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности прошедших физико-химическую очистку за счет увеличения концентрации ила в биореакторе, что может быть получено с применением технологии МБР.

3. Исследования на реальных сточных водах молокозавода показали технологическую целесообразность и перспективность применения МБР на очистных сооружениях предприятий молочной промышленности.
4. Разработанная технология биологической очистки сточных вод молокозаводов без предварительной обработки коагулянтами позволяет обеспечить достижение нормативов ПДК рыбохозяйственных водоемов, снизить затраты на реагенты и упростить технологическую схему.
5. Экспериментально определены максимальная скорость окисления органических загрязнений при температуре 25°C и $\text{pH}_{\text{опт}} = 6,9$, которая составляет $101,1 \text{ мг}/(\text{г}\cdot\text{ч})$, константа Михаэлиса $K_m - 15 \text{ мг}/\text{л}$, коэффициент ингибирования продуктами метаболизма $\phi - 0,54 \text{ л}/\text{г}$, температурная константа χ для аэробной гетеротрофной конверсии - $0,079 \text{ град}^{-1}$, позволяющие рассчитывать, как мембранные биореакторы, так и сооружения традиционной биологической очистки сточных вод молокозаводов. Полученные кинетические зависимости и константы идентичны определенным на модели сточных вод, что подтверждает возможность применения кинетических коэффициентов и констант, полученных в экспериментах на модельном растворе.
6. Применение биомембранной технологии на стадии биологической очистки сточных вод по сравнению с традиционными сооружениями позволяет сократить продолжительность обработки, объемы реакторов и занимаемые площади в 1,4-1,5 раза за счет увеличения окислительной мощности аэрационных сооружений путем повышения концентрации активного ила до $10 \text{ г}/\text{л}$ и обеспечить практически полное удаление взвешенных веществ, отказавшись от ступени доочистки.

ГЛАВА 5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА, РАСЧЕТ И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Технологическая схема биологического реактора для очистки сточных вод предприятий молочной промышленности

Для очистки сточных вод предприятий молочной промышленности при сбросе их в водные объекты целесообразно применение одной из двух схем биологической очистки: традиционная с аэротенками и вторичными отстойниками и с мембранным биореактором.

Перед сооружениями биологической очистки требуется предусматривать автоматизированную корректировку pH. Сооружения механической очистки включают в себя решетки и первичные отстойники, или жироловки, в случае если концентрация жиров в исходных сточных водах выше 50 мг/л.

Традиционный способ биологической очистки включает как основную стадию окисления органических веществ до начала нитрификации, либо с ее частичным развитием, так и стадию денитрификации. Разделение иловой смеси в данной схеме происходит во вторичных отстойниках.

Смесь бытовых и производственных сточных вод поступает в денитрификатор, где органические загрязнения окисляются активным илом в аноксидных условиях с выделением свободного азота. Сюда же насосами внутренней и внешней циркуляции перекачивается иловая смесь, для предотвращения осаждения которой в денитрификаторе предусмотрены погружные мешалки.

Далее иловая смесь поступает в аэробную зону, где расположена мелкопузырчатая система аэрации, которая поддерживает концентрацию растворенного кислорода в пределах 2 - 3 мг/л, что необходимо для окисления органических веществ и нитрификации. Заданная концентрация растворенного кислорода контролируется оксиметром, по сигналу которого регулируется работа воздуходувок биореактора с помощью частотного преобразователя или другого способа изменения подачи воздуха.

Для отделения активного ила от очищенных сточных вод после аэробной зоны сточные воды направляются во вторичные отстойники. Основная масса активного ила из вторичного отстойника перекачивается в аноксидную зону с помощью насосов, или эрлифтов. Избыточный активный ил направляется на сооружения обработки осадка.

После вторичных отстойников перед сбросом в водные объекты сточные воды проходят доочистку на фильтрах и ультрафиолетовое обеззараживание.

Использование мембранного разделения в мембранном биореакторе позволяет осуществлять глубокую биологическую очистку сточных вод молокозаводов в одном сооружении, принципиальная схема которого представлена на рисунке 5.1. В ее основе лежит ранее разработанная схема одноступенчатой биологической очистки бытовых и производственных сточных вод с нитри- денитрификацией и разделением иловой смеси на погружных мембранах [85].

Смесь бытовых и производственных сточных вод также как и в традиционной схеме поступает в денитрификатор, после чего иловая смесь направляется в аэробную зону с мелкопузырчатой системой аэрации, которая поддерживает концентрацию растворенного кислорода в пределах 2 - 3 мг/л с помощью оксиметра, регулирующего работу воздуходувок.

Погружные мембранные кассеты, предназначенные для фазового разделения очищенной воды и активного ила, устанавливаются в мембранных резервуарах или непосредственно в аэротенке. Для регенерации мембран предусмотрена постоянно действующая система аэрации от воздуходувок мембранного блока, обратная промывка полволоконных мембран водой из бака обратной промывки с помощью насоса, а также периодически применяемые химические промывки гипохлоритом натрия и лимонной кислотой. Профилактическая промывка плоскорамных мембран производится из химической емкости, уровень воды в которой не должен превышать 1000 мм относительно нижнего уровня воды в мембранном резервуаре. Очищенная

сточная вода (пермеат) отводится на сброс в водный объект, доочистку и/или повторное использование в системе оборотного водоснабжения предприятия.

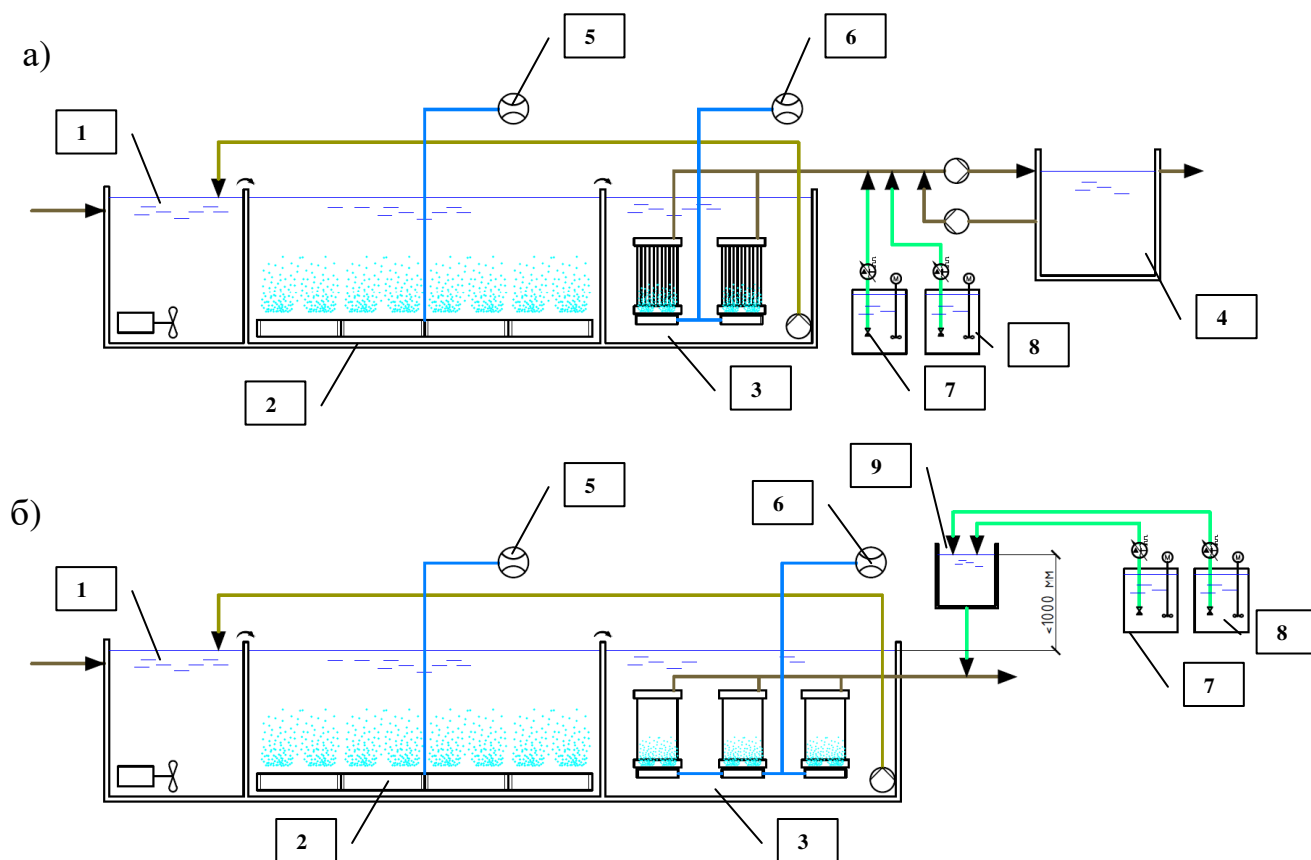


Рисунок 5.1. Принципиальная схема сооружений биологической очистки сточных вод предприятия молочной промышленности, работающих по технологии мембранного биореактора с полуволоконными (а) и плоскостными (б) мембранами: 1 - аноксидная зона (денитрификатор); 2 - аэробная зона; 3 - мембранный резервуар; 4 - бак обратной промывки; 5 - воздуходувка аэробной зоны; 6 - воздуходувка мембранного блока; 7 и 8 - установки дозирования лимонной кислоты и гипохлорита натрия; 9 - химическая емкость.

Иловая смесь с помощью насоса направляется в денитрификатор циркуляционным потоком, избыточный активный ил отводится на сооружения обработки осадка.

Машинный зал, резервуар обратной промывки, помещения дозирования реагентов располагаются в технологическом здании.

Работа сооружений предусмотрена без постоянного обслуживающего персонала благодаря автоматизированной системе управления технологическим процессом с использованием частотно регулируемых приводов, обеспечивающих

установленную производительность насосов пермеата и оптимальную концентрацию растворенного кислорода в аэробной зоне. Также в автоматическом режиме чередуются режимы релаксации и обратной промывки мембран, удаляется воздух из тракта пермеата, поддерживаются заданные уровни иловой смеси в реакторах.

5.2 Методика расчета сооружений биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности

Ранее была разработана методика расчета сооружений биологической бытовых сточных вод [31, 69], которая может быть использована для разработки методики расчета биологической очистки по традиционной технологии иМБР на предприятиях молочной промышленности. В качестве исходных данных для расчета принимают концентрации загрязнений и расходов сточных вод, которые с вероятностью 85-90% не будут превышены в ходе эксплуатации.

Технологический расчет процессов нитри-денитрификации требует определения объемов аноксидных и аэробных зон при поддержании баланса между трансформируемыми формами соединений азота и фосфора и окислением органического вещества на каждой стадии обработки, обеспечивая заданную степень очистки сточной воды по всем диктующим компонентам (БПК_{полн}, азот аммонийный, азот нитратов).

Продолжительность пребывания сточной воды в аэробной зоне аэротенка ($t_{атм}$) рассчитывается как на удаление БПК, так и на нитрификацию. Объем аэробной зоны рассчитывается по большему значению. Затем уточняется степень очистки по второму компоненту.

Расчетные продолжительности нитрификации и денитрификации определяются в соответствии с материальным балансом, учитывая убыль азота в процессах ассимиляции:

$$t_{нитр} = \frac{N_{орг.вх} + N_{амм.вх} - N_{амм.вых} - N_{прирост}}{a_i(1-s)\rho_{нитр}}; \quad (5.1)$$

$$t_{\text{денитр}} = \frac{N_{\text{общ.вх}} - N_{\text{общ.вых}} - N_{\text{прирост}}}{a_i(1-s)\rho_{\text{денитр}}} \quad (5.2)$$

где $N_{\text{орг.вх}}$ – концентрация азота органического в исходной воде, мг/л; $N_{\text{амм.вх}}$ и $N_{\text{амм.вых}}$ – концентрация азота аммонийного в исходной и очищенной воде, мг/л; $N_{\text{общ.вх}}$ и $N_{\text{общ.вых}}$ – концентрация азота общего в исходной и очищенной воде, мг/л; $N_{\text{прирост}}$ – концентрация азота, удаляемого с избыточным илом, мг/л; $\rho_{\text{нитр}}$ и $\rho_{\text{денитр}}$ – удельные скорости нитрификации и денитрификации, мг/(г·ч).

Удельная скорость нитрификации $\rho_{\text{нитр}}$ с учетом влияния дозы ила и температуры определяется по формуле:

$$\rho_{\text{нитр}} = \rho'_{\text{мах нитр}} \frac{N_{\text{амм.вых}}}{N_{\text{амм.вых}} + K_{\text{т нитр}} + \frac{N_{\text{амм.вых}}^2}{K_{\text{т нитр}} \alpha}} \cdot \frac{1}{1 + a_i \varphi_{\text{нитр}}} \cdot e^{\chi_{\text{нитр}}(T-25)}, \quad (5.3)$$

где $\rho'_{\text{мах нитр}}$ – максимальная скорость нитрификации мг/(г·ч); $K_{\text{т нитр}}$ – константа Михаэлиса, мг/л; $\chi_{\text{нитр}}$ – температурная константа; $\varphi_{\text{нитр}}$ – коэффициент ингибирования продуктами метаболизма активного ила, л/г.

Удельная скорость денитрификации $\rho_{\text{денитр}}$ с учетом влияния дозы ила и температуры определяется по формуле:

$$\rho_{\text{денитр}} = \rho'_{\text{мах денитр}} \frac{N_{\text{нитрат.вых}}}{N_{\text{нитрат.вых}} + K_{\text{т денитр}}} \cdot \frac{1}{1 + a_i \varphi_{\text{денитр}}} \cdot e^{\chi_{\text{денитр}}(T-25)}. \quad (5.4)$$

В случае отсутствия данных по белковому и общему азоту правомерным будет допущение, что весь белковый азот уходит на прирост и в расчете продолжительности окисления органических веществ и нитрификации не учитывается.

Коэффициент φ определяется экспериментально для каждого предприятия, либо для предприятий по выпуску цельномолочной промышленности может быть принят 0,39-0,54 л/г. При этом концентрацию активного ила в сооружениях с традиционной схемой рекомендуется принимать 3-4 г/л, для МБР – 7-8 г/л.

Рассчитывая продолжительность окисления органических веществ в аэробных условиях, необходимо сначала определить значение БПК_{полн} на входе в

аэробную зону с учетом снижения концентрации органических веществ в денитрификаторе:

$$L_{\text{аэр.вх}} = L_{\text{вх}} - K_{\text{денитр}} \rho_{\text{денитр}} t_{\text{денитр}} a_i (1 - s), \quad (5.5)$$

где $L_{\text{аэр.вх}}$ - БПК_{полн} на входе в аэробную зону, мг/л;
 $K_{\text{денитр}}$ - стехиометрический коэффициент окисления органических веществ в денитрификаторе при восстановлении нитратов – 3,43 г БПК_{полн}/г азота [44];
 $K_{\text{денитр}} \rho_{\text{денитр}} t_{\text{денитр}} a_i (1 - s)$ – количество органических веществ, окисленных в аноксидной зоне, мг/л.

Продолжительность окисления органических веществ в аэробной зоне может быть определена по формуле:

$$t_{\text{орг}} = \frac{L_{\text{аэр.вх}} - L_{\text{вых}}}{a_i (1 - s) \rho_{\text{орг}}}, \quad (5.6)$$

где $\rho_{\text{орг}}$ - удельная скорость окисления органических веществ, мг/(г·ч).

Удельная скорость окисления органических веществ $\rho_{\text{орг}}$ с учетом влияния температуры, pH и дозы ила определяется по формуле:

$$\rho_{\text{орг}} = \rho'_{\text{max орг}} \frac{L_{\text{вых}}}{L_{\text{вых}} + K_{m \text{ орг}}} \cdot \frac{1}{1 + a_i \varphi_{\text{орг}}} \cdot e^{\chi_{\text{орг}}(T-25)} \cdot \frac{K_{pH}}{K_{pH} + 10^{|pH_{\text{опт}} - pH|} - 1}, \quad (5.7)$$

где $\rho'_{\text{max орг}}$ - максимальная скорость окисления органических веществ, мг/л; $K_{m \text{ орг}}$ - константа Михаэлиса; $\chi_{\text{орг}}$ - температурная константа окисления органических веществ; K_{pH} - pH-константа; $pH_{\text{опт}}$ - оптимальное значение pH.

Задавая значениями концентрации субстрата – требуемого качества очищенной воды и используя экспериментальные константы (таблица 5.1) определяют удельные скорости нитрификации, денитрификации и окисления органических веществ. Затем по формулам (5.1), (5.2) и (5.6) рассчитывают продолжительность соответствующих процессов. В качестве расчетного времени пребывания сточных вод в аэробной зоне принимают большую из продолжительностей процессов окисления органических веществ и нитрификации.

Таблица 5.1

Значения кинетических констант процессов биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности

Процесс	ρ'_{max} , мг/(г·ч)	K_m , мг/л	α	φ	χ	K_{pH}	pH_{opt}
Окисление органических веществ по БПК _{полн}	82,5	15	-	0,39	0,091	150	6,9
Нитрификация	1,49	0,12	43	0,19	0,096	-	-
Денитрификация	10,8	3,5	-	0,22	0,13	-	-

Важным параметром биологической очистки является нагрузка на ил, от которой зависит иловой индекс. Кроме того, для нормального протекания процесса нитрификации аэробная нагрузка на ил не должна превышать 150 мг БПК_{полн} на 1 г сухого вещества биомассы в сутки [65]. Аэробная нагрузка на ил может быть определена по формуле:

$$q_i = \frac{Q_{сут\ max} L_{aэр.вх}}{a_i W_{aэроб}}, \quad (5.8)$$

где q_i - аэробная нагрузка на ил, мг/(г·сут).

При расчете традиционных схем со вторичными отстойниками для предприятий молочной промышленности следует принимать нагрузку на активный ил по БПК_{полн} в пределах 80-140 мг/(г·сут) и величину илового индекса $J_i = 130$ мг/л.

Одним из основных расчетных параметров циклических схем является степень рециркуляции иловой смеси между зонами нитрификации и денитрификации, влияющая на эффективность удаления соединений азота. Кратность рециркуляции рассчитывается по уравнению материального баланса с учетом продолжительности и удельной скорости денитрификации и концентраций азота нитратов в исходной и очищенной воде, по формуле:

$$R_{\text{нитр-денитр}} = \frac{t_{\text{денитр}} \rho_{\text{денитр}} a_i (1 - s) - N_{\text{нитрат вх}}}{N_{\text{нитрат вых}}}, \quad (5.9)$$

где $N_{\text{нитрат.вх}}$ и $N_{\text{нитрат.вых}}$ - концентрация азота нитратов в исходной и очищенной воде.

В технологиях с мембранным разделением циркуляция иловой смеси так же необходима для обеспечения требуемой скорости движения жидкости вдоль поверхности мембран и поддержания массообмена в системе. Таким образом, кратность внешней циркуляции принимается согласно рекомендации производителя мембран, например для погружных полуволоконных и плоскорамных мембран она, как правило, должна быть не менее трех. Если полученная по формуле (5.10) кратность оказывается больше установленной производителем, недостающая рециркуляция обеспечивается внутренней циркуляцией.

Удельный расход подаваемого в аэробную зону воздуха рассчитывается по формуле СНиП [40] с дополнительным слагаемым в числителе, отражающем потребление растворенного кислорода на процесс нитрификации:

$$q_{\text{возд}} = \frac{q_0(L_{\text{аэр.вх}} - L_{\text{вых}}) + 4,57(N_{\text{орг.вх}} + N_{\text{амм.вх}} - N_{\text{амм.вых}})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_0)}, \quad (5.10)$$

где q_0 – удельный расход воздуха, мг/мг снятой БПК_{полн}, принимаемый равным 1,1; 4,57 – коэффициент расхода кислорода на окисление азота аммонийного до нитрата, мг/мг; K_1 , K_2 , K_T , K_3 – коэффициенты, определяемые по СНиП [40] или данным производителей аэраторов; C_a – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л; C_0 – средняя концентрация растворенного кислорода в аэротенке, мг/л.

Реальное потребление кислорода, а следовательно и расход воздуха, будут меньше за счет ассимиляции азота и неравномерности притока сточных вод. Поэтому воздухоподводящее оборудование должно быть оборудовано системами регулирования подачи воздуха.

Определяем фактическую интенсивность аэрации и проверяем, чтобы она не была менее минимальной интенсивности аэрации. В соответствии с современными тенденциями энергоэффективности соотношение аэрируемой площади к общей площади аэротенка (аэробной зоны) $f_{\text{аз}}/f_{\text{ат}} = 1$.

При подборе требуемого количества мембранных модулей необходимо учитывать, что мембранная установка с плоскорамными мембранами работает в

двух режимах: фильтрация (длительность составляет 8-12 минут) и релаксация (45-120 с). Для полуволоконных мембран наряду с релаксацией через несколько циклов фильтрации/релаксации применяют обратную промывку (30-60 секунд). Однако результаты опытных испытаний и промышленной эксплуатации показали, что на большей части диапазона рабочих условий МБР чередование фильтрации/релаксации обеспечивает те же рабочие характеристики мембран, что и чередование фильтрации/обратной промывки. В связи с чем, рекомендуется применять обратную промывку тогда, когда не удастся предотвратить рост трансмембранного давления только за счет аэрации и релаксаций.[11].

Расчет необходимой площади полуволоконных мембран, учитывающий наличие обратных промывок, приведен в [45]. Расчет площади плоскостных мембран предлагается ниже.

Продолжительность работы мембран в режиме фильтрации, ч/сут, рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{филтр}} = 24 - T_{\text{релакс}} \quad (5.11)$$

где $T_{\text{релакс}}$ – время, затрачиваемое ежедневно на режим релаксации, ч/сут.

Исходным параметром для расчетов мембран служит значение удельного потока $J_{\text{уд}}$, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, через поверхность мембранного модуля. Производитель предоставляет диапазон значений удельного потока через мембрану для расчета мембранного блока в нормальном и форсированном режимах. В форсированном режиме максимальный расчетный расход должен быть пропущен при отключении одной из параллельно работающих линий. Для сооружений малой производительности (от 100 до 1000 $\text{м}^3/\text{сут}$) целесообразно принимать не менее двух линий очистки [43]. При расходах свыше 1000 $\text{м}^3/\text{сут}$ количество параллельно работающих линий мембранных резервуаров должно быть не менее четырех.

Расчетная площадь мембран для работы в нормальном режиме при пропуске максимального суточного расхода ($Q_{\text{макс сут}}$):

$$F = \frac{Q_{\text{max сут}} \cdot 10^3}{T_{\text{фильтр}} \cdot i}, \quad (5.12)$$

Расчетная площадь мембран для работы в форсированном режиме при пропуске пикового расхода ($Q_{\text{max ч}}$):

$$F' = \frac{24 \cdot Q_{\text{max ч}} \cdot 10^3}{T_{\text{фильтр}} \cdot i_{\text{max}}} \cdot \frac{N}{N - 1}, \quad (5.13)$$

где i_{max} – удельная проницаемость для пропуска пикового расхода продолжительностью не более 24 ч, л/(ч·м²); N – количество линий очистки.

Рекомендуемый наиболее передовыми производителями мембран удельный поток через мембрану в нормальном режиме фильтрации обычно составляет 15-25 л/(ч·м²), в форсированном режиме 25-30 л/(ч·м²) [68]. Расход воздуха на аэрацию мембран принимается по рекомендациям производителя пропорционально площади мембран. Обычно удельный расход воздуха на аэрацию плоских мембран составляет 8-14,3 л/(мин·м²). При расположении плоскостных мембран вертикально в два яруса расход воздуха снижается до 5-7,1 л/(мин·м²), при трехъярусной установке – 3,5-4 л/(мин·м²). Для полволоконных мембран интенсивность аэрации составляет 3-5 л/(мин·м²) [45].

Периодичность профилактических химических промывок при проектировании МБР с плоскостными мембранами на предприятиях молочной промышленности при дозе ила не более 10 г/л рекомендуется принимать 1 раз в 2 месяца.

При расчете расхода реагентов на профилактические промывки, проводимые непосредственно в мембранном биореакторе, следует принимать количество раствора гипохлорита натрия для плоскостных мембран с концентрацией 2-3 г/л по $NaOCl$ и лимонной кислоты с концентрацией 1 г/л из расчета 2 л/м². Для профилактической промывки полволоконных мембран в режиме обратной промывки дозируются растворы 200 мг/л гипохлорита натрия или 2 г/л лимонной кислоты. Обычно импульсы подачи реагента продолжительностью 20-60 с чередуются с паузами длительностью до 300 с.

Общее время импульса составляет 5-8 минут. Для полуволоконных мембран 1-2 раза в год применяются восстановительные промывки. Их регламент задается производителями мембран и характеризуется большими концентрациями реагентов и продолжительностью замачивания 8-12 ч.

Необходимо учесть, что процессы биологического окисления так же протекают и в мембранных резервуарах. При назначении объема аэробной зоны сооружений, требуется из полученного расчетом объема вычесть рабочий объем мембранного резервуара, с вычетом объема мембранных кассет, размещаемых в нем. Размеры мембранных резервуаров назначают конструктивно, соблюдая рекомендуемые производителем мембран расстояния между соседними мембранными кассетами, а так же кассетами и стенками емкости.

5.3 Технико-экономическая оценка применения технологий биологической очистки

Технико-экономическое сравнение нового строительства сооружений очистки и доочистки сточных вод предприятия молочной промышленности проводилось для трех вариантов:

- 1 вариант – реагентная флотация и биологическая очистка в МБР;
- 2 вариант – биологическая очистка в МБР;
- 3 вариант – биологическая очистка в аэротенках нитри-денитрификаторах с вторичными отстойниками и фильтрами доочистки.

Принципиальные схемы сооружений по рассматриваемым вариантам представлены на рисунке 5.2.

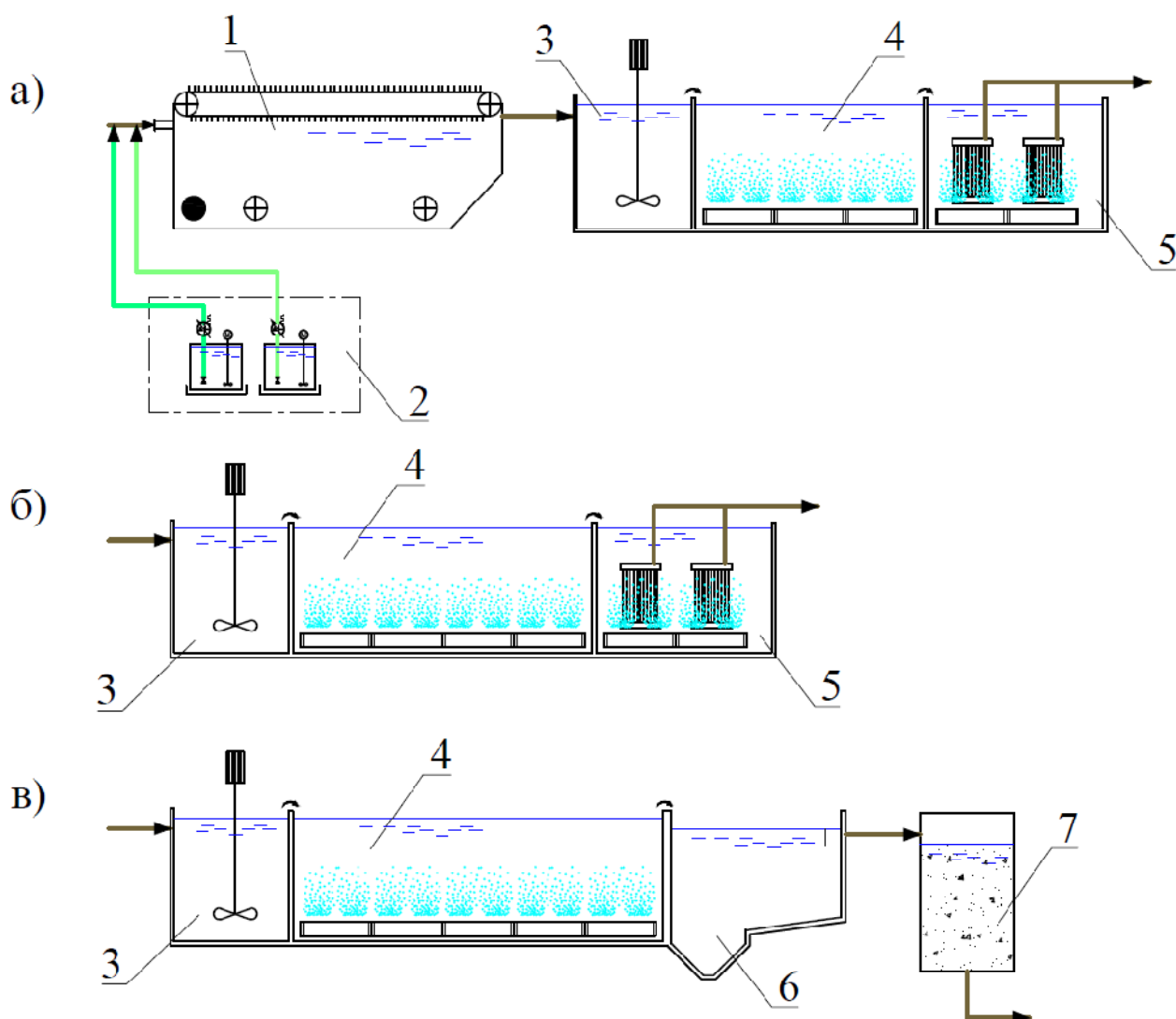


Рисунок 5.2. Принципиальные схемы сооружений очистки сточных вод предприятия молочной промышленности:

а – физико-химическая очистка и МБР (1-й вариант); б – МБР (2-й вариант); в – традиционная биологическая очистка с доочисткой фильтрованием (3-й вариант); 1 - флотатор напорный; 2 - реагентное хозяйство; 3 - денитрификатор; 4 - аэротенк-нитрификатор; 5 - мембранный резервуар; 6 - вторичный горизонтальный отстойник; 7 - фильтр зернистый

В качестве исходных данных были приняты параметры очистных сооружений маслозавода "Пестравский", средний суточный расход сточных вод составляет $500 \text{ м}^3/\text{сут}$. Техничко-экономический расчет проведен на основе анализа качественного состава производственных сточных вод, с учетом полученных в результате исследований кинетических констант и коэффициентов [46, 117] с достижением качества очищенного стока требований ПДК рыбохозяйственного

водоема, мг/л: БПК_{полн} - 3; азот аммонийный – 0,4; азот нитратов - 9; взвешенные вещества – до 3. В расчете принят следующий состав исходной воды, мг/л: БПК_{полн} - 1000; азот аммонийный - 20; азот нитратов - 20; взвешенные вещества – до 500.

Сооружения усреднения, механической очистки, нейтрализации и обеззараживания приняты одинаковыми для всех вариантов и в расчёте не учитывались. В расчетах также учитываются сооружения по обезвоживанию осадка до влажности 80%. Для расчета сооружений биологической очистки были использованы константы, определенные в исследованиях в главах 3 и 4 по методике расчета, представленной в разделе 5.2. Зернистые фильтры доочистки рассчитаны по СНиП 2.04.03-85.

Основные технические характеристики сравниваемых вариантов приведены в таблице 5.2. Стоимость оборудования и площади приняты по данным заводов-изготовителей и учитывают флотаторы из нержавеющей стали, комплектные установки реагентного хозяйства, трубчатые флокуляторы из полиэтилена, блочно-модульные сооружения биологической очистки из углеродистой стали с антикоррозионной обработкой, воздуходувки, насосы, песчаные фильтры доочистки и здания из легких металлических конструкций со смонтированным технологическим оборудованием, системами автоматики, отопления и вентиляции. Стоимость мембранных кассет принята из расчета 40 \$ за 1 м² мембраны.

Расчет затрат электроэнергии включает технологическое оборудование, отопление, вентиляцию, освещение и шкафы управления из расчета тарифа 3,44 руб./кВт·ч. Количество обслуживающего персонала определено с использованием проектных штатных расписаний очистных сооружений физико-химической и биологической очистки и включает ИТР, технологические звенья и ремонтную бригаду. Основные эксплуатационные характеристики представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.2

Основные параметры, влияющие на стоимость сооружений, и капитальные затраты по сравниваемым вариантам

Наименование	Ед. изм.	Вариант 1, ФХО+ +МБР	Вариант 2, МБР	Вариант 3, Аэротенки+ +вторичные отстойники+ +зернистые фильтры
Концентрация ила	г/л	7	7	3,5
Объем биореактора	м ³	385	641	940
Общая площадь зернистого фильтра	м ²	-	-	3,08
Общая площадь мембран	м ²	1932	1932	-
Строительно-монтажные работы	тыс. руб.	4095	2981	3113
Мембраны	тыс. руб.	5023	5023	-

Таблица 5.3

Основные эксплуатационные характеристики

Наименование	Единица измерения	Вариант 1, ФХО+ +МБР	Вариант 2, МБР	Вариант 3, Аэротенки+ +вторичные отстойники+ +зернистые фильтры
Кварцевый песок	т/год	-	-	8,6
Хлорное железо	т/год	5,7	5,7	5,7
Лимонная кислота	т/год	0,25	0,25	-
Гипохлорит натрия	т/год	0,65	0,65	-
Осадок	т/год	1 518	341	564
Электроэнергия	тыс.кВт·ч/год	350,4	318,5	296,8
Площадь застройки	м ²	197	259	530
Обслуживающий персонал	чел.	14	10	10

Затраты на текущий ремонт определены в размере 0,5% от стоимости зданий и сооружений и 1% от стоимости оборудования. Кроме ежегодных затрат имеются периодические расходы на замену мембран и оборудования. Срок службы мембран установлен в соответствии с данными ведущих производителей – 10 лет. Средний срок работы оборудования до замены (насосов, мешалок,

воздуходувок и др.) принят 7 лет. При расчете стоимости реагентов были использованы фактические затраты предприятия на закупку коагулянтов (75 руб./кг) и флокулянтов (450 руб./кг). В таблице 5.4 приведены ежегодные эксплуатационные затраты, а также единовременные расходы, деленные на их периодичность в годах.

Таблица 5.4

Статьи эксплуатационных затрат, тыс.руб./год.

Наименование	Вариант 1, ФХО+МБР	Вариант 2, МБР	Вариант 3, Аэротенки+ +вторичные отстойники+ +зернистые фильтры
Реагенты	3 925	127	94
Электроэнергия	845	768	715
Плата за негативное воздействие	457	104	171
Оплата труда, включая страховые взносы	4 264	3 016	3 016
Текущий ремонт	305	268	303
Плата за размещение отходов	456	102	169
Замена мембран	502,32	502,32	-
Замена технологического оборудования	916	837	647
ИТОГО	11 670	5 724	5 115

Анализ таблицы 5.4 показывает, что наименьшая сумма эксплуатационных затрат оказалась в третьем варианте с традиционными сооружениями биологической очистки и доочистки, а наибольшая – в первом варианте с предварительной реагентной флотацией, причем результат определила стоимость реагентов.

За рубежом основным экономическим инструментом, способствующим сокращению убытков и увеличению эффективности инженерных систем, является анализ затрат жизненного цикла (англ. *Life cycle cost, LCC*). Такой анализ систем биологической очистки сточных вод применительно к Российским условиям выполнен В.И. Баженовым и Н.А. Краснощековой [3]. Затраты жизненного цикла вычисляются за срок службы (расчетный период), включая строительство,

покупку оборудования и его монтаж, пуско-наладку, все виды эксплуатационных расходов за данный период, вплоть до затрат на ликвидацию объекта:

$$LCC = C_i + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d, \quad (5.12)$$

где C_i – капитальные затраты, включающие затраты на строительные работы и приобретение оборудования, монтаж и пусконаладку; C_e – стоимость энергетических ресурсов; C_o – текущие затраты; C_m – затраты на сервис и техобслуживание (ремонт и замена оборудования); C_s – затраты по причине простоя или потери производительности (упущенная выгода); C_{env} – затраты на охрану окружающей среды и предотвращение ущерба; C_d – затраты на утилизацию, расчет остаточной стоимости.

В формуле (5.12) все затраты выражаются в денежных единицах, причем C_i являются разовыми инвестициями и относятся к базисному году, а остальные затраты определяются за расчетный срок – за время жизненного цикла объекта. Лучшим вариантом оказывается тот, который имеет наименьшее значение LCC .

При проведении расчетов экономической эффективности необходимо учитывать фактор времени, приводя затраты более поздних лет к базисному году с помощью коэффициента дисконтирования [5]:

$$K_d = \frac{1}{(1 + i)^n}, \quad (5.13)$$

где i — процентная ставка в долях единицы, обычно принимается с учетом депозитных ставок банков высшей категории надежности; n – период приведения в годах.

Аналогичное решение использовано в широко известном справочнике под редакцией В.Н. Самохина [21]. Такой подход полностью корректен при известных фиксированных платежах в будущем. В данном расчете цены, тарифы, заработная плата и т. п. будут увеличиваться. Это может быть учтено годовым темпом инфляции [3]. Поэтому в рассматриваемом сравнении вариантов каждый из расходов n -го года был приведен к базисному году по формуле:

$$C_n = C_p \left(\frac{1 + p}{1 + i} \right)^n, \quad (5.14)$$

где C_p – расход будущего периода в ценах на момент проведения сравнения;
 p – годовой темп инфляции, доли единицы.

В настоящем расчете приняты $i=0,1$ и $p=0,0644$. Расчетный срок эксплуатации очистных сооружений установлен 25 лет, что соответствует расчетному сроку службы очистных сооружений блочно-модульной конструкции.

При определении LCC значения C_i относятся к базисному году и не подвергается дисконтированию. Остальные слагаемые выражения (5.12) скорректированы по формуле (5.14) для каждого n -го года, а затем просуммированы. Замена мембран принята в 10, 20-м годах расчетного периода, а замена технологического оборудования - в 7, 14 и 21-м годах.

Величина C_e включает стоимость электрической и тепловой энергии. Значение текущих затрат C_o состоит из оплаты труда, аренды земельного участка, стоимости реагентов, песчаной загрузки. Величина C_m состоит затрат на текущий ремонт, плановую замену мембран и технологического оборудования, которые далее учитываются отдельно. Затраты по причине простоя или потери производительности C_s в данном расчете не учитывались, т. к. рассматриваемые сооружения имеют равную степень надежности. Затраты на охрану окружающей среды и предотвращение ущерба C_{env} складываются из платы за негативное воздействие на окружающую среду сбросами вредных веществ в водные объекты и размещением на полигоне отхода IV класса опасности - обезвоженного активного ила и флотошлама. Затраты на ликвидацию объектов и их остаточная стоимость C_d не учитывались. Результаты расчета LCC представлены в таблице 5.5 и на рисунке 5.3.

Таблица 5.5

Затраты жизненного цикла, тыс. руб.

Наименование	Обозначение	Вариант 1, ФХО+МБР	Вариант 2, МБР	Вариант 3, Аэротенки+ +вторичные отстойники+ +зернистые фильтры
Капитальные затраты	C_i	49 870	43 472	52 722
Стоимость энергии	C_e	14 157	12 867	11 991
Текущие затраты	C_o	137 276	52 680	54 584
Текущий ремонт	$C_{т1}$	5 112	4 498	5 071
Замена мембран	$C_{т2}$	6 216	6 216	-
Замена оборудования	$C_{т3}$	22 945	20 970	16 199
Затраты на ООС	C_{env}	7 662	1 741	2 862
ИТОГО	LCC	243 238	142 443	143 430
Экономический эффект	ΔLCC	-	100 795 / 987	-

Анализ затрат жизненного цикла показывает, что наибольшая величина LCC у первого варианта. Лучшим вариантом, т.е. технологией с наименьшим показателем LCC, оказался второй вариант – с биомембранной очисткой. Сумма финансирования по данному варианту с учетом инвестирования на этапе строительства и двадцатипятилетней эксплуатации меньше, чем по первому варианту на 100,8 млн.руб. Расчетный годовой экономический эффект, полученный делением на продолжительность жизненного цикла 25 лет, составил 4 млн. руб. Третий вариант, включающий традиционную схему биологической очистки с вторичными отстойниками и зернистыми фильтрами доочистки, занял промежуточное положение, при этом величина капитальных затрат по данному варианту больше, чем по второму на 9,2 млн. руб.

Выполненные расчеты позволяют рекомендовать строительство сооружений биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности с применением МБР без предварительной обработки коагулянтами и флокулянтами.

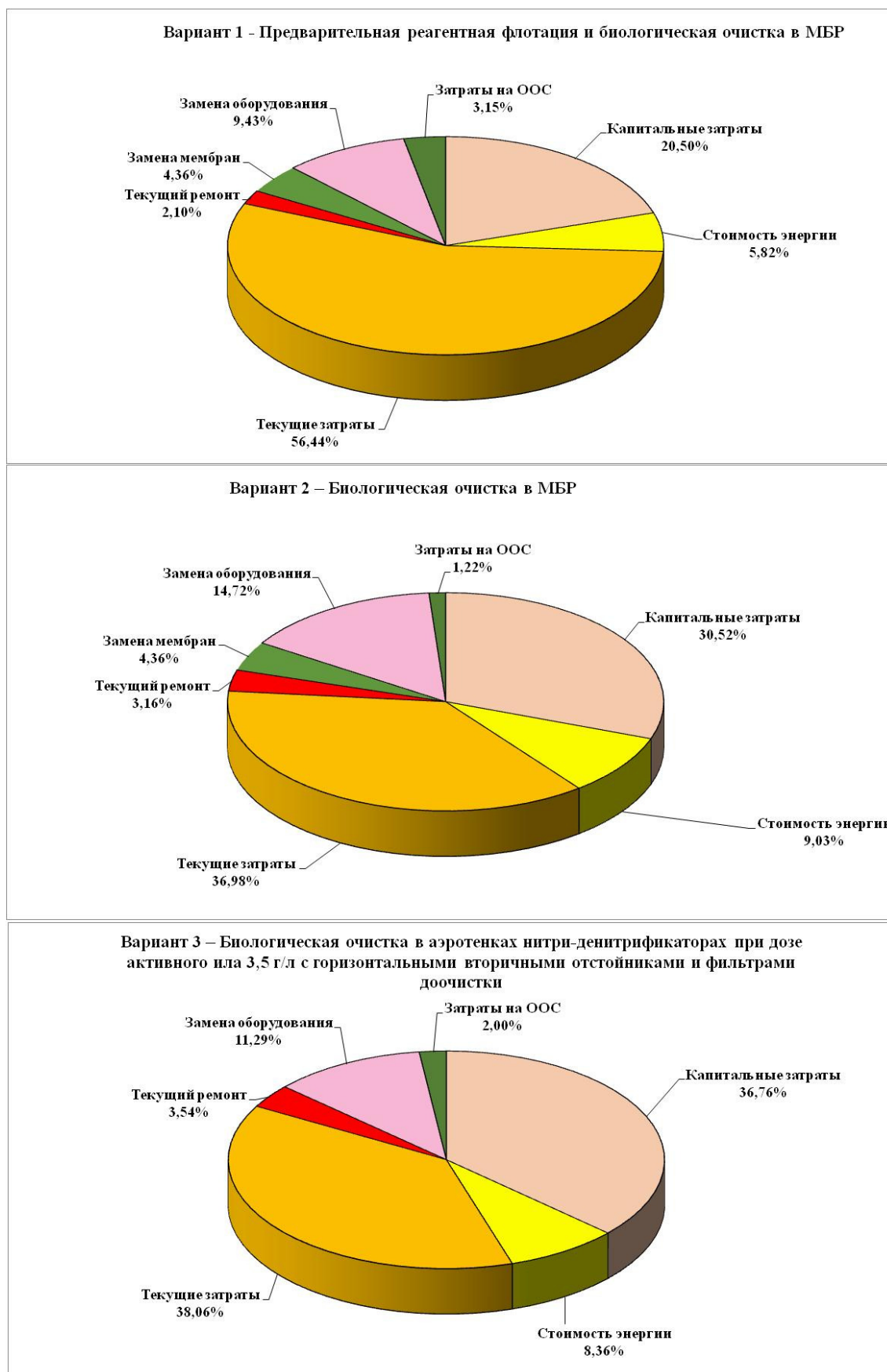


Рисунок 5.3. Затраты жизненного цикла *LCC* сооружений биологической очистки и доочистки предприятий молочной промышленности для вариантов нового строительства

5.4. Реализация результатов исследований на сооружениях биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности

Под руководством автора в 2016-2017 годах были разработаны рекомендации по оптимизации работы сооружений очистки сточных вод молокозавода "Сут-Булак" республики Кыргызстан.

Молокозавод "Сут-Булак" специализируется на выпуске сыров. Выпуск цельномолочной и кисломолочной продукции на предприятии осуществляется по заявкам крайне редко. Сточные воды в основном образуются при централизованной СІР-мойке трубопроводов и оборудования. Подсырная сыворотка собирается и вывозится на сельскохозяйственные нужды.

В 2014 г. был разработан и реализован проект очистки сточных вод предприятия до норм сброса в водоем. Проектный расход сточных вод составляет 200 м³/сут. Принятые проектом исходные данные по концентрациям представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6

Параметр	Средние концентрации в сточной воде, мг/л		
	исходной	Очищенной	ПДС
Взвешенные вещества	600	8,5	10
В том числе прокаленные	80	–	–
Сухой остаток	3000	–	–
В том числе прокаленный	700	–	–
Азот общий	90	0,5	2,0
Фосфор	16	2,0	0,2
Жиры	100	0,3	–
Хлориды	200	200	350
ХПК	3000	30,0	30,0
БПК _{полн}	2400	3,0	3,0

Схема очистки сточных вод включает усреднение, механическую, физико-химическую, двухступенчатую биологическую очистку, доочистку и УФ-обеззараживание (рисунок 5.4).

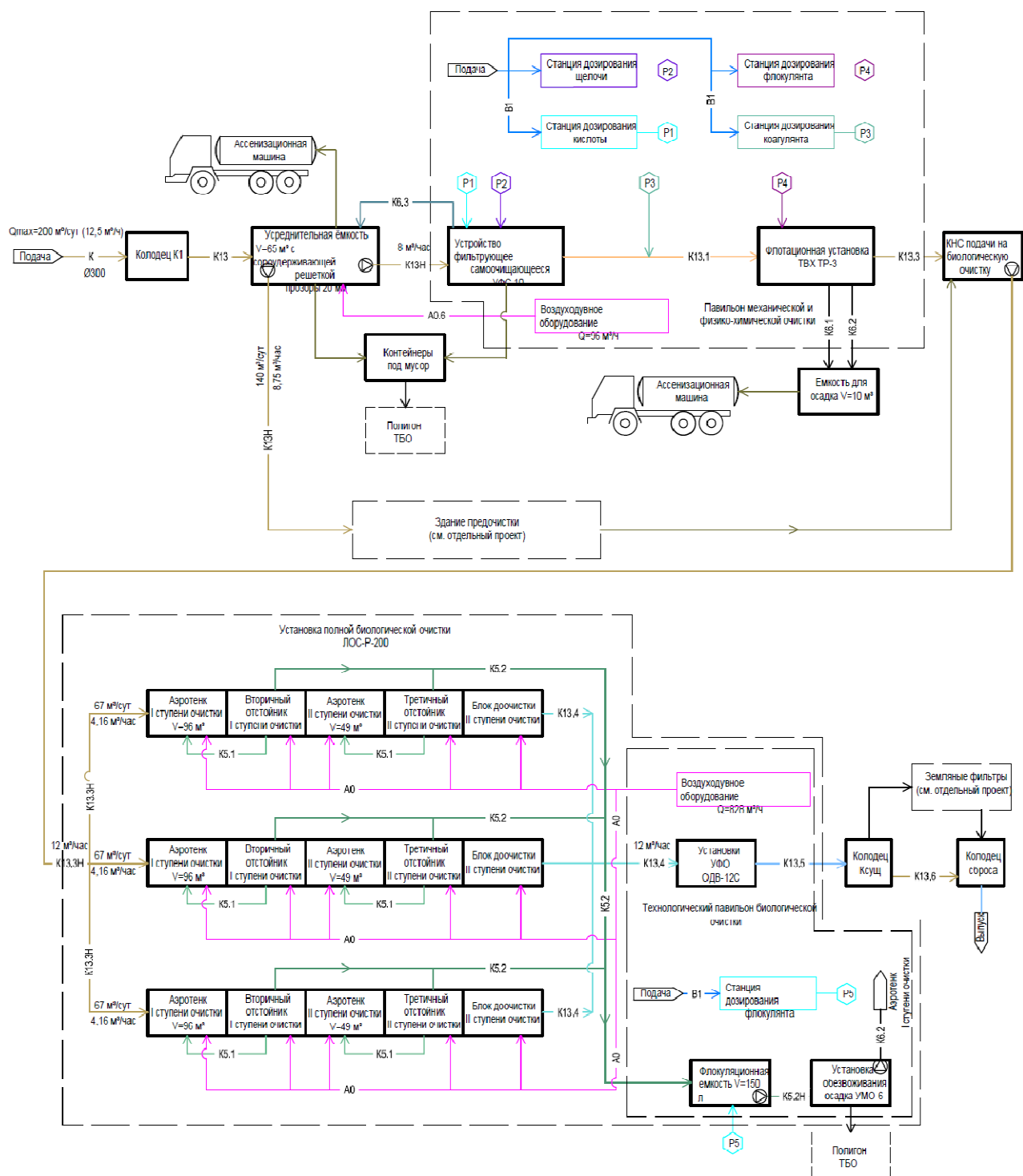


Рисунок 5.4. Принципиальная схема сооружений очистки сточных вод молокозавода "Сут-Булак"

Наличие усреднительной емкости позволяет сглаживать суточную и сезонную неравномерность поступления сточных вод по расходу, так как предприятие работает в две смены, в зимнее время суточный расход снижается в 2-3 раза. Для этих же целей запроектировано 3 ступени биологической очистки.

Для механической очистки проектом предусмотрено предварительное задержание отходов на сороулавливающей корзине, установленной в усреднителе и тонкая механическая очистка на фильтрующей самоочищающейся решетке с прозорами 2 мм. Блок физико-химической очистки включает автоматизированную систему подачи растворов кислоты и щелочи по показаниям рН-метра и реагентный блок для дозирования растворов коагулянта ($Al_2(SO_4)_3$) и флокулянта (Праестол). Для биологической очистки реализована традиционная схема с аэротенками и вторичными отстойниками в две ступени. Вторичные и третичные отстойники оборудованы тонкослойными модулями. Доочистка биологически очищенных сточных вод производится на фильтрах-биореакторах с синтетической загрузкой "Ерш".

После ввода очистных сооружений в эксплуатацию стало очевидно, что выбранная схема не позволила достигнуть требуемых нормативов качества очищенных сточных вод ввиду сильного отклонения фактических параметров от проектных (таблица 5.7).

Таблица 5.7.

Эффективность работы сооружений физико-химической и биологической очистки
молокозавода "Сут-Булак" до внедрения рекомендаций

Показатель	До очистки	После флотатора	После I ступени биологической очистки	После II ступени биологической очистки
ХПК, мг/л	760	570	52	152
БПК _{полн} , мг/л	543	407	29	97,5
N-NH ₄ , мг/л	1,66	1,68	2,6	2,5
N-NO ₂ , мг/л	1,1	1,31	1,07	1,05
N-NO ₃ , мг/л	0,44	0,49	5,95	5,96
P-PO ₄ , мг/л	8,51	6,38	-	-

На стадии физико-химической очистки наблюдалось снижение концентрации органических веществ всего лишь на 25%. Несмотря на это ХПК и БПК оказались значительно ниже расчетных показателей первой ступени биологической очистки. В следствие этого в аэротенке первой ступени при заданной концентрации активного ила 4-5 г/л наблюдалось значительное окисление органических веществ и трансформация соединений азота. Поэтому на второй ступени происходило вторичное загрязнение сточных вод продуктами

автолиза активного ила ввиду недостаточной нагрузки по органическим веществам.

С целью подготовки рекомендаций по обеспечению заданной эффективности работы сооружений были выполнены расчеты в соответствии с методикой, разработанной в разделе 5.2. Кинетические характеристики биохимических процессов были приведены к оптимальному значению $pH_{\text{опт}} = 6,9$ и температуре 25°C при дозе ила 3 г/л (рисунок 5.4).

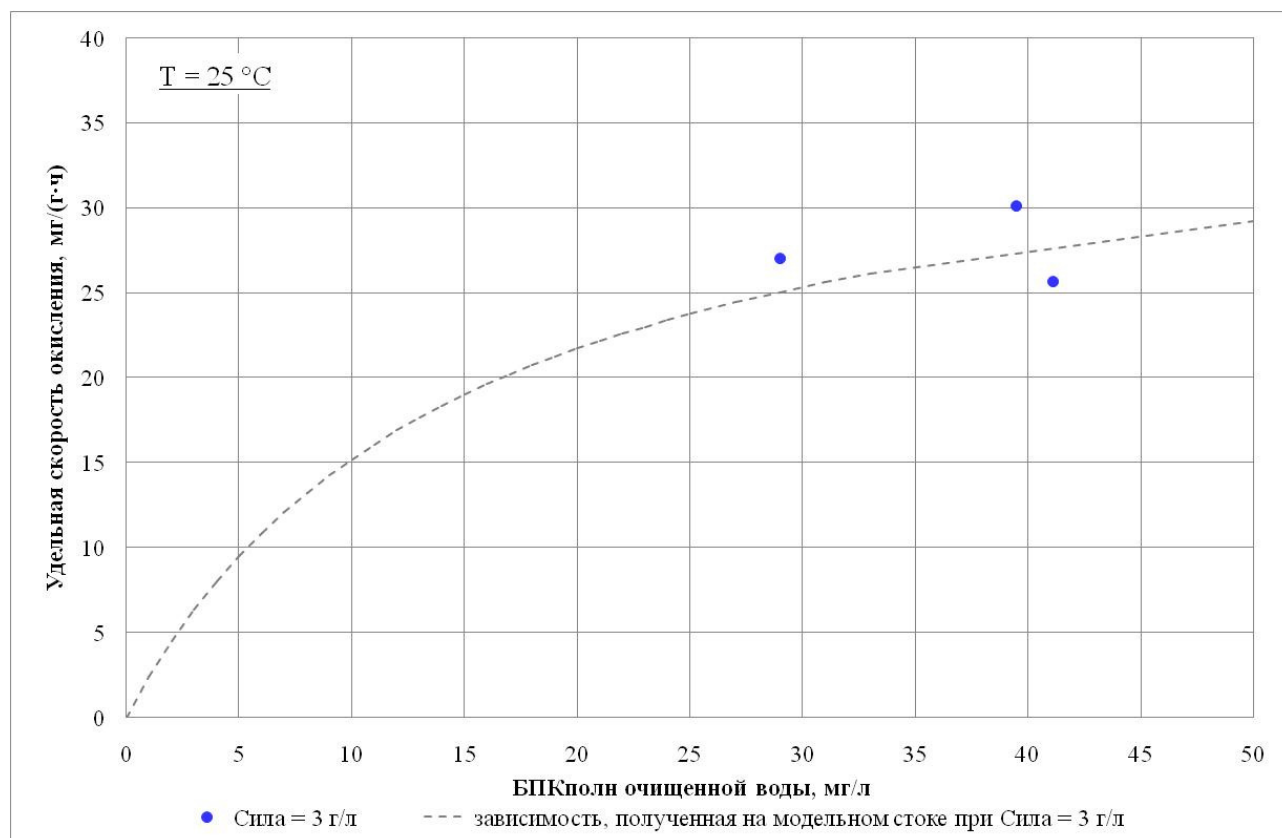


Рисунок 5.4. Кинетическая зависимость окисления органических веществ в сточных водах молокозавода "Сут-Булак"

Расположение фактических точек, характеризующих скорость окисления органических веществ по БПК_{полн} на заводе Сут-Булак, вблизи экспериментальной кривой позволило произвести расчеты по определению оптимальных доз ила, которые необходимо поддерживать в аэротенках I и II ступени. Также, ввиду значительного отклонения в меньшую сторону фактических концентраций загрязняющих веществ от проектных и с учетом установленного в главах 3 и 4 снижения удельных скоростей биологической очистки после реагентной

обработки сточных вод, была выдана рекомендация по исключению дозирования коагулянта и флокулянта на стадии физико-химической очистки.

Рекомендованные решения были успешно внедрены в процессе эксплуатации на предприятии "Сут-Булак" (таблица 5.8), что подтверждается актом внедрения (приложение 2).

Таблица 5.8.

Эффективность работы сооружений физико-химической и биологической очистки и доочистки молокозавода "Сут-Булак" после внедрения

Показатель	До очистки	После очистки
БПК ₅ , мг/л	721	2,8
N-NH ₄ , мг/л	8,1	0,22
N-NO ₂ , мг/л	<0,01	<0,01
N-NO ₃ , мг/л	<0,1	4,4

Рекомендации автора так же применены компаниями ООО "Торговый дом "Эколог" и ООО "Союз-Водоканал", г. Самара при изготовлении установок очистки сточных молокозаводов "Сармич" в республике Мордовия и "Казьминский" Ставропольского края, акты внедрения представлен в приложениях 3 и 4.

На основании выполненных исследований и расчетов подготовлены рекомендации по строительству сооружений биологической очистки сточных вод маслозавода "Пестравский", Самарская область, с применением схемы МБР. Рекомендованные решения приняты для формирования бюджета на 2018 г., что подтверждается актом внедрения (приложение 1).

Методика расчета сооружений биологической очистки молокозаводов используется в учебном процессе АСА СамГТУ при подготовке магистров по специальности 08.04.01 «Строительство», профиль «Водоотведение и очистка сточных вод» по дисциплине Б1.В.ДВ.01.01 «Теоретические основы биологической очистки сточных вод».

5.5 Выводы по главе 5

1. Разработана технология и методика расчета сооружений биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе до заданных показателей качества. Отличительной особенностью предложенной схемы является возможность исключения из состава сооружений предварительной физико-химической очистки.
2. Техничко-экономический анализ показал нецелесообразность применения реагентной флотации при очистке сточных вод молокозаводов до рыбохозяйственных нормативов: затраты жизненного цикла за 25 лет эксплуатации в варианте с физико-химической и биомембранной очисткой оказались на 100,8 млн. руб. больше, чем в МБР без этой предварительной ступени для вновь строящихся сооружений производительностью $500 \text{ м}^3/\text{сут}$, что соответствует годовому экономическому эффекту 4 млн. руб./год.
3. Биомембранная технология очистки сточных вод, при аналогичных условиях сравнения очистных сооружений предприятия молочной промышленности, экономичнее варианта с традиционной биологической очисткой с вторичными отстойниками и доочисткой на зернистых фильтрах, при этом величина капитальных затрат по данному варианту больше, чем по второму на 9,2 млн.руб..
4. Результаты работы внедрены: при разработке регламента и наладке технологического режима очистных сооружений производительностью $200 \text{ м}^3/\text{сут}$ на молокозаводе "Сут-Булак" республика Киргизия; при изготовлении установок локальной очистки сточных вод молокозаводов "Сармич" в республике Мордовия и "Казьминский" Ставропольского края производительностью 600 и $900 \text{ м}^3/\text{сут}$ соответственно; в виде рекомендаций по модернизации сооружений локальной очистки и строительства сооружений биологической очистки по технологии МБР производительностью $500 \text{ м}^3/\text{сут}$ маслозавода "Пестравский" Самарской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа данных, полученных на действующих предприятиях молочной промышленности предложена классификация сточных вод по типу выпускаемой продукции, режимам мойки технологического оборудования и трубопроводов и методам переработки сыворотки. Показано, что в целом сточные воды предприятий молочной промышленности относятся к биологически окисляемым.
2. Экспериментально установлена возможность снижения степени торможения процесса биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности, прошедших физико-химическую очистку, за счет увеличения концентрации активного ила, что может быть достигнуто с применением технологии МБР.
3. Установлено, что после предварительной обработки сточных вод молокозаводов коагулянтами и флокулянтами удельная скорость окисления органических загрязнений значительно снижается по сравнению с исходной сточной водой за счет субстратного торможения скорости биохимических реакций. Величина снижения на разных предприятиях, при различных видах и дозах реагентов составила 1,2-2,3 раза при концентрации субстрата 250 мг/л по БПК_{полн.}. Выявленные зависимости показывают целесообразность исключения стадии реагентной флотации перед биологической очисткой сточных вод предприятий молочной промышленности, что позволяет снизить затраты на использование большого количества дорогостоящих реагентов и упростить технологическую схему.
4. В экспериментах на модели сточных вод молокозавода установлены и подтверждены на реальных сточных водах основные кинетические константы и коэффициенты для расчета сооружений биологической очистки: температурная константа χ , град⁻¹, для аэробной гетеротрофной конверсии - 0,079-0,091, для нитрификации - 0,096 и для денитрификации - 0,13; коэффициенты ингибирования продуктами метаболизма активного ила

ф, которые составили, л/г: для окисления органических веществ по БПК_{полн} - 0,39-0,54, для нитрификации - 0,19, для денитрификации - 0,22; активная реакция среды, соответствующая наибольшей скорости окисления органических веществ $pH_{\text{опт}}$ - 6,9 при pH-константе 150. Максимальная удельная скорость окисления органических веществ ρ'_{max} составила 82,5-101,1 мг/(г·ч), константа Михаэлиса K_m - 15 мг/л. Максимальная удельная скорость нитрификации ρ'_{max} -1,49 мг/(г·ч), константа Михаэлиса K_m - 0,12 мг/л, константа торможения α - 43. Максимальная удельная скорость денитрификации ρ'_{max} - 10,8 мг/(г·ч), константа Михаэлиса K_m - 3,5 мг/л. Найденные значения кинетических коэффициентов и констант позволяют рассчитать мембранные биореакторы очистных сооружений предприятий молочной промышленности до заданной степени очистки.

5. Впервые изучена степень воздействия применяемых при химических промывках мембран реагентов на биологические процессы. Установлено, что токсичность лимонной кислоты обусловлена лишь подкислением иловой смеси и не проявляется при pH выше 6,8. При промывке мембран раствором гипохлорита натрия наблюдается конкурентное торможение скорости окисления органических веществ с практически полным подавлением биологических процессов при концентрации активного хлора свыше 26 мг/л. Продолжительность восстановления первоначальной скорости окисления органических веществ в МБР, после завершения промывки с концентрацией активного хлора в реакторе 6,6 мг/л и включения установки в работу, может быть оценена в 210-220 минут.
6. Разработана технология очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в биомембранном реакторе. Отличительной особенностью предложенной схемы является исключение из технологической схемы стадии предварительной физико-химической очистки.

7. Разработана методика расчета мембранных биореакторов, используемых для биологической очистки сточных вод молокозаводов.
8. Результаты работы внедрены на четырех предприятиях молочной промышленности в Российской Федерации и Республике Киргизия. Расчетный годовой экономический эффект для молокозавода "Пестравский" Самарской области составил 4 млн. руб./год в ценах 2017 г.

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- МБР – мембранный биореактор;
- ПДК предельно допустимая концентрация;
- ТМД трансмембранное давление;
- CIP-мойка (англ. *CIP, Cleaning in place*) – безразборная мойка оборудования и трубопроводов;
- a_i – концентрация активного ила, г/л;
- F_i – площадь мембран, м²;
- I – концентрация ингибитора, мг/л;
- i – удельная проницаемость мембраны, л/(ч·м²);
- K_m – константа Михаэлиса, л/г;
- K_{pH} – pH-константа;
- L – концентрация органических веществ по БПК_{полн}, мг/л;
- N – концентрация азота, мг/л;
- R^2 – величина достоверности аппроксимации;
- $R_{нит-ден}$ – кратность рециркуляции иловой смеси;
- S – концентрация субстрата, мг/л
- s – зольность активного ила;
- T – температура, °С;
- t – продолжительность процесса;
- α – константа торможения, л/г;
- ρ, ρ_{max} и ρ'_{max} – удельная, максимальная удельная и максимальная скорости окисления, мг/(г·ч);
- φ – коэффициент ингибирования продуктами метаболизма активного ила, л/г;
- χ – температурная константа;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллазянова, Г.Г. Влияние pH среды на оптимальные концентрации реагентов в процессах коагуляции в белок- и жирсодержащих системах / Г.Г. Абдуллазянова, Ю.Ю. Хомич, А.Ф. Добрынина // Успехи современного естествознания. – 2007. - № 5. - С. 33-35.
2. Андреев, С.Ю. Разработка комбинированной технологии очистки сточных вод предприятия молочной промышленности: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Андреев Сергей Юрьевич. – М., 1994. – 17 с.
3. Баженов, В. И. Экономический анализ систем биологической очистки сточных вод на основе показателя - затраты жизненного цикла / В.И. Баженов, Н.А. Кривошекова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 2. – С. 69-78.
4. Базякина, Н.А. Роль активного ила в работе аэротенка на полную очистку / Н.А. Базякина. – М.: «Власть Советов» при Президиуме ВЦИК, 1936. – 40 с.
5. Большой бухгалтерский словарь: 10000 терминов / Ред. А. Н. Азрилиян. - М.: Институт новой экономики, 1999. – 570 с.
6. Бондарев, А.А. Биологическая очистка промышленных сточных вод от соединений азота: автореферат. дис. ... доктора техн. наук: 05.23.04 / Бондарев Анатолий Александрович. – М., 1990. – 49 с.
7. Борисов, Б.А. Мембранный биореактор Lear MBR компании General Electric - последнее достижение технологии очистки стоков для молочных предприятий / Б.А. Борисов, П.С. Судиловский, О.В. Харькина // Молочная промышленность. – 2013. – № 2. С. 20-21.
8. Брандина, Л.В. Биосорбционная очистка сточных вод / Л.В. Брандина, А.Н. Пономарев, К.К. Полянский // Молочная промышленность. – 2013. – №2. – С. 22-23.
9. Видякин, М.Н. Особенности внедрения мембранных биореакторов для обработки сточных вод / М.Н. Видякин, С.А. Гарипова // Экология производства. – 2014. – № 11. – С.61-68.

10. ВНТП 645/1618-92. Нормы технологического проектирования предприятий молочной промышленности. – М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 1992. – 83 с.
11. Габидуллина, Л.А. Биосорбционно-мембранная очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов от трудноокисляемых органических загрязнений: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Габидуллина Людмила Андреевна. – Самара, 2016. – 160 с.
12. Горбатова, К.К. Биохимия молока и молочных продуктов: учеб. / К.К.Горбатова, П.И.Гунькова; под общ.ред. К.К.Горбатовой. - 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2010. – 336 с., ил.
13. Данилович, Д.А. Современные решения по очистке сточных вод / Д.А. Данилович, А.А. Максимова // Молочная промышленность. – 2011. – №8. – С. 73-77.
14. Данилович, Д.А. Интенсификация очистки сточных вод предприятий молочной промышленности в анаэробных условиях: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.04 / Данилович Дмитрий Александрович. – М., 2005. – 209 с.
15. Дегтерев, Г.П. Механизм образования молочных загрязнений и их классификация / Г.П. Дегтерев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – №11. – С. 41-43.
16. Диксон, М. Ферменты: в 2-х т. Т1. / М. Диксон, Э. Уэбб; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Т. 1 – 392 с.
17. Дятлова, Т.В. Очистка сточных вод молокозаводов / Т.В. Дятлова, С.Г. Певнев, Т.Г. Федоровская // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 2 – С. 12-15.
18. Емельянов, В.В. Биохимия: [учеб.пособие] / В.В. Емельянов, Н.Е. Максимова, Н.Н. Мочульская. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 132 с.
19. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.

20. Зуева, С.Б. Особенности коагуляционной очистки сточных вод молочной промышленности с использованием фильтрационного осадка секлосахарного производства / С.Б. Зуева // Вода: химия и экология. – 2012. – №6. – С. 76-79.
21. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В. Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
22. Катраева, И.В. Современные анаэробные аппараты для очистки концентрированных сточных вод / И.В. Катраева // Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. – 2011. – № 2. – С. 179-184.
23. Келети Т. Основы ферментативной кинетики: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 350 с., ил.
24. Киристаев, А.В. Очистка сточных вод в мембранном биореакторе: автореферат.дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Киристаев Алексей Владимирович. – М., 2008. – 24 с.
25. Коллерова, Е.В. Влияние структуры органических веществ на скорость биохимического окисления / Е.В. Коллерова, Л.М. Костина, Ц.И. Роговская, И.В. Скирдов. // Труды ВНИИ ВОДГЕО. –1976. – № 59. – С. 20-26.
26. Космин, А.С. Автоматизация водоочистных сооружений / А.С. Космин // Молочная промышленность. – 2014. – №2. – С. 54-55.
27. Кручина, Н.Е. Алюмокремниевые коагулянты-флокулянты в очистке сточных вод молочной промышленности / Н.Е. Кручина, А.К. Шибеши, И.С. Валугин // Экология и промышленность. – 2006. – №9. – С. 19-21.
28. Литманова, Н.Л. Совершенствование технологии локальной очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий: автореф.дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Литманова Наталия Леонидовна. – Санкт-Петербург, 2007. – 17 с.

29. Мачигин, В.С., Очистка сточных вод предприятий масло-жировой промышленности / В.С. Мачигин, Л.П. Щербаков // Масло-жировая промышленность. 1992. – №1. – С.30-34.
30. Морозова, К.М. Биохимическая очистка сточных вод фабрик первичной обработки шерсти: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Морозова Ксения Михайловна. – М., 1979. – 231 с.
31. Морозова, К.М. Принципы расчета систем биологической очистки сточных вод / К.М. Морозова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 1. – С. 26-31.
32. Морозова, К.М. Принципы расчета систем биологической очистки сточных вод / К.М. Морозова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 1 – С. 26-31.
33. Надысев, В.С. Очистка сточных вод масло-жировой промышленности / В.С. Надысев. – М.: Пищевая промышленность, 1976. - 183 с.
34. Ноздрина, Е.О. Исследование сточных вод молочной промышленности / Е.О. Ноздрина, С.Б. Зуева, Л.В. Голубева // Успехи современного естествознания. – 2011. – №7. – С. 168-170.
35. Павлова, И.В. Разработка биотехнологии утилизации молочной сыворотки с целью получения спирта и последующей комплексной очистки образующихся стоков совместно со сточными водами молокозавода: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / Павлова Инна Вячеславовна. – М., 2003. – 155 с.
36. Рабилизоров, М.Н. Современные методы извлечения ценных компонентов из вторичного сырья и сточных вод молочной промышленности: обзорная информация. - М.: ЦНИИТЭИ мясомолпром, 1986. - 32 с.
37. Роговская, Ц.И. Биохимический метод очистки производственных сточных вод/ Ц.И. Роговская. – М.: Стройиздат, 1967. – 140 с.
38. Свергузова, Ж.А. Использование дефекаата при очистке сточных вод молокоперерабатывающих заводов и автозаправочных станций / Ж.А. Свергузова, А.М. Благадырева // Экология и промышленность России. – 2009. – №6. – С. 10-13.

39. Смирнов, В.Б. Пути организации обработки сточных вод молочных предприятий / В.Б.Смирнов // Молочная промышленность. – 2015. – №8. – С. 21-23.
40. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
41. Солкина, О.С. Исследование биологической очистки сточных вод молокозавода в мембранном биореакторе / О.С. Солкина // Яковлевские чтения: Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. – 2017. – С.120-127.
42. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 85 с.
43. Степанов, С. В. Модульные мембранные биореакторы / С.В. Степанов, А.С. Степанов, Ю.Е. Сташок, Блинкова Л.А. // Водоснабжение и санитарная техника. –2013. – № 8. – С. 51-55.
44. Степанов, С.В. Биологическая очистка и доочистка сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.04 / Степанов Сергей Валериевич. – Самара, 2014. – 345 с.
45. Степанов, С.В. Биологическая очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов: Научное издание / С.В. Степанов, А.К. Стрелков, В.Н. Швецов, К.М. Морозова – М.: Издательство АСВ, 2017. – 204 с.
46. Степанов, С.В. Биологическая очистка сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе (часть 1) // С.В. Степанов, О.С. Солкина, К.М. Морозова, А.С. Степанов, Т.В. Соколова, М.А.Жукова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. – № 12. – С. 28-34.
47. Степанов, С.В. Биологическая очистка сточных вод предприятий молочной промышленности в мембранном биореакторе (часть 2) // С.В. Степанов, О.С. Солкина, К.М. Морозова, А.С. Степанов, Т.В. Соколова, М.А. Жукова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 2. – С.60-65.

48. Степанов, С.В. Влияние химических промывок мембран на процессы биологической очистки / С.В. Степанов, О.С. Солкина, К.М. Морозова, А.С. Степанов, М.А. Жукова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 4. – С.19-24.
49. Степанов, С.В. Исследование биологической очистки сточных вод молокозаводов на модельном стоке / С.В. Степанов, О.С. Солкина, К.М. Морозова, А.С. Степанов, Т.В. Соколова // Технологии очистки воды "Техновод-2016": материалы IX международной научно-практической конференции. – 2016. – С.210-215.
50. Степанов, С.В. Мембранный биореактор - эффективное сооружение очистки сточных вод предприятий молочной промышленности / С.В. Степанов, О.С. Солкина, К.М. Морозова, А.С. Степанов, М.А. Жукова // Сборник докладов международной конференции "Канализационные очистные сооружения: реконструкция, новое строительство, эффективная эксплуатация", [электронный ресурс]. – М.: ООО "Релакс", 2017.
51. Степанов, С.В. Определение кинетических констант для процессов биохимической очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов / С.В. Степанов, А.К. Стрелков, Л.А. Блинкова, К.М. Морозова, А.В. Беляков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 2. – С. 46-50.
52. Степанов, С.В. Расчет аэротенков для очистки городских сточных вод от биогенных элементов: Методические указания / С.В. Степанов, А.К. Стрелков, О.С. Солкина. – Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. – 34 с.
53. Сухарев, Ю.И. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности: обзорная информации. - Челябинск : Южно-Урал. гос. ун-т, 1998. - 44 с.
54. Темирев, А.Ю. Выделение компонентов творожной сыворотки наноматериалами на основе полиакриламида: автореф.дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Темирев Александр Юрьевич. – Кемерово, 2009. – 21 с.

55. Теплых, С.Ю. Очистка масло- и жирсодержащих сточных вод: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Теплых Светлана Юрьевна. – Самара, 2000. – 154 с. 12)
56. Тимофеева, С.С. Сточные воды предприятий молочной промышленности и современные методы их обезвреживания / Тимофеева С.С. // Химия и технология воды. – 1992. – №8. – С.610-618.
57. Тихонова, Г.Г. Применение высокомолекулярных флокулянтов в процессах очистки сточных вод молочной промышленности / Г.Г. Тихонова, С.И. Шамуков // Переработка молока. – 2010. – № 5 (127). – С. 42-43.
58. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / Совет эконом.взаимопомощи, ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР - М.: Стройиздат, 1978, 590 с.
59. Ульрих, Е.В. Выделение белков и жира из молочных смывных вод / Е.В. Ульрих // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 2. – С.69-72.
60. Устинова, Ю.В. Выделение пищевых компонентов из молочных смывных вод: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Устинова Юлия Владиславовна. – Кемерово, 2010. – 132 с.
61. Устинова, Ю.В. Использование модифицированных и немодифицированных флокулянтов для очистки сточных вод молочной промышленности / Ю.В. Устинова, А.Ю. Темиров, Т.В. Шевченко, Е.В. Ульрих // Фундаментальные исследования. – 2008. – №6. – С. 70-71.
62. Уэбб, Л. Ингибиторы ферментов и метаболизма / Л. Уэбб; пер. с англ. – М., 1966. – 700 с.
63. Харькина, О.В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О.В. Харькина. – Волгоград: изд-во «Панорама», 2015. – 433 с.
64. Хачатурян, Г.С. Исследование очистки сточных вод молзавода / Г.С. Хачатурян, Е.В. Яковлева, П.О. Банникова, О.С. Солкина // Известия Ростовского государственного университета. – 2015. – № 20 – С. 81-87.

65. Хенце, М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс [и др.]; пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
66. Храменков, С. В. Предварительная анаэробная очистка концентрированных сточных вод предприятий пищевой промышленности / С.В. Храменков, Д.А. Данилович // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 1. – С. 28-32.
67. Шарафутдинова, Г.М. Повышение экологичности нефтеперерабатывающих предприятий созданием ресурсосберегающих химико-технологических водных систем на основе мембранных процессов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Шарафутдинова Гульнара Минигаяновна. – Уфа, 2008. – 184 с.
68. Швецов, В.Н. Очистка нефтесодержащих сточных вод биомембранными методами / В.Н. Швецов, К.М. Морозова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 3. – С. 39-42.
69. Швецов, В.Н. Расчет сооружений биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов / В.Н. Швецов, К.М. Морозова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 11. – С. 42-47.
70. Шифрин, С.М. Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности / С.М. Шифрин, Г.В. Иванов, Ю.А. Феофанов. – М.: Издательство "Легкая и пищевая промышленность", 1981. 272 с.
71. Штуцер, Д. Превращение отходов в деньги / Д. Штуцер // Переработка молока. – 2010. – №5 (127). С. 48-49.
72. Шустер, К. Анаэробная обработка высококонцентрированных стоков молочных предприятий / К. Шустер, И. Нойберт // Экология производства. – 2009. – № 11. – С. 58-60.
73. Яковлев, С.В. Биологическая очистка производственных сточных вод: процессы, аппараты и сооружения / С.В. Яковлев, И.В. Скирдов, В.Н. Швецов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1985 – 208 с.
74. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина. – М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.

75. Яковлев, С.В. Технологический расчет современных сооружений биологической очистки сточных вод / С. В. Яковлев, В. Н. Швецов, И. В. Скирдов, А. А. Бондарев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1994. – №2. – С. 2-5.
76. Artiga, P. Treatment of winery wastewater in a membrane submerged bioreactor / P.Artiga, M.Carballa, J.M.Garrido, R.Mendez // Water Science & Technology. – 2007. – V. 56 (2) – P. 63-69.
77. Baskaran, K. Wastewater reuse and treatment options for dairy industry / K. Baskaran, L.M. Palmowski, B.M. Watson // Water Sypply. – 2003. – V. 3. - P. 85-91.
78. Basset, N. Comparison of aerobic granulation and anaerobic membrane bioreactor technologies for winery wastewater treatment / N.Basset, S.Lopez-Palau, J.Dosta, J.Mata-Alvare // Water Science & Technology. – 2014. – V. 69 (2) – P. 320-327.
79. Baumgarten, S. Evaluation of advanced treatment technologies for the elimination of pharmaceutical compounds / S.Baumgarten, H., Fr.Schroder, C.Charwath [et al.] // Water Science & Technology. – 2007. – V. 56 (5) – P.1-8.
80. Bick, A. Immersed Membrane BioReactor (IMBR) For treatment of combined domestic and dairy wastewater in an isolated farm / A. Bick, J.G. Plazas-Tuttle, S. Shandalov, G. Oron // Water Science & Technology. – 2005. – V. 51 (10). – P. 327-334.
81. Bickers, P.O., Biological phosphorus removal from a phosphorus-rich dairy processing wastewater / P.O. Bickers, R. Bhamidimarri, J. Shepherd, J. Russell //Water Science & Technology. – 2003. – V. 48 (8). – P. 43-51.
82. Bjorn, R. Chemical pretreatment of dairy wastewater / Rusten Bjorn, Arne Lundar, Ola Eide, Hallvard Odegaard // Water Science & Technology. – 1993. – V. 28 (2). – P. 67-76.
83. Cabrol, L. Integrating microbial ecology in bioprocess understanding: the case of gas biofiltration / Cabrol L., Malhautier L. // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2011. – V. 90 (3) – P. 837-849.

84. Chen, T.K. Application of a membrane bioreactor system for optoelectronic industrial wastewater treatment - a pilot study / T.K.Chen, J.N.Chen, C.H.Ni, G.T.Lin and C.Y.Chang // Water Science & Technology. – 2003. – V. 48 (8) – P.195-202.
85. Cornel, P. Membrane bioreactors in industrial wastewater treatment - European experience, examples and trends / P.Cornel, S.Krause // Water Science & Technology. – 2006. – V. 53 (3) – P.37-44.
86. Dalmacija, B. Combined Microbiological and Advanced Treatment of Oil Refinery and Municipal Wastewaters / Dalmacija B., Miskovic D., Zivanov Z., Petrovic O. // Water Science & Technology. – 1988. – V. 18(9) – P. 137-146.
87. Dalzell, D.J.B. Nitrification performance in a membrane bioreactor treating industrial wastewater / Dalzell D.J.B, AlteS., Aspichueta E., Sota A., Etxebarria J., Gutierrez M., Hoffmann C.C., Sales D., Obst U., Christofini // Chemosphere. – V. 47 (5) – P. 535-545.
88. De Jager, D. Membrane bioreactor application within the treatment of high-strength textile effluent / D.De Jager, M.S.Sheldon, W.Edwards // Water Science & Technology. – 2010. – V. 65 (5) – P.907-914.
89. De Wever, H. Comparison of sulfonated and other micropollutants removal in membrane bioreactor and conventional wastewater treatment. / De Wever H., Weiss S., Reemtsma T., Vereecken J., Muller J., Knepper T., Rorden O., Gonzalez S., BarceloD., Hernando M.D // Water Research. – 2007. – V. 41(4) – P.935-945.
90. Donkin, J. Bulking in anaerobic biological systems treating dairy processing wastewaters / J Dolkin // Int. J. Dairy Technol. – 1997. – V 50. – P. 67-72.
91. Duran, N. Potential applications of oxidative enzymes and phenoloxidase-like compounds in wastewater and soil treatment: a review /Duran N., Esposito E. // ApplCatal B: Environ.– 2000. – V. 28 (2)– P. 83-99.
92. Fuller S. Life-CycleCostAnalysis (LCCA). – [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.wbdg.org/resources/lcca.php>
93. Galil, N. Disturbances and Inhibition in Biological Treatment of Wastewater from an Integrated Refinery / N. Galil, M. Rebhun, Y. Brayer // Water Science & Technology. – 1988. – V. 20 (10)– P. 21-29.

94. Gösta, Bylund. Dairy processing handbook. – Lund, Sweden : Tetra Pak Processing Systems AB, 2003. – 452 p.
95. Grunditz, C. Comparison of sulfonated and other micropollutants removal in membrane bioreactor and conventional wastewater treatment / Grunditz C., Gumaelius L., Dalhammer G. // Water Research. – 1998. – V. 32(10) – P. 2995-3000.
96. Guangxue, Wu. Denitrifying kinetics and nitrous oxide emission under different copper concentrations / Guangxue Wu, XiaofengZhai, Chengai Jiang and Yuntao Guan // Water Science & Technology. – 2014. – V.69 (4)– P. 746-754.
97. Guangxue, Wu. Denitrifying kinetics and nitrous oxide emission under different copper concentrations / Guangxue Wu, XiaofengZhai, Chengai Jiang and Yuntao Guan // Water Science & Technology. – 2014. – V.69(4) – P.746-754.
98. Huisjes E., Colombel K., Lesjean B. The European MBR market: specifics and future trends / Final MBR-Network workshop, Berlin, 31st March – 1st April 2009.
99. Jeison, D. Anaerobic wastewater treatment and membrane filtration: a one night stand or a sustainable relationship / D.Jeison, J.B. van Lier, D.Jeison // Water Science & Technology. – 2008. – V. 57 (4) – P. 527-532.
100. Judd, S. The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment / S.Judd, C.Judd. – Amsterdam: Elsevier, 2007. – 324 p.
101. Kim, H. Application of membrane bioreactor system with full scale plant on livestock wastewater / H.Kim, H. - S.Kim, I. - T.Yeom, Y. - B.Chae // Water Science & Technology. – 2005. – V.51 (6-7) – P.465-471.
102. Le-Clech, P. Membrane bioreactors and their uses in wastewater treatments / P.Le-Clech // Applied microbiology and biotechnology. – 2010. – V 88 (6). – P. 1253-1260.
103. Levent, G. Treatment of slaughterhouse plant wastewater by using a membrane bioreactor / G.Levent, B.Hanife // Water Science & Technology. – 2011. – V. 64 (1) – P.214-219.

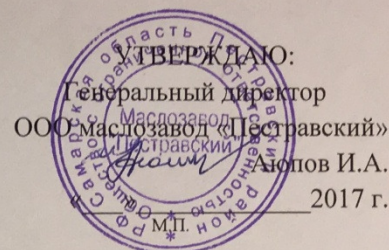
104. Lubello, C. Membrane bio-reactor for advanced textile wastewater treatment and reuse / C.Lubello, R.Gori // Water Science & Technology. – 2004. - V. 50 (2) – P.113-119.
105. Lubello, C. Membrane bio-reactor for textile wastewater treatment plant upgrading / C.Lubello, R.Gori // Water Science & Technology. – 2005. – V. 52 (4) – P.91-98.
106. Lukas, D. Nitrification performance in a membrane bioreactor treating industrial wastewater / D. Lukas, J. Svojitka, J. Wanner, T. Wintgens // Water research. – 2013. – V. 47 – P. 4412-4421.
107. Matsumoto, E.M. Treatment of wastewater from dairy plants using Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) followed by Aerobic Sequencing Batch Reactor (SBR) aiming the removal of organic matter and nitrification / E.M. Matsumoto, M.S. Osako, S.C. Pinho, T.M. Tommaso, R. Ribeiro // Water Practice & Technology. – 2012. – V.7 (3). – P. 48-58.
108. Mehrdadi, N. Determination of dairy wastewater treatability by bio-trickling filter packed with lava rocks - case study PEGAH dairy factory / N. Mehrdadi, G.R. Nabi Bidhendi, M. Shokouhi // Water Science & Technology. – 2012. – V. 65 (8). – P. 1441-1447.
109. Pagga, U. Inhibition of nitrification in laboratory tests and model wastewater treatment plants / Pagga U., Bachner J., Stotmann U. // Chemosphere 65. – 2006. – V. 65(1) – P.1-8.
110. Praca, Zbirowa. Вода и сточные воды пищевой промышленности; Под ред. В.М. Каца. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 536 с.
111. Rosenberger, S. Impact of colloidal and soluble organic material on membrane performance in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment / S. Rosenberger, C. Laabs, B. Lesjean, R. Gnirss, G. Amy, M. Jekel, J. Schrotter // Water Research. – 2006. V. 40 (4). – P. 710-720.
112. Rosenberger, S. Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal wastewater / S. Rosenberger, U. Kruger, R. Witzig, W. Manz, U. Szewzyk, M. Kraume // Water Research. – 2002. V. 36 (15). - P. 413-420.

113. Semenovs, E.I. Electrostimulation of activated sludge of Aerotanks as a method of intensifying treatment of wastewaters of enterprises of dairy processing industry / E.I. Semenovs, N.A. Bubiliyenko, T.L. Suleiko // Journal of chemistry and technology. – 2014. – V. 36. – P. 237-240.
114. Sirtori, C. Decontamination industrial pharmaceutical wastewater by combining solar photo-Fenton and biological treatment / Sirtori C., Zapata A., Oller I., Gernjak W., Aguera A., Malato S. // Water Research. – 2009. – V. 43 (3) – P. 661-668.
115. Solkina, O. Dairy wastewater treatment using membrane biological reactor (MBR) / O.Solkina // Volume of the sixth German-Russian week of the young researcher. – 2016. – P.67-68.
116. Stepanov, S. Dairy wastewater treatment using membrane biological reactor (MBR) / S.Stepanov, O. Solkina, A.Stepanov // The efficient use and management of urban water [Электронный ресурс]. – Bath, 2017.
117. Stepanov, S. Waste water biological purification plants of dairy products industry and energy management // S. Stepanov, O. Solkina, A. Stepanov, M. Zhukova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – V. 90 (1). – 012097.
118. Stephenson, T. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. / Stephenson T., Judd, S., Jefferson B., Brindle K. – London. U.K: IWA Publishing, 2000 г.
119. Tricolici, O. Dairy wastewater treatment using activated sludge - microalgae system at different light intensities / O. Tricolici, C. Bumbac, V. Patroescu, C. Postolache // Water Science & Technology. – 2013. – V. 69 (8). – P. 1598-1605.
120. Ueda, T. Effects of aeration on suction pressure in a submerged membrane bioreactor / T. Ueda, K. Hata, Y. Kikuoka, O. Seino // Water Research. – 1997. V. 31 (3), P. 489-494.
121. Visvanathan, C. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment / C. Visvanathan, R. Ben Aim, K. Parameshwaran // Crit. Rev. Environ. SciTechnol. – 2000. V. 30 (1). – P. 1-48.

122. Wagner, M. Nitrification performance and nitrifier community composition of a chemostat and a membrane-assisted bioreactor for the nitrification of sludge reject water /Wagner M., Bjerrum L., Denecke M. // Bioprocess and Biosystems Engineering. – 2001. – V. 24 – P. 203-210.

ПРИЛОЖЕНИЯ

АКТЫВНЕДРЕНИЯ



АКТ
о внедрении результатов
диссертационной работы на соискание ученой степени
кандидата технических наук
Солкиной Ольги Сергеевны

Комиссия в составе:

Председатель Главный инженер-Семенищев С.И.

Члены комиссии: Начальник ВКО – Китаев Н.А.
 Зав. Лабораторией Ведяхина Е.В.

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Солкиной О.С. «Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, приняты в качестве рекомендаций по строительству сооружений биологической очистки и внедрены на локальных очистных сооружениях производственных сточных вод молокозавода производительностью 500 м³/сутки, по адресу: Самарская область, Пестравский район, с. Пестравка.

В ходе экспериментальных исследований на пилотной установке были отработаны технологические режимы биологической очистки сточных вод предприятия в мембранном биореакторе. Предлагаемый вариант строительства сооружений биологической очистки с использованием технологии МБР планируется использовать в 2018 г. в рамках проекта реконструкции сооружений очистки сточных вод молокозавода.

На основании выполненных соискателем исследований в рамках договора №01_RU/16 от 05.12.2016 г. между ООО маслозавод "Пестравский" и ООО "Объединенные Системы Водоочистки" были приняты рекомендации по оптимизации работы локальной механической и физико-химической очистки, что позволило улучшить качество очищенной воды и стабилизировать работу муниципальных сооружений биологической очистки.

Также были внедрены предоставленные рекомендации по обслуживанию сооружений биологической очистки, что позволило достичь качества очищенных сточных вод соответствующих требованиям по их сбросу в водоем, что подтверждено протоколом лабораторных испытаний.

Члены комиссии:

С.Семенищев

Н.Китаев

Е.Ведяхина

Соискатель:

О.С. Солкина

УТВЕРЖДАЮ:
 Директор
 ООО «Торговый дом «ЭкоЛос»
 П.Д. Мурашов
 2017 г.



АКТ
о внедрении результатов
диссертационной работы на соискание ученой степени
кандидата технических наук
Солкиной Ольги Сергеевны

Комиссия в составе:

Председатель Директор Мурашов П.Д.

Члены комиссии: Главный специалист – Крупин Л.В.

Руководитель конструкторского отдела – Придача Р.И.

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Солкиной О.С. «Биологическая очистка сточных вод предприятий молочной промышленности с применением биомембранной технологии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в производственную деятельность.

Рекомендации по технологической схеме и по расчету сооружений очистки сточных вод предприятий молочной промышленности были использованы для производства канализационных очистных сооружений молокозавода ООО СЗ "Сармич" производительностью 600 м³/сутки, по адресу: Республика Мордовия, г.Инсар в рамках договора №138 от 14.07.2016 г. между ООО "ТД ЭкоЛос" и ООО "Эко 163".

Члены комиссии:

П.Д. Мурашов

Л.В. Крупин

Р.И. Придача

Соискатель:

О.С. Солкина

УТВЕРЖДАЮ:
Директор
ООО «Союз-Водоканал»
М.С. Кострыгин
«17» ноября 2017 г.



АКТ
о внедрении результатов
диссертационной работы на соискание ученой степени
кандидата технических наук
Солкиной Ольги Сергеевны

Комиссия в составе:

Председатель Директор Кострыгин М.С.

Члены комиссии: Главный инженер – Бельченко А.В.
 Ведущий инженер – Буйлов Д.П.

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Солкиной О.С. «Биологическая очистка сточных вод предприятий молочной промышленности с применением биомембранной технологии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в производственную деятельность.

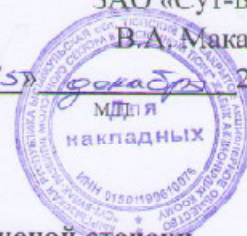
Рекомендации по технологической схеме и по расчету сооружений очистки сточных вод предприятий молочной промышленности были использованы для производства канализационных очистных сооружений молокозавода производительностью 900 м³/сутки, по адресу: Ставропольский край, г. Невинномысск по проекту «Строительство молочного комбината мощностью - 50 тонн сырого молока в смену» в рамках договора №11/17 от 15.02.2017 г. между ООО "Союз-Водоканал" и ООО "Эколос-Поставка".

Члены комиссии:

М.С. Кострыгин
А.В. Бельченко
Д.П. Буйлов
О.С. Солкина

Соискатель:

УТВЕРЖДАЮ:
Управляющий производством
ЗАО «Сут-Булак»
В.А. Макаренко
«25» декабря 2017 г.



АКТ
о внедрении результатов
диссертационной работы на соискание ученой степени
кандидата технических наук
Солкиной Ольги Сергеевны

Комиссия в составе:

Председатель Управляющий производством – Макаренко В.А.

Члены комиссии: Старший механик – Байсеитов Э.
Механик/Оператор очистных сооружений – Ташиев Б.

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Солкиной О.С. «Биологическая очистка сточных вод предприятий молочной промышленности с применением биомембранной технологии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены на локальных очистных сооружениях производственных сточных вод сыроваренного завода производительностью 200 м³/сутки, по адресу: Кыргызская Республика Түпсөй район, с. Жылуу-Булак».

На основании выполненных соискателем исследований была принята рекомендация по исключению стадии реагентной обработки сточных вод коагулянтом и флокулянтом перед флотатором, что позволило сократить затраты на реагенты.

Также были внедрены предоставленные рекомендации по обслуживанию сооружений биологической очистки, что позволило достичь качества очищенных сточных вод соответствующих требованиям по их сбросу в водоем, что подтверждено протоколом лабораторных испытаний.

Члены комиссии:

В.А.Макаренко

Э. Байсеитов

Б. Ташиев

Соискатель:

О.С. Солкина