

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

На правах рукописи

Маркин Вячеслав Владимирович



**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ
ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КУРОРТНЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
С ПОМОЩЬЮ ПРОБИОТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

05.23.04 – водоснабжение, канализация, строительные системы
охраны водных ресурсов

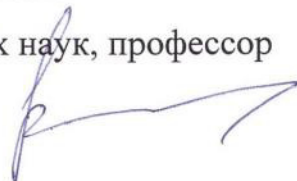
Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Насонкина Н. Г.



Идентичность всех экземпляров заверяю:
Ученый секретарь диссертационного
совета Д 01.005.01



З.В. Удовиченко

Макеевка – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КУРОРТНЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	13
1.1 Исследование режимов работы канализационных очистных сооружений курортных населенных пунктов и процессов очистки сточных вод	13
1.2 Современные методы интенсификации механической очистки сточных вод.....	19
1.3 Современные методы интенсификации биологической очистки сточных вод.....	23
1.4 Пробиотические средства и возможности их использования в области очистки сточных вод.....	31
1.5 Механизм влияния пробиотических препаратов на процессы очистки сточных вод.....	43
1.6 Постановка задачи исследований.....	48
1.7 Выводы по первому разделу	49
РАЗДЕЛ 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	50
2.1 Объекты исследований	50
2.2 Методика проведения лабораторных исследований интенсификации очистки сточных вод с помощью пробиотических средств в статическом режиме.....	53
2.3 Методика проведения лабораторных исследований интенсификации очистки сточных вод с помощью пробиотических средств в динамическом режиме	55
2.4 Методики контроля состава сточных вод, параметров работы аэротенков и биомассы микроорганизмов.....	58
РАЗДЕЛ 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ПРОБИОТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ..	60
3.1 Исследование способности различных пробиотических средств интенсифицировать процессы очистки сточных вод	60
3.2 Интенсификация первичного отстаивания и биологической очистки сточной	

воды с помощью пробиотического средства “Оксидол”	66
3.2.1 Исследование интенсификации очистки сточной воды при различных дозах “Оксидола”	66
3.2.2 Исследование интенсификации очистки сточных вод с помощью пробиотика “Оксидол” при различных значениях влияющих факторов.....	73
3.2.3 Построение математических моделей интенсификации очистки сточной воды с помощью пробиотика “Оксидол”	84
3.3 Определение рациональных параметров режима введения пробиотика “Оксидол”	93
3.4 Выводы по третьему разделу	104
РАЗДЕЛ 4 ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ г. НОВОАЗОВСКА С ПОМОЩЬЮ ПРОБИОТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ	106
4.1 Промышленные испытания пробиотического препарата “Оксидол” на канализационной очистной станции г. Новоазовска.....	106
4.1.1 Определение возможности снижения подачи воздуха в аэротенк	115
4.1.2 Определение возможности уменьшения объемов осадков сточных вод.....	117
4.1.3 Оценка снижения бактериологической загрязненности и хлорпоглощаемости в сточной воде, прошедшей биологическую очистку ...	120
4.1.4 Гидробиологическая характеристика активных илов.....	122
4.2 Исследование повышения окислительной способности активного ила	123
4.3 Техничко-экономический расчет использования пробиотического препарата “Оксидол” на канализационной очистной станции г. Новоазовска	126
4.3.1 Снижение суммы оплаты налога за сброс загрязняющих веществ в сточных водах.....	126
4.3.2 Отмена штрафа за сброс сточных вод с концентрациями загрязнений, превышающими установленные нормы	127
4.3.4 Снижение затрат на аэрацию сточной воды	130
4.3.5 Снижение затрат на обеззараживание очищенных сточных вод.....	131

4.3.6 Баланс расходов и затрат, связанных с подачей пробиотического средства “Оксидол” на канализационной очистной станции г. Новоазовска	131
4.3.7 Расчет экономической эффективности введения “Оксидола” в течение курортного сезона	133
4.4 Выводы по четвертому разделу	136
РАЗДЕЛ 5 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВВЕДЕНИЯ ПРОБИОТИКА “ОКСИДОЛ” НА СТАНЦИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ.....	138
ВЫВОДЫ	144
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	146
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	147
Приложение А	168
Приложение Б	169
Приложение В.....	174
Приложение Г	178
Приложение Д.....	186
Приложение Е	192
Приложение Ж.....	202

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Основы очистки сточных вод (СВ) были заложены еще в первой половине XX в. и с тех пор принципиально не изменялись, лишь модернизировались и дополнялись. Однако, уровень развития различных отраслей промышленности (например, пищевой, химической, фармацевтической и др.) значительно возрос. В результате на канализационные очистные сооружения (КОС) вместе со СВ попадают ксенобиотики и органические вещества искусственного происхождения, стойкие к биоразложению, большое количество синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), тяжелые металлы.

В связи с установкой водомеров в квартирах и частных домах уменьшается потребление воды населением [1], что, соответственно, приводит к значительному повышению концентрации загрязнений в СВ. Увеличенная загрязненность, а в некоторых случаях и токсичность, в свою очередь приводят к недостаточной степени очистки СВ, сбоям в работе очистных сооружений. Особенно это касается стран СНГ, где большая часть эксплуатируемых КОС не рассчитана на глубокую очистку СВ (например, по азоту аммонийному и фосфатам). При этом нормативными документами [2] и санитарными органами устанавливаются достаточно "высокие" требования к качеству сбрасываемых стоков, достичь которые не всегда представляется возможным.

В наиболее сложной ситуации оказываются КОС курортных населенных пунктов. Нагрузка на них в теплый период года значительно повышается как по качественным, так и по количественным показателям. Количество стоков, поступающих на очистку, может увеличиваться в два и более раз и часто данные очистные станции не в состоянии обеспечить нормативную степень очистки СВ. Подобная специфика работы требует применения технологий интенсификации очистки во время повышения нагрузки.

Проблема большого количества образующихся в процессе механической и биологической очистки осадков сточных вод (ОСВ) также весьма актуальна.

Выделяемые осадки подвергаются в большинстве случаев естественному обезвоживанию на иловых площадках, что требует отчуждения значительных природных площадей (только для Донецкой области более 500 га) [3]. Осадки СВ, располагаемые на иловых площадках, являются загрязнителями окружающей природной среды, а также могут быть источником санитарно-бактериологической опасности, так как содержат в себе значительное количество органического вещества, способного к загниванию, ионы тяжелых металлов, патогенную микрофлору.

Характерной проблемой традиционных КОС, располагаемых на открытой местности, является неприятный запах. Образование запахов связано с выделением токсичных газов (аммиака, сероводорода) и значительно усиливается в летнее время года, когда температура СВ более высокая и процессы анаэробного брожения протекают интенсивнее. Выделение токсичных газов представляет собой не только “культурную” проблему, но и источник вредного воздействия на обслуживающий персонал очистных станций, а в случае нахождения КОС в непосредственной близости от городской черты – и на местных жителей.

В данной ситуации актуальным является поиск решений, способных с минимальными эксплуатационными и капитальными затратами увеличить эффективность и стабильность очистки СВ на КОС курортных населенных пунктов в периоды повышения нагрузки, снизить уровень запаха, исходящего от очистных сооружений и уменьшить объемы образующихся осадков. Одним из таких решений является использование пробиотических средств.

Степень разработанности темы. Вопросы интенсификации очистки СВ рассмотрены в работах ряда ученых: Яковлева С.В., Воронова Ю.В., Синева О.П., Калицуна В.И., Куликова Н.И., Гвоздяка П.И., Нездойминова В.И., Эпояна С.М., Ткачука Н.Г. и др.

Применением пробиотических и бактериальных препаратов для интенсификации процессов очистки занимались такие ученые: Гвоздяк П.И., Серпокровлов Н.С., Борисова В.Ю., Молдагулова Н.Б., Матросова Л.Е., Miron A.R.

и др. Однако, в настоящее время использование пробиотиков в процессах очистки СВ малоизученное направление, которое только начинает развиваться.

Существующий опыт применения пробиотиков свидетельствует об их перспективности не только для интенсификации очистки СВ, но и сокращения объемов ОСВ, снижения расхода электроэнергии на аэрацию. Тем не менее, существующая научная и научно-практическая база недостаточна для широкого использования пробиотиков, отсутствуют сравнительные испытания препаратов, методики расчета по их применению и т. д.

Цель работы – научное обоснование и разработка технологической схемы интенсификации работы канализационных очистных сооружений курортных населенных пунктов с помощью пробиотических препаратов.

Задачи исследования:

- проанализировать особенности работы КОС курортных населенных пунктов и современные методы интенсификации очистки СВ, изучить опыт применения пробиотиков в сфере очистки СВ, теоретически обосновать применение пробиотиков как наиболее оптимальный способ интенсификации очистки СВ курортных городов при пиковых нагрузках;

- теоретически обосновать рациональную схему введения пробиотических препаратов на КОС;

- исследовать процесс интенсификации очистки СВ с помощью различных пробиотических препаратов и определить наиболее эффективный пробиотик, получить математические модели увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки СВ с помощью выбранного препарата, определить оптимальный диапазон его дозировок и наиболее выгодные условия применения;

- определить рациональные параметры режима введения пробиотика, закономерности его влияния на количество образующихся осадков, концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси аэротенков;

- выполнить промышленные испытания пробиотика, оценить экономическую эффективность применения технологической схемы очистки СВ с пробиотиками;

– разработать методику расчета технологической схемы очистки СВ курортных населенных пунктов с применением пробиотического препарата.

Объект исследования – процессы первичного отстаивания и биологической очистки хозяйственно-бытовых СВ в аэротенках.

Предмет исследования – закономерности влияния пробиотических препаратов на процессы первичного отстаивания и биологической очистки хозяйственно-бытовых СВ в аэротенках.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в рамках госбюджетной тематики Министерства образования и науки Украины Д-1-01-13 (номер государственной регистрации 0113U001917) “Усовершенствование организации городского хозяйства с учетом современных требований”.

Научная новизна полученных результатов:

– впервые теоретически обосновано применение пробиотических препаратов для интенсификации очистки СВ на КОС курортных населенных пунктов при увеличении нагрузки во время курортного сезона, доказано комплексное воздействие пробиотиков на процесс очистки;

– исследован процесс интенсификации очистки СВ с помощью различных пробиотических препаратов, определен наиболее эффективный пробиотик – “Оксидол”;

– впервые экспериментально получены математические модели увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки СВ при введении препарата “Оксидол”;

– установлены рациональные параметры режима введения “Оксидола”, закономерности его влияния на количество образующихся ОСВ, концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси, биоценоз активного ила (АИ);

– впервые разработана методика расчета технологической схемы очистки СВ курортных населенных пунктов с использованием “Оксидола” для интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки.

Теоретическая и практическая значимость работы:

– обосновано применение пробиотиков как наиболее оптимальная технология интенсификации очистки СВ курортных населенных пунктов во время резкого увеличения нагрузки, позволяющая не только интенсифицировать процесс очистки, но и снизить объемы ОСВ, затраты на аэрацию СВ и уровень образования неприятных запахов;

– выполнены сравнительные тестовые испытания нескольких пробиотиков и определено наиболее эффективное и экономически оптимальное средство – “Оксидол”;

– разработана методика расчета технологической схемы очистки СВ с добавлением “Оксидола”, позволяющая вычислить необходимую дозу препарата для достижения требуемой степени очистки и определить снижение объемов ОСВ;

– разработанная методика внедрена в проект реконструкции КОС г. Новоазовска, а также используется в проектной и эксплуатационной практике Центральной контрольно-исследовательской и проектно-изыскательской водной лаборатории (ЦКИПИВЛ) КП “Компания “Вода Донбасса”;

– результаты исследования внедрены в учебный процесс ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры” для подготовки бакалавров и магистров по направлению “Строительство” по профилю “Городское строительство и хозяйство” в курсе дисциплин “Городские инженерные сети” и “Обеспечение экологической безопасности систем городского строительства и хозяйства”.

Методология и методы исследования. В процессе выполнения работы автором применен системный подход к анализу воздействия пробиотических препаратов на процессы первичного отстаивания и биологической очистки СВ и к моделированию указанных процессов в лабораторных условиях. В ходе выполнения экспериментальных исследований применены численные методы обработки данных и приняты определенные упрощения, не влияющие на итоговый результат. Планирование экспериментальных исследований

осуществлялось в соответствии с основными положениями математического планирования экспериментов, в том числе с применением полного факторного эксперимента. Использовались стандартные оптические, органолептические, физико-химические методы анализа СВ и микробиоценоза АИ. Экспериментальные исследования выполнены с применением измерительных приборов и специального оборудования в аттестованной лаборатории ЦКИПВЛ КП “Компания “Вода Донбасса” (г. Донецк).

На защиту выносятся следующие научные положения:

- обоснование применения пробиотических препаратов как наиболее оптимального способа интенсификации работы КОС курортных населенных пунктов во время пиковых нагрузок;
- результаты сравнительных испытаний по интенсификации процессов отстаивания и биологической очистки СВ с помощью разных пробиотических препаратов;
- математические модели повышения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки при введении “Оксидола”, рациональные параметры режима введения пробиотика и закономерности его влияния на количество образующихся ОСВ, концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси;
- методика расчета технологической схемы очистки СВ курортных населенных пунктов с применением “Оксидола”.

Личный вклад соискателя:

- анализ научных данных по проблеме интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки, изучение сведений об использовании пробиотических средств в сфере очистки СВ;
- разработка методик проведения лабораторных исследований влияния пробиотических препаратов на процессы очистки СВ;
- обработка результатов лабораторных исследований и получение математических моделей;

– проведение промышленных исследований по изучению влияния пробиотического препарата “Оксидол” на процессы очистки СВ на КОС г. Новоазовска;

– разработка методики расчета технологической схемы очистки СВ курортных населенных пунктов с применением “Оксидола”.

Степень достоверности и апробация результатов диссертационной работы. Достоверность научных положений и выводов обоснована применением классических положений теоретического анализа, моделированием изучаемых процессов, планированием необходимого объема экспериментов, статистической обработкой результатов и подтверждена удовлетворительной сходимостью полученных результатов исследований, выполненных в лабораторных и промышленных условиях. Достоверность обеспечивается широкой публикацией работ по данной теме и обсуждением их на конференциях различного уровня. Результаты диссертационной работы докладывались на XII-XV международных конференциях молодых ученых, аспирантов, студентов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (г. Макеевка, ДонНАСА, 2013–2016 гг.); IV международной научно-технической конференции “Вода. Экология. Общество” (г. Харьков, ХНУМГ им. О. М. Бекетова, 2014 г.); IV Международной конференции “Научно-методическое и практическое обеспечение градостроительства, территориального и стратегического планирования” (г. Макеевка, ДонНАСА, 2014 г.); I Региональной научно-практической конференции “Возрождение, экология, ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий Донбасса: традиции и инновации” (г. Луганск, Луганский государственный университет им. В. Даля, Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства, 2016 г.); Международной студенческой научно-практической конференции “Строительство и архитектура” (г. Ростов-на-Дону, РГСУ, 2016 г.); X Международной научной конференции аспирантов и студентов “Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов” (г. Донецк, ДонНТУ, ДонНУ, 2016 г.); региональной заочной научно-

практической конференции молодых ученых и студентов “Актуальные проблемы развития городов” (г. Макеевка, ДонНАСА, 2017 г.); ежегодной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева, “Яковлевские чтения – 2017” (г. Москва, МГСУ, 2017 г.); XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных “Строительство – формирование среды жизнедеятельности” (г. Москва, МГСУ, 2017 г.); X юбилейной Международной научно-практической конференции “Технологии очистки воды “ТЕХНОВОД–2017” (г. Астрахань, 2017 г.).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 16 печатных работах общим объемом 6,47 а. л., лично автором – 5,29 а. л., в том числе 7 работ опубликованы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных журналов, утвержденный МОН Украины; 1 – в издании, индексируемом в базе данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования); 1 – в зарубежном издании; 6 – в изданиях по материалам конференций; 1 – в других изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка сокращений, списка литературы и приложений. Общий объем работы – 204 страницы, в том числе 139 страниц основного текста, 7 полных страниц с рисунками и таблицами, 21 страница списка использованных источников, 37 страниц приложений.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, докт. техн. наук, проф. Н. Г. Насонкиной и научному консультанту, канд. техн. наук, доц. Н. И. Зотову, коллективу кафедры Городское строительство и хозяйство ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры”, коллективу Центральной контрольно-исследовательской и проектно-изыскательской водной лаборатории КП “Компания “Вода Донбасса” и ее директору Е. А. Широкоступ за практическую помощь в выполнении исследований.

РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КУРОРТНЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

1.1 Исследование режимов работы канализационных очистных сооружений курортных населенных пунктов и процессов очистки сточных вод

Технология очистки СВ и особенности работы КОС курортных населенных пунктов рассмотрены на примере очистных сооружений г. Новоазовска и г. Лиман Донецкой области.

Новоазовская очистная станция расположена на юге Донецкой области между г. Новоазовск и курортным поселком Седово. КОС г. Новоазовска состоят из следующих сооружений: решеток с ручной очисткой, двух песколовок и блока емкостей из четырех технологических линий. В состав каждой линии входят: аэробные стабилизаторы, первичные вертикальные отстойники, аэротенки двухкоридорные, вторичные вертикальные отстойники, контактные резервуары. Обеззараживание осуществляется гипохлоритом натрия. Схема очистной станции приведена в приложении А.

Технология очистки СВ на Новоазовских КОС ничем не отличается от традиционных очистных сооружений: механическая обработка осуществляется на решетках, в песколовках и в первичных отстойниках, биологическая очистка – в аэротенках и вторичных отстойниках. Доочистка не предусмотрена. Образующиеся сырые осадки и избыточный активный ил (ИАИ) подвергаются аэробной стабилизации и удаляются на иловые площадки.

В холодный период года очистные сооружения принимают СВ, в основном, от г. Новоазовска. Приток сточной жидкости в это время составляет 800...900 м³/сут. В теплое время года на очистную станцию дополнительно подается сточная вода от п. Седово. Суточное количество стоков при этом увеличивается до 1700...1800 м³/сут.

Среднесуточные расходы сточных вод на очистных сооружениях в 2013 г. по месяцам представлены на графике (Рисунок 1.1). Приведенный график свидетельствует о том, что во время курортного сезона (июнь, июль, август) количество поступающей сточной воды увеличивается примерно в два раза.

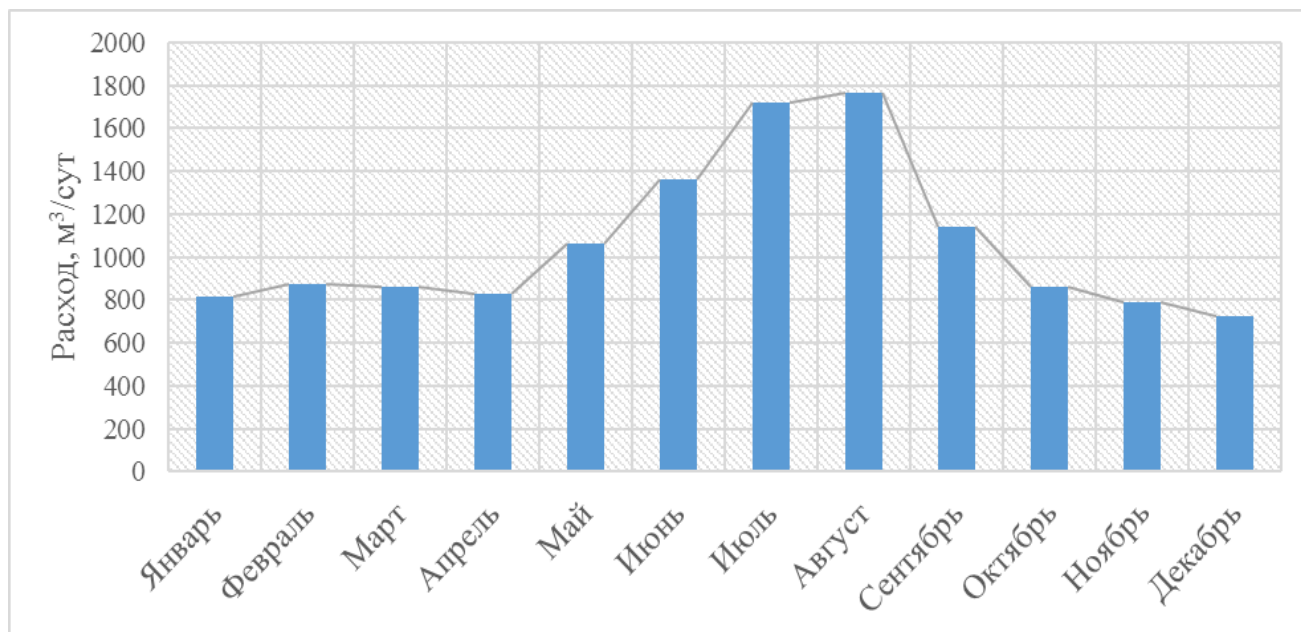


Рисунок 1.1 – Расход сточных вод на КОС г. Новоазовска за 2013 г.

Показатели работы очистной станции г. Новоазовска за февраль и за июль 2013 г. приведены в таблице 1.1, технологический режим работы сооружений биологической очистки – в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Показатели работы КОС г. Новоазовска в феврале и в июле 2013 г.

Показатели	Ед. изм.	Февраль		Июль	
		Поступающая СВ	Очищенная СВ	Поступающая СВ	Очищенная СВ
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	252	14	278	37
ХПК	мгО ₂ /дм ³	430	75	460	125
Взвешенные вещества	мг/дм ³	255	16	288	39
Азот аммонийный	мг/дм ³	42	1,7	51	16
Нитриты	мг/дм ³	–	0,7	–	2,9
Нитраты	мг/дм ³	–	163	–	91
Фосфаты	мг/дм ³	11	8	14	9
Сухой остаток	мг/дм ³	1154	1120	1193	1182
СПАВ	мг/дм ³	0,9	0,7	1,2	0,9

Предельно-допустимые содержания (ПДС) загрязнений в очищенной сточной воде для КОС г. Новоазовска составляют: БПК₅ – 15 мгО₂/дм³; взвешенные вещества – 15 мг/дм³; азот аммонийный – 2 мг/дм³; ХПК – 55 мгО₂/дм³.

Таблица 1.2 – Технологические параметры работы сооружений биологической очистки на КОС г. Новоазовска

Месяц	Доза ила, г/дм ³	Время аэрации, ч	Нагрузка на ил, гБПК _п /(г·сут)	Концентрация О ₂ в иловой смеси, мгО ₂ /дм ³	Удельный расход воздуха, м ³ /м ³
Июль	3,0...3,5	8	0,34...0,40	3,5...4,0	20
Февраль	2,0...2,5	16	0,18...0,22	4,0...4,5	16

Данные таблицы 1.1 свидетельствуют о том, что в зимнее время работа очистного комплекса обеспечивает снижение концентраций загрязнений до нормативных требований. В летний период при значительном увеличении нагрузки на КОС качество очистки снижается и концентрации основных загрязнений в очищенной СВ превышают установленные нормы. Следует также отметить, что во время курортного сезона увеличиваются концентрации загрязнений в поступающей СВ, особенно азота аммонийного. Концентрация активного ила в иловой смеси в летнее время составляет 3,0...3,5 г/дм³, содержание растворенного кислорода 3,5...4,0 мгО₂/дм³. Приведенные параметры работы сооружений биологической очистки являются предельными для традиционной схемы со свободноплавающим активным илом. Повысить качество очистки за счет технологических мероприятий, таких как, увеличение дозы ила или повышение расхода воздуха на аэрацию, в данном случае не представляется возможным. Максимальная доза ила, которую можно удержать в системе с гравитационным отстаиванием, – 3,5...4,0 г/дм³, при дальнейшем ее увеличении происходит повышенный вынос ила из отстойника. Концентрации растворенного кислорода 3,0...4,0 мг/дм³ достаточно для обеспечения эффективного процесса аэробной биологической очистки, дальнейшее увеличение подачи воздуха не

окажет существенного влияния на качество очистки, но приведет к повышению расхода электроэнергии.

Таким образом, резервы для повышения эффекта очистки в летнее время при пиковых нагрузках отсутствуют, что вызывает необходимость применения технологий интенсификации.

Лиманские очистные сооружения принимают СВ от одноименного города, а также от баз отдыха, пансионатов, расположенных в близлежащих районах, в том числе возле п. Щурово.

Очистка СВ на КОС г. Лиман осуществляется на решетках, песколовках с круговым движением жидкости, первичных отстойниках, однокоридорных аэротенках, вторичных отстойниках. Обеззараживание стоков происходит в контактных резервуарах гипохлоритом натрия.

За счет баз отдыха, работающих со второй половины мая до середины сентября, количество СВ, поступающей на очистные сооружения, в это время значительно увеличивается. Расход стоков в 2013 г. по месяцам показан на графике (Рисунок 1.2). Показатели работы КОС за март и июль 2013 г. приведены в таблице 1.3, технологический режим работы сооружений биологической очистки представлен в таблице 1.4.

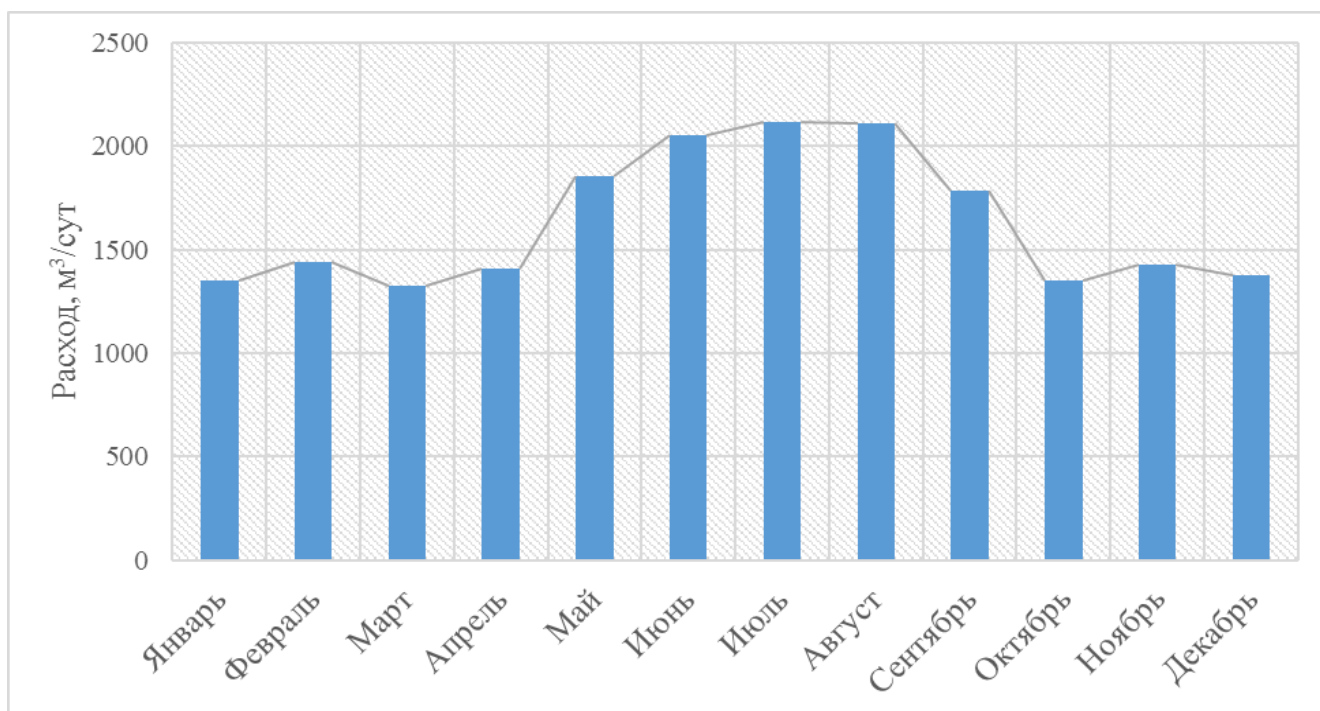


Рисунок 1.2 – Расход сточных вод на КОС г. Лиман за 2013 г.

Анализ приведенных данных показывает, что количество СВ в летнее время года увеличивается примерно в 1,5 раза. Показатели очистки СВ во время курортного сезона значительно ухудшаются. В остальное время года качество очистки СВ соответствует нормативным требованиям.

Таблица 1.3 – Показатели работы КОС г. Лиман в феврале и в июле 2013 г.

Показатели	Ед. изм.	Февраль		Июль	
		Поступающая СВ	Очищенная СВ	Поступающая СВ	Очищенная СВ
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	185	14	228	29
ХПК	мгО ₂ /дм ³	320	65	370	105
Взвешенные вещества	мг/дм ³	207	15	218	31
Азот аммонийный	мг/дм ³	31	1,9	36	11
Нитриты	мг/дм ³	–	1,0	–	2,3
Нитраты	мг/дм ³	–	115	–	88
Фосфаты	мг/дм ³	11	7	10	7
Сухой остаток	мг/дм ³	1052	1030	1087	1042
СПАВ	мг/дм ³	1,3	1,0	1,1	0,7

Таблица 1.4 – Технологические параметры работы сооружений биологической очистки на КОС г. Лиман

Месяц	Доза ила, г/дм ³	Время аэрации, ч	Нагрузка на ил, гБПК _п /(г·сут)	Концентрация О ₂ в иловой смеси, мгО ₂ /дм ³	Удельный расход воздуха, м ³ /м ³
Июль	2,8...3,2	7	0,33...0,37	3,0...3,5	17
Февраль	2,5...3,0	11	0,17...0,21	4,0...4,5	13

Технологические параметры работы КОС г. Лиман также свидетельствуют об отсутствии ресурсов для интенсификации очистки сточной воды в летнее время обычными технологическими мерами: доза ила – 2,8...3,2 г/дм³, концентрация растворенного кислорода – 3,0...3,5 мгО₂/дм³.

Сезонные увеличения количества СВ являются характерной особенностью для многих КОС курортных населенных пунктов. Так, например, в п. Малореченское (Крым) колебания расхода составляют от 350 м³/час в зимнее время до 800 м³/час летом [4]. При разработке проектов на реконструкцию КОС

г. Севастополь и КОС г. Саки учитывается трехкратное увеличение расхода СВ в летнее время [5;6].

Таким образом, технология очистки СВ на КОС курортных населенных пунктов аналогична и ничем не отличается от технологий, применяемых на “классических” очистных станциях. Существенная разница заключается в особенностях режима работы, связанных с резкими увеличениями количества СВ, а также их концентрированностью во время курортного сезона, длительность которого составляет 3–5 месяцев. Работа очистных станций в режиме повышенных нагрузок приводит к тому, что КОС не обеспечивают необходимую степень очистки СВ, а резервы для повышения эффективности очистки отсутствуют.

Сложившаяся ситуация требует поиска оптимальных технологий интенсификации работы очистных сооружений курортных городов при пиковых нагрузках во время курортного сезона. При этом желательно, чтобы такая технология решала также попутные задачи: снижение количества осадков, уменьшение выделения токсичных газов из СВ, обеспечение энергетической эффективности работы КОС.

Особенно важной из перечисленных является проблема обработки и утилизации большого количества осадков сточных вод [7;8]. ОСВ – это крупнотоннажный отход [3]. Количество осадков влажностью 99,5%, образующихся в процессе очистки СВ, составляют ориентировочно от 0,5 до 2% от всего объема очищенной сточной жидкости [9-11].

Выделяемые осадки подвергаются в большинстве случаев естественному обезвоживанию на иловых площадках, что требует отчуждения значительных природных площадей. В результате только в Донецкой области количество накопленных осадков оценивается до 2 млн т (по сухому веществу) и занимают они суммарную площадь более 500 га плодородных земель [3]. Для Украины годовой прирост объемов осадков составляет около 40 млн т, для размещения которых требуется 120 га/год природных земель [12].

Осадки сточных вод, располагаемые на иловых площадках, являются загрязнителями окружающей природной среды, а также могут быть источником санитарно-бактериологической опасности, так как содержат в себе значительное количество органического вещества (при отсутствии аэробной стабилизации), способного к загниванию, ионы тяжелых металлов, патогенную микрофлору [13–15].

Соответственно, методы, позволяющие уменьшить количество выделяемых ОСВ, весьма актуальны.

1.2 Современные методы интенсификации механической очистки сточных вод

Очистные сооружения представляют собой единую технологическую цепочку, поэтому изменения в параметрах работы любого узла приводят к изменению работы остальных.

Поскольку основной задачей исследования является повышение качества очистки в целом, в данном разделе рассмотрены методы интенсификации как механической, так и биологической очистки, с целью выбора наиболее оптимальной технологии.

Повышение эффекта задержания крупных загрязнений на решетках может быть достигнуто благодаря использованию решеток с прозорами 5 мм вместо 16 мм, нормируемых ДБН В.2.5-75:2013 [16], или, если дело касается малогабаритных очистных сооружений, применению устройств фильтрующих самоочищающихся (УФС) с прозорами 2 мм [17–19].

Интенсификацию работы горизонтальных песколовков достигают, как правило, переоборудованием их в аэрируемые. К достоинствам аэрируемых песколовков относятся: высокая эффективность и устойчивость работы при изменениях количества поступающих СВ и хорошая отмывка песка от органики [20–22].

Интенсификация работы первичных отстойников возможна следующими способами [23;24]:

- улучшением гидродинамических условий работы;
- оборудованием отстойников тонкослойными модулями;
- предварительной аэрацией и биokoагуляцией сточных вод;
- переоборудованием отстойников во флотаторы;
- применением различных реагентов, увеличивающих эффект отстаивания.

Улучшение гидродинамических условий работы отстойников в зависимости от их конструкции может быть достигнуто путем обустройства дополнительных водосливов вдоль боковых стенок, увеличением угла наклона стенок илового приямка для горизонтальных отстойников (эффективность увеличивается примерно на 30%). Работа радиальных отстойников на 20...30% интенсифицируется за счет периферийного впуска сточной жидкости [23].

Оборудование существующих отстойников тонкослойными модулями увеличивает пропускную способность сооружений в 1,5–2 раза [25], по другим данным в 3–4 раза [26]. Интенсификация происходит за счет того, что путь движения осаждаемых частиц значительно меньше, чем в обычных отстойниках. Коэффициент объемного использования зоны осветления в тонкослойных отстойниках достигает 0,7...0,8 [16]. Однако, недостатком тонкослойных модулей является необходимость устройства аэрационной системы очистки полок модулей от осевшего осадка. Опыт эксплуатации показывает, что аэрационные системы не всегда обеспечивают надежное удаление осадка, в результате чего для восстановления работоспособности сооружения приходится прибегать к аварийным методам очистки.

Предварительная аэрация СВ с добавлением избыточного АИ перед первичным отстаиванием увеличивает эффективность последнего [27]. Для осуществления указанного процесса используются преаэраторы либо биokoагуляторы. Преаэраторы пристраивают или встраивают перед первичными отстойниками, биokoагуляторы совмещают с первичными вертикальными отстойниками [28]. Длительность процесса составляет 10...30 мин.

Интенсификация первичного отстаивания происходит за счет того, что АИ сорбирует загрязнения и флокулирует мелкодисперсные нерастворимые примеси, увеличивает их гидравлическую крупность, в результате чего они оседают быстрее. Преаэрация позволяет увеличить эффективность первичного отстаивания по взвешенным веществам и БПК₅ на 10...15% [29]. При устройстве биокоагуляторов эффект очистки в первичных отстойниках по взвешенным веществам достигает 70%, по БПК₅ – 30 % [30;31].

Эффект отстаивания СВ можно увеличить переоборудованием отстойников во флотаторы [32]. Флотационная технология заключается в подаче в СВ тонкодиспергированного воздуха или газа. Частицы взвешенных веществ, а также масел, жиров, нефтепродуктов прилипают к поверхности воздушных пузырьков, образуя аэрофлокулы, которые всплывают на поверхность. Для эффективной флотации необходимо образование пузырьков воздуха, соизмеримых размерами с извлекаемыми частицами (50...100 мкм) [33]. Наиболее распространенным способом насыщения СВ воздухом является метод напорной флотации, при котором часть или все количество сточной жидкости проходит через сатуратор, в который также подается сжатый воздух от компрессора. Давление в сатураторе - 0,3...0,5 МПа [29]. После сатуратора вода поступает во флотационную камеру. Давление снижается до атмосферного и растворенный кислород выделяется из воды в виде пузырьков газа.

Следует отметить, что насыщение СВ пузырьками газа требует строгого и стабильного соблюдения требуемых параметров ведения процесса. Даже при незначительных отклонениях процесс очистки может полностью нарушиться. В производственных условиях флотационная технология сложна в эксплуатации и часто дает сбои.

Эффект флотационной очистки может быть увеличен введением реагентов или части ИАИ в осветляемую воду. Продолжительность первичного отстаивания во флотационных биокоагуляторах сокращается до 30 мин., БПК снижается на 30...40% [24;34]. Снижение содержания органических веществ в осветленной СВ после флотаторов происходит за счет удаления не только взвешенных веществ, но

и части коллоидных и растворенных соединений. Объем осадка флотаторов меньше, чем отстойников в 2–3 раза за счет снижения влажности [23].

В целом, технология флотации требует больших затрат электроэнергии для насыщения рабочей жидкости воздухом и перекачки ее под высоким давлением и значительных капитальных затрат на реконструкцию.

Реагентная интенсификация может применяться, как при гравитационном отстаивании, так и при флотационном осветлении сточных вод. В качестве реагентов могут быть использованы традиционно применяемые в практике подготовки питьевой воды минеральные коагулянты: соли алюминия (сульфат алюминия, алюминат натрия), соли железа (хлорид железа, сульфат железа) в дозах 25...35 мг/дм³ [23] или синтетические катионные флокулянты.

Интерес представляет способ концентрированного коагулирования, когда обработке реагентом подвергается часть от всего количества СВ, которая после процесса коагулирования смешивается с основным потоком, в результате чего сформированные хлопья флокулируют мелкодисперсные загрязнения в необработанной воде. Исследования процесса концентрированного коагулирования (обработке подвергалось 10% от всего объема СВ) с помощью катионного флокулянта КП-555 показали его способность снижать БПК₅ после первичного отстаивания до 58%. Доза флокулянта в пересчете на весь объем СВ составила 0,7 мг/дм³ [35].

Коагулянты для механической очистки СВ могут быть получены из промышленных отходов гидролизных производств, производства сернистого натрия, синтетического каучука и т. д. [23], что позволяет утилизировать образованные отходы.

Значительным недостатком реагентной интенсификации является образование сырых осадков с высоким содержанием загрязнителей – компонентов применяемых реагентов. Наличие в осадке повышенного содержания минеральных загрязнителей, в том числе тяжелых металлов, значительно затрудняет или делает невозможным его утилизацию в сельском хозяйстве, особенно в качестве органоминеральных удобрений [36;37].

Таким образом, реагентная интенсификация механической очистки, хотя и имеет преимущества из-за того, что отсутствует необходимость в реконструкции сооружений, но имеет также и недостатки, связанные с ухудшением качества осадков.

1.3 Современные методы интенсификации биологической очистки сточных вод

Наиболее распространенным методом интенсификации работы аэротенков является увеличение дозы ила в иловой смеси. При увеличении дозы ила с $1...2 \text{ г/дм}^3$ до $25...30 \text{ г/дм}^3$ окислительная мощность аэротенка возрастает с $0,5...1,0$ до $12,0...14,5 \text{ кгБПК}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$ [23].

Вторичные отстойники стабильно работают при концентрации ила до $3,5...4,0 \text{ г/дм}^3$, при более высоких дозах наблюдается повышенный вынос ила из отстойников. Поэтому увеличение дозы ила в аэротенках требует повышения эффективности работы вторичных отстойников.

Эффективность вторичных отстойников, так же как и первичных, может быть повышена за счет улучшения гидродинамических условий работы или устройства тонкослойных модулей.

Тем не менее, на практике для значительного повышения дозы ила в биореакторе применяют более кардинальные методы, такие как, например, переоборудование вторичных отстойников во флотационные илоотделители. Благодаря более высокой способности флотаторов выделять хлопья ила из иловой смеси, доза АИ может поддерживаться на уровне $12...16 \text{ г/дм}^3$, окислительная мощность системы при этом увеличивается в 3–4 раза [23].

Флотационные илоотделители имеют те же недостатки, что и флотаторы первичного осветления. Учитывая, что флотационная технология подвержена частым сбоям, из соображений надежности ее применяют для вторичного отстаивания в двуступенчатых схемах на первой стадии биологической очистки [23].

В последнее время для разделения очищенной СВ от АИ используют технологию мембранной микро- и ультрафильтрации вместо гравитационного или флотационного илоразделения [38;39]. Данные технологии относятся к баромембранным процессам, таким как, нанофильтрация и обратный осмос. За счет мембранного модуля, встроенного в биореактор, осуществляется фильтрация иловой смеси через поры, которые меньше размеров клеток бактерий АИ, что обеспечивает минимальное содержание взвешенных веществ в очищенной воде (до 1 мг/дм^3 и менее) [40]. Фильтрация происходит под действием перепада давления. В мембранном модуле насосом создается вакуум, благодаря чему откачивается очищенная (профильтрованная) жидкость. Мембранное илоразделение создает возможность поддержания дозы ила до $8...10 \text{ г/дм}^3$ [40;41].

По данным [42] эффективность очистки городских СВ с помощью мембранных биореакторов составляет: БПК_п – менее $3 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, азот аммонийный – менее $0,35 \text{ мг/дм}^3$, взвешенные вещества – менее 2 мг/дм^3 ; эффективность удаления фосфора – более 90...95%, азота общего – более 70...80%, эффективность удаления бактерий – 99,9%.

Однако, несмотря на очевидную привлекательность использования баромембранных технологий, они имеют ряд недостатков:

- дороговизна оборудования;
- частая засоряемость пор мембран;
- необходимость периодической чистки мембран, для чего устраивают систему специальной аэрации в зоне мембранного модуля или систему периодической обратной промывки мембран пермеатом;
- сложность эксплуатации;
- высокая зависимость пропускной способности мембран от температурных колебаний [43;44].

Эффективным методом повышения качества очистки СВ является установка в аэротенках насадок для размещения на их поверхности биомассы прикрепленных микроорганизмов-гидробионтов. Насадки применяются, как жестко зафиксированные в объеме биореактора, так и свободноплавающие. В

качестве свободноплавающего носителя биомассы могут использоваться мелкие фракции легких материалов: поролона, пластика и т. д.

Фирмой Degremont разработаны биологические реакторы Meteor C с плавающей пластиковой загрузкой размерами 45×35мм и Meteor N с размерами загрузки 10×7мм. Для предотвращения выноса загрузки из биореакторов возле илосборных устройств устанавливаются решетки с прозорами меньшими, чем размеры носителей. Биореакторы Meteor предназначены для использования в двухступенчатой схеме очистки, когда они применяются на двух этапах биологической обработки СВ или же в паре с аэротенками со свободноплавающим АИ [45]. Иммобилизация гидробионтов на загрузке приводит к увеличению концентрации АИ в объеме биореактора и, соответственно, к повышению его окислительной мощности. При необходимости полной биологической очистки СВ по азоту аммонийному требуемый объем зоны аэрации снижается примерно в 3 раза [45]. Реконструкция существующего аэротенка в реактор с плавающей загрузкой требует увеличения мощности системы аэрации, а также установки решеток для задержания фракций загрузки.

Использование закрепленных в объеме аэротенка насадок не только увеличивает биомассу ила, но также приводит к автоселекции микроорганизмов. Например, на насадках, установленных в начале аэротенка, развиваются копиотрофы – микроорганизмы, обитающие в среде с высоким содержанием питательных веществ, в то время как в конце закрепляются олиготрофы – жители обедненной на питательные вещества среды. Автоселекция прикрепленного микробиоценоза дополнительно способствует стабилизации и интенсификации процесса очистки.

В качестве насадок могут применяться пористые, пленочные или волокнистые материалы, трубчатые или сетчатые элементы, закрепляемые на металлических или пластиковых рамах, которые устанавливаются в биореакторах [23].

В Макеевском инженерно-строительном институте (ныне Донбасская национальная академия строительства и архитектуры) д.т.н., профессором

Куликовым Н. И. была разработана эффективная разновидность насадок – насадки из волокнистых полимерных материалов типа “Ерш” [46]. В начале применение “Ершей” было обосновано на стадии доочистки после вторичных отстойников для более глубокого удаления загрязнений из СВ. Однако, в последствии были разработаны технологии применения указанных насадок в одно- и двуступенчатых схемах с биореакторами различных разновидностей: горизонтальных и башенных аэротенках, биореакторах с биобарабанами, фильтрах-биореакторах и т. д. [47].

Последние работы посвящены разработке трехиловой системы биологической очистки СВ с использованием “ершевой” загрузки [48]. На практике осуществление данной технологии требует значительной реконструкции очистного комплекса, а именно: переоборудования первичного отстойника или части объема аэротенка под биореактор первой ступени, вторичного отстойника под биореактор третьей ступени. Аэротенк соответственно выполняет функцию биореактора второй ступени. Отделение иловой смеси предусматривается за счет установки тонкослойного модуля с рециркуляционными эрлифтами в конце каждой ступени. Исследования данной технологии показали высокую степень очистки СВ. Значения БПК₅, содержание взвешенных веществ и азота аммонийного в очищенной СВ составляли соответственно: 2,0...4,3 мгО₂/дм³, 2,3...3,8 мг/дм³ и 0,21...0,6 мг/дм³ [49].

Однако, указанная технология имеет некоторые недостатки. Тонкослойные модули подвержены быстрому засорению межполочного пространства и нуждаются в периодической барботажной очистке. В целом такая система илоразделения нестабильна. Загрузка типа “Ерш” даже при работе только на стадии доочистки подвержена обрастанию избыточной массой ила, в результате чего она постепенно теряет свои свойства. Для регенерации загрузки требуется установка дополнительной барботажной системы регенерации, кроме того, необходима периодическая замена загрузки.

В Институте коллоидной химии и химии воды (г. Киев) разработана технология очистки производственных и бытовых СВ в биореакторах с

ультратонкими гладкими волокнистыми насадками, получившими название “ВИИ” [50;51]. Биологическая очистка предусматривается на первом этапе в анаэробных условиях, на втором этапе – в аэробных, после чего осуществляется отстаивание и доочистка в биологических прудах. Насадки устанавливаются как в анаэробных, так и в аэробных биореакторах, а также в сооружениях доочистки.

Разработанная технология была названа одним из ее авторов д.т.н., профессором Гвоздяком П. И. “биоконвейером”. Благодаря установленным в биореакторах насадкам осуществляется принцип пространственной сукцессии микроорганизмов или, как было отмечено ранее, их автоселекция [52;53]. В классических схемах биологической очистки микробиоценоз свободноплавающего ила состоит из двух трофических уровней: бактерий и хищных простейших. Активный ил на 95% и более состоит из прокариотов (бактерий) и только оставшиеся 5% занимают простейшие микроорганизмы [54]. Количество и разнообразие жителей второго трофического уровня сравнительно невелико. Консументы второго порядка практически не встречаются. Использование насадок приводит к появлению в биореакторах не только большого числа и разнообразия представителей второго трофического уровня, но и третьего и даже четвертого.

Пространственная сукцессия гидробионтов и увеличение трофической цепи позволяют увеличить эффективность очистки, а также сократить количество избыточной биомассы АИ, которая потребляется и минерализуется в пищевой цепи.

Реализация технологии “биоконвейера” на существующих очистных сооружениях, несмотря на свои преимущества, требует значительной реконструкции, которая включает:

- переоборудование первичного отстойника или части аэротенка в анаэробный биореактор с системой перемешивания или рециркуляции жидкости;
- устройство системы сбора выделяющихся в процессе анаэробного сбраживания газов (метана, сероводорода и т.д.);
- установку в биореакторах контейнеров с насадками типа “ВИЯ”;

– модернизацию системы аэрации для обеспечения необходимого массообмена и предотвращения “зарастания” насадок.

В ДонНАСА д.т.н., профессором Нездойминовым В. И. разработана технология одноиловой нитрификации-денитрификации в биореакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации [55]. Технология позволяет получить глубокую нитрификацию и при этом обеспечивает удаление продуктов этого процесса - нитритов и нитратов, благодаря чему возрастает скорость окисления как азота аммонийного, так и органических загрязнений. Особая привлекательность технологии в том, что затопленная эрлифтная система аэрации позволяет осуществлять процесс нитрификации-денитрификации в одном сооружении и не требует устройства дополнительного технологического оборудования.

Особняком стоит реагентная интенсификация процесса биологической очистки.

Исследования по применению нитрозометилмочевины (НММ) в качестве химического мутагена выявили, что при обработке им части АИ окислительная мощность аэротенка увеличивается в 4–8 раз. Обработке подвергалась сточная вода с ХПК 850...4000 мгО₂/дм³, эффект очистки составил 99...99,7% [23].

Испытания нитрозоэтилмочевины и нитрозоэтилбутирата также подтвердили эффективность их мутагенного воздействия на активный ил [23].

Применение гидроксиламина (ГА) увеличивает эффект очистки СВ химико-фармацевтической промышленности на 10...30%. Обработка части циркулирующего АИ ГА и НММ позволяет увеличить эффект очистки концентрированных СВ (ХПК – 1500...5000 мгО₂/дм³) до 80...95 %, тогда как в контроле эффект равен 55...72%. Оптимальные концентрации ГА и НММ для СВ, на которых проводились эксперименты, составили 0,07 и 0,08% [23].

В качестве интенсифицирующих реагентов могут использоваться природные минеральные сорбенты. Исследования, проведенные Институтом коллоидной химии и химии воды, показали эффективность применения глинистых материалов монтмориллонита и палыгорскита (алюмосиликаты) при

добавлении их в СВ в количестве 1% (10 мг/дм³) для увеличения окислительной способности активного ила, которая возрастает при этом почти в 2 раза [23].

В работе [56] исследовали влияние лимонной кислоты (доза 0,8 мг/дм³) и сернокислого марганца (1 мг/дм³) на дегидрогеназную активность ила. Опыты проводили в четырех вариантах: без добавления субстрата (№1), с внесением в качестве субстрата глюкозы (№2), пептона (№3) или нефти (№4). При обработке лимонной кислотой дегидрогеназная активность увеличилась только в варианте с добавлением нефти – на 47,1%. Введение сернокислого марганца привело к увеличению дегидрогеназной активности ила по всем вариантам: №1 – на 78,9 %, №2 – 72,7 %, №3 – 40 %, №4 – 122 %.

Интенсификация биологической очистки с помощью биостимулятора “Мелафен” изучалась в работе [57]. Указанный препарат является меламиновой солью бис(оксиметил) фосфиновой кислоты. Исследования проводились на АИ действующих очистных сооружений. Доза “Мелафена” составляла 10⁻⁶ мг/дм³. Время обработки – 7 часов, начальное ХПК – 740...870 мгО₂/дм³. Результаты опытов показали, что добавление стимулятора увеличивает эффект биологической очистки по ХПК на 4,8% по сравнению с контролем, по СПАВ – на 10,7 %.

Эффективность биологической очистки может быть повышена за счет таких методов, как обработка АИ электрическим током или воздействие ультразвуком. Так, трехминутная обработка АИ Бортнических очистных сооружений (г. Киев) электрическим током силой 1,2...2,8 мА и напряжением 110...200 мВ увеличила эффект очистки по БПК₅ в 2,9...3,2 раза [58]. Однако, влияние электрического тока на АИ в различных диапазонах частот и силы тока может привести как к повышению активности микроорганизмов, так и к снижению. Эффект от воздействия тока обусловлен множеством различных факторов и составом биоценоза ила и весьма нестабилен. Учесть все влияющие факторы в теоретическом обосновании для различного состава СВ проблематично.

Установлено, что воздействие ультразвука частотой 22±1 кГц в течение 10 мин. повышает дегидрогеназную активность АИ в 1,4–1,8 раз [58]. Механизм

действия ультразвука заключается в высвобождении биологически активных соединений (ферментов, витаминов, биополимеров) в результате частичного разрушения бактериальных клеток [59]. Поэтому, несмотря на увеличение окислительной способности АИ при обработке его ультразвуком, из-за разрушения части клеток микроорганизмов снижается концентрация АИ в биореакторе, что является значительным недостатком технологии.

Таким образом, рассмотренные технологии интенсификации механической и биологической очистки можно разделить на две большие группы:

- технологии, связанные с реконструкцией очистных сооружений;
- технологии, связанные с использованием реагентов или мутагенов.

Преимуществом первой группы является то, что кроме интенсификации процессов очистки, некоторые технологии также уменьшают количество образующихся осадков, что приводит к уменьшению мощностей сооружений по их обработке. Однако, большинство технологий первой группы, во-первых, имеют также и значительные недостатки, описанные ранее, во-вторых, их применение для очистных сооружений курортных зон нецелесообразно по причине того, что увеличение интенсивности работы требуется лишь на время курортного сезона, который длится 3–5 месяцев. Реконструкция с вложением значительных финансовых средств для увеличения мощностей сооружений, которые на протяжении большей части года не требуются, – не обоснована.

С этой точки зрения реагентная интенсификация более выгодна, так как ее можно использовать периодически при необходимости и нужно для этого только обустройство реагентного хозяйства и наличие реагентов. Однако, применение химических реагентов приводит к образованию загрязненных осадков, которые и без этого проблематично утилизировать.

Препараты, содержащие пробиотические бактерии (пробиотики) и предназначенные для интенсификации процессов механической и биологической очистки, можно условно отнести к классу реагентов с той поправкой, что они не содержат химических и минеральных загрязнителей и, соответственно, не сказываются отрицательно на качестве осадков. Более того, применение

пробиотиков не только интенсифицирует процессы очистки, но и способно уменьшить количество выделяемых осадков, а также оказывает другие благоприятные влияния, рассмотренные ниже.

1.4 Пробиотические средства и возможности их использования в области очистки сточных вод

Термин “пробиотик” (пер. с лат. *probio* – “для жизни”) предложен Lilly D. M. и Stilwell R. H. в 1965 г. в противоположность термину “антибиотик”, что означает “против жизни” [60].

Всемирная организация здравоохранения в 2002 г. дала следующее определение пробиотикам: “Пробиотики – это живые микроорганизмы, которые при применении в адекватных количествах вызывают улучшение здоровья организма-хозяина” [61;62].

По общепринятому определению пробиотики - это препараты, содержащие живые микроорганизмы и вещества микробного происхождения, оказывающие при естественном способе введения позитивные эффекты на физиологические, биохимические и иммунные реакции организма хозяина через стабилизацию и оптимизацию функций его нормальной микрофлоры [63–76].

Начало эре пробиотиков положил И. И. Мечников, предложивший в 1907 г. употребление молочнокислых продуктов, содержащих лактобациллы, для профилактики и лечения различных заболеваний желудочно-кишечного тракта, а также для предотвращения преждевременного старения и самоотравления организма [77].

В настоящее время пробиотические средства наиболее широко применяются в медицине и ветеринарии, благодаря обширному диапазону лечебно-профилактического действия и экологической безопасности.

Условно влияния пробиотических бактерий можно разделить на три группы: 1) антимикробная активность (бактерицидное воздействие); 2) улучшение барьерной функции слизистой оболочки кишечника; 3) иммуномодуляция [78].

Пробиотики обладают высокой антагонистической активностью против большого спектра патогенных и условно-патогенных бактерий, способностью быстро нормализовать микрофлору кишечного тракта, благоприятно влиять на физиологические, биохимические и иммунные реакции организма [79–83].

Согласно требованиям Продовольственной и Сельскохозяйственной организации при ООН (Food and Agriculture organization of the United Nations — FAO) и ВОЗ (2002 г.), микроорганизмы, входящие в состав пробиотика, должны быть непатогенными и нетоксичными; иметь генетический паспорт и доказательство генетической стабильности (быть чувствительными или иметь природную резистентность к антибиотикам), могли бы выживать в кишечнике; сохранять стабильность состава и жизнедеятельность в течение всего срока хранения; должны состоять из клеток, которые обладают высокой адгезивной и антагонистической способностью к патогенным, условно-патогенным микроорганизмам и не ингибируют нормальную микрофлору кишечника [84–89].

Применение препаратов нормальной кишечной микрофлоры или пробиотиков является общепринятым и традиционным методом коррекции дисбиотических нарушений [79;90–93].

Высокую эффективность пробиотических препаратов в медицине показывают многочисленные исследования в области гастроэнтерологии, дерматологии, акушерстве, гинекологии, стоматологии [79;94–102].

Пробиотики применяются в ветеринарии и животноводстве для лечебных и профилактических целей и показывают весьма впечатляющие результаты [90–91;103–105].

Основными пробиотиками являются микроорганизмы, продуцирующие молочную кислоту, — бактерии родов *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, а также *Escherichia*, *Enterococcus*, *Aerococcus* или непатогенные спорообразующие микроорганизмы, в основном, рода *Bacillus* и сахаромикеты [108].

Бифидобактерии (лат. *Bifidobacterium*) (от лат. *Bifidus* — разделённый надвое и бактерии) — род грамположительных факультативно анаэробных бактерий, представляющих собой слегка изогнутые палочки (длиной 2...5 мкм), иногда

ветвящиеся на концах; спор не образуют. Бифидобактерии составляют 80...90% кишечной флоры детей, находящихся на грудном вскармливании, и молодняка млекопитающих в подсосном периоде. Присутствие бифидобактерий подавляет развитие различных гнилостных и болезнетворных микробов, способствует перевариванию углеводов.

Бифидобактерии обладают антагонистической активностью по отношению к широкому спектру патогенных и условно патогенных бактерий за счет выработки органических жирных кислот. Их основное назначение – обеспечение быстрой нормализации микрофлоры кишечного тракта, также они используются для повышения неспецифической резистентности организма, стимуляции функциональной деятельности пищеварительной системы [64;67–69;109–110].

Лактобациллы (лат. *Lactobacillus*) – род грамположительных факультативно анаэробных или микроаэрофильных бактерий. Один из важнейших в группе молочнокислых бактерий, большинство членов которой превращают лактозу и другие углеводы в молочную кислоту. В большинстве случаев они непатогенны, многие виды выполняют положительную роль в питании человека. Многие виды принимают участие в разложении остатков растений. Они продуцируют молочную кислоту, а кислая среда препятствует росту многих патогенных бактерий и грибов.

Лактобациллы обладают широким спектром антагонистической активности за счет продукции органических кислот, микробного лизоцима, перекиси водорода и различных антибиотических веществ. Они синтезируют различные ферменты и витамины, принимающие участие в пищеварительной деятельности ЖКТ, обладают иммуномодулирующим действием [67;72;73;111–114].

Кишечная палочка (лат. *Escherichia coli*, *E. coli*, по имени Теодора Эшериха) – граммотрицательная палочковидная бактерия, факультативный анаэроб, не образует эндоспор, широко встречается в нижней части кишечника теплокровных организмов. Клетки *E. coli* палочковидные, со слегка закругленными концами. Кишечная палочка может жить на разных субстратах. В анаэробных условиях *E. Coli* образует в качестве продукта жизнедеятельности лактат, сукцинат, этанол,

ацетат и углекислый газ. Часто при этом образуется молекулярный водород, который мешает образованию указанных выше метаболитов, поэтому *E. Coli* часто сосуществует с микроорганизмами, потребляющими водород — например, с метаногенами или бактериями, восстанавливающими сульфат [115].

Большинство штаммов *E. Coli* безвредны и являются частью нормальной флоры кишечника человека и животных. Кишечная палочка приносит пользу организму хозяина, например, синтезируя витамин К [116], а также предотвращая развитие патогенных и условно патогенных микроорганизмов в кишечнике (шигелл, сальмонелл, протей и др.) [117;118].

Бактерии рода *Bacillus* являются строго аэробными или факультативно анаэробными грамположительными хемоорганотрофными микроорганизмами палочковидной формы, способными образовывать термоустойчивые эндоспоры. Бациллы вырабатывают антибактериальные вещества и являются антагонистами в отношении болезнетворных патогенов, способны продуцировать широкий спектр биологически активных веществ: ферментов (трансферазу, гидролазу, липазу, протеазу, амилазу и т. д.), расщепляющих жиры, углеводы и клетчатку, антибиотиков, инсектицидов. Бактерии рода *Bacillus* экологически безопасны [119–128].

Высокая приспособляемость к различным условиям существования (наличие или отсутствие кислорода, рост и развитие в значительном диапазоне температур, использование в качестве источников питания различных органических или неорганических соединений и т. д.) способствуют распространению бацилл в почве, воде, воздухе, пищевых продуктах и других объектах внешней среды, а также в организме человека и животных.

Разнообразие метаболических процессов, генетическая и биохимическая вариабельность, устойчивость к литическим и пищеварительным ферментам, послужили обоснованием использования бацилл в различных областях медицины. Управление по контролю за качеством продовольственных и лекарственных средств США, присвоило *Bacillus subtilis* статус GRAS (generally regarded as safe)

– вполне безопасных организмов, что является обязательным условием для применения этих бактерий в производстве лекарственных препаратов [129–137].

В отличие от медицины, ветеринарии и пищевой промышленности использование пробиотических средств для очистки СВ является сравнительно молодым направлением и не имеет, ни широкого применения, ни значительной изученности.

В настоящее время на мировом рынке представлены несколько наиболее крупных фирм, выпускающих пробиотические средства для очистки СВ, в том числе: Chrisal (Бельгия), Agranco Corp. (США), SCD Probiotics (США). Есть некоторые описания результатов их применения.

Так, например, на Бортнической станции аэрации г. Киева с июля по ноябрь 2011 г. изучалось влияние пробиотического средства PIP+WATER, производства бельгийской компании Chrisal, на процессы биологической очистки СВ [138].

Указанный препарат представляет собой жидкость, содержащую большое количество (6,36 млн на 1 мл) бактерий рода *Bacillus*: *Bacillus subtilis*, *Bacillus subtilis* var. *amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus megaterium*, и ферментов.

Лабораторные и полупроизводственные испытания пробиотического средства PIP+WATER осуществлялись на установках, моделирующих процессы движения СВ в канализационных коллекторах, первичного отстаивания и биологической очистки в аэротенках. На начальном этапе СВ предварительно обрабатывались пробиотиками дозой 40 мл на 1 м³, далее в течение 10–15 дней доза была снижена до 3–4 мл/м³.

Следует отметить, что возможность снижения дозы возникает в результате постепенного заселения, прикрепления пробиотических бактерий к стенкам сооружений и хлопьям ила. Теоретически подобное заселение должно происходить за время полного прохождения СВ по сооружениям. Однако, на работающих очистных станциях, из-за значительного количества адсорбированных на поверхности сооружений органических веществ и “местных” бактерий, процесс заселения может осуществляться более длительно. После окончания процесса

прикрепления можно постепенно снижать дозу пробиотика с определенным шагом (процентом от предыдущей дозы) до минимального значения, подаваемого препарата, которое будет компенсировать выносимое вместе с очищенной СВ количество пробиотических бактерий. Показателем успешного снижения дозы пробиотика является поддержание увеличенного эффекта очистки на уровне, достигнутом при начальной максимальной дозе. Введение пробиотического препарата с постепенным снижением дозы условно можно назвать режимом “насыщения”, а подачу его минимального количества, позволяющего поддерживать заданный эффект очистки, – режимом “поддержания”.

В ходе испытаний пробиотика PIP+WATER на Бортнических КОС получены следующие благоприятные результаты [138]:

- значительное снижение фекального запаха после 1 часа контакта СВ с пробиотиками и практически полное устранение запаха после 10–12 часов контакта;
- снижение ХПК после первичного отстаивания в среднем на 65% (снижение ХПК в первичных отстойниках на Бортнических КОС по среднегодовым данным составляет 24%);
- улучшение осаждаемости осадков: взвешенных веществ в осветленной воде становится меньше в среднем на 80% (на существующих КОС – около 50%);
- резкое снижение содержания азота аммонийного в биологически очищенной воде;
- уменьшение общего микробного числа на 2 порядка, количества кишечной палочки на 1 порядок;
- снижение концентрации сероводорода при добавлении пробиотических микроорганизмов после прохождения сточных вод в коллекторе составило в среднем 60% (что подтверждает способность пробиотиков снижать выделение дурно пахнущих, токсичных газов).

Гидробиологический контроль в процессе экспериментов отрицательного влияния пробиотического средства на микроорганизмы активного ила не выявил.

Производственные испытания PIP+WATER осуществлялись на очистной станции г. Кобеляки (Полтавская обл., Украина) [139]. Перед использованием пробиотика была изменена схема работы очистных сооружений: один из аэротенков был переоборудован в усреднитель, из которого СВ поступала в первичный отстойник и далее в аэротенк. Раствор пробиотического препарата подавался перед песколовками. Начальная доза составляла 10 мл/м³ и далее поэтапно была снижена до 2 мл/м³. Время пребывания СВ в аэротенке-усреднителе – 10–12 часов. Эффект от применения PIP+WATER на КОС г. Кобеляки аналогичный полученному в результате испытаний на Бортнических очистных сооружениях: на площадке КОС перестает ощущаться характерный запах; взвешенные вещества после первичного отстаивания снижаются в среднем на 70%, ХПК – на 45%; интенсифицируется процесс нитрификации. Кроме того, концентрация растворенного кислорода в иловой смеси увеличилась с 3,0...3,5 до 7,0...7,5 мгО₂/дм³.

Большим недостатком предложенной технологической схемы является задействование дополнительного аэротенка в качестве усреднителя, что требует дополнительного расхода воздуха для аэрации и увеличивает потребление электроэнергии.

Еще одним пробиотическим средством для очистки сточных вод является препарат “Оксидол”, разработанный компанией Agranco Corp. (США). Указанный препарат представляет собой высушенную смесь пробиотиков и ферментов-стимуляторов, предназначенных для быстрого разрушения органических веществ в СВ, что позволяет ускорить процессы их разложения и существенно снизить обычные анаэробные процессы, которые сопровождаются выделением неприятных запахов и токсичных газов (аммиака, сероводорода, метана). Кроме того, по утверждению производителя, “Оксидол” способствует выработке в очищаемой воде кислорода и тем самым создает возможность для частичного сокращения подачи воздуха в аэротенк и экономии электроэнергии.

В состав “Оксидола” входят бактерии родов: *Bifidobacterium Longum*, *Bifidobacterium Thermophilum*, *Bacillus Subtilus*, *Lactobacillus Acidophilus*, а также

ферменты: целлюлаза, протеаза, амилаза, пектиназа и фитаза. В 1 кг препарата содержится 90000 млн КОЕ каждого из четырех видов микроорганизмов.

В 2011 г. на КОС г. Череповца были осуществлены опытно-промышленные исследования по использованию “Оксидола” на стадиях механической и биологической очистки СВ [140;141]. Рабочий раствор препарата подавался в канал перед первичными отстойниками. Доза пробиотического средства составила 0,25 мг на 1 дм³ СВ на начальном этапе и далее была поэтапно снижена до 0,02 мг/дм³. Параллельно уменьшалось количество воздуха, подаваемого в аэротенки. За время исследования наблюдалась высокая эффективность снижения загрязнений по ХПК, БПК, N-NH₄, фосфору, взвешенным веществам. Кроме того, применение пробиотика позволило сократить расход воздуха, подаваемого в аэротенки, и уменьшить затраты на электроэнергию на 50%. Тем не менее, в приведенных исследованиях отсутствуют данные о концентрации загрязнений в СВ по этапам очистки до подачи “Оксидола” и во время введения, а также такие важные параметры процесса очистки, как время отстаивания, время аэрации, доза ила, иловый индекс, растворенный кислород в иловой смеси и т. д.

Американская фирма SCD Probiotics производит пробиотический препарат SCD Odor Away, предназначенный для снижения уровня запахов и интенсификации процессов очистки СВ в анаэробных и аэробных условиях, а также уменьшения объемов и улучшения структуры образующихся осадков.

Пробиотик SCD Odor Away использовался на очистной станции в г. Канзасе (США) с 2011 г. Раствор пробиотика вводился в СВ после первичного отстаивания. Суточная производительность очистных сооружений – около 500 м³/сут. В результате использования пробиотика объем образующихся осадков уменьшился на 68% [142].

Другое пробиотическое средство SCD Bio Klean было применено на очистных сооружениях г. Лович (Польша) в 2006 г. для уменьшения объемов образующихся осадков и повышения эффективности очистки сточных вод [143]. Пробиотик смешивался с АИ, отделенным после вторичного отстаивания. В результате использования пробиотика количество образующихся осадков

сократилось на 25%. Также наблюдалось улучшение качества очистки стоков по основным показателям (БПК очищенной воды снизилось с 13,2 до 7,37 мгО₂/дм³, ХПК – с 76,6 до 64,5 мгО₂/дм³, содержание взвешенных веществ – с 52 до 15 мг/дм³).

Обработка возвратного и избыточного АИ этим же пробиотическим препаратом на КОС г. Турек (Польша) в 2005–2008 гг. позволила получить очистку с показателями, сниженными на 40...65% от первоначальных. Кроме того, значительно уменьшился уровень неприятных запахов на КОС и появилась возможность отказаться от используемого ранее известкования избыточного АИ, так как он содержал меньше патогенных микроорганизмов и имел более стабилизированную структуру [144].

SCD Bio Klean применялся на очистной станции в г. Мохали (Индия) для экономии расхода электроэнергии на аэрацию [145]. В результате применения пробиотиков потребление электроэнергии удалось снизить в среднем на 54%. Показатели очистки при этом остались на прежнем уровне. Однако, неприятные запахи на площадке КОС были практически полностью устранены, а также наблюдалось снижение количества ИАИ.

Введение SCD Bio Klean в СВ кухонного производства позволило значительно уменьшить жировую пленку на поверхности воды в жироловушке [146].

SCD Pro Bio Balance и SCD Bokashi использовались для уменьшения запахов и снижения концентрированности и бактериальной загрязненности СВ в туристическом городе Картагене (Южная Америка) в мае-июле 2008 г. Растворы пробиотиков подавались в канализационные колодцы на самотечных коллекторах, по которым сточная жидкость поступала в КНС, перекачивающую СВ на очистные сооружения. Общая протяженность канализационных сетей составляла 21 км, продолжительность движения СВ по самотечным коллекторам до КНС – около 2,5 часов. Концентрации загрязнений в СВ до применения пробиотических препаратов составляли: БПК – около 400 мгО₂/дм³, ХПК – около 700 мгО₂/дм³. В результате применения пробиотиков концентрации загрязнений в

СВ, поступающей в насосную станцию, были значительно снижены: БПК – на 66%, ХПК – на 25%. Количество общих колиформ уменьшилось на 91%. Кроме того, уровень запаха сточной воды стал менее заметным [147].

Несмотря на перечисленные сведения, указывающие на эффективность пробиотиков фирмы SCD Probiotics, в материалах отсутствуют данные о важных технологических параметрах работы КОС во время применения пробиотических препаратов, поэтому невозможно сделать выводы насколько результативно будет их использование при различных температурных режимах, разном времени обработки, нагрузки на АИ и т. д.

В работе [148] изучалась способность пробиотического средства *Microman complex* и биоактиватора *Eparcyl pro* осуществлять очистку сточной воды фармацевтических производств.

Microman complex, производства Eurovix (Италия), – представляет собой смесь бактерий (с преобладанием видов *Bacillus*) и ферментов (липаза, целлюлаза, протеазы, амилаза, гемицеллюлаза, пектиназа и глюканаза) [149].

Eparcyl pro (Франция) - минеральная добавка с большой удельной площадью поверхности ($68 \text{ м}^2/\text{г}$), которая позволяет закрепляться на носителе большому числу бактерий. Препарат содержит минеральные микроэлементы (медь, цинк) для стимулирования деятельности бактерий, а также глину, содержащую микрополости, служащие специальными насадками – “гнездами” для бактерий, что способствует их размножению [150].

Эксперименты проводились на искусственной воде, показатели которой соответствовали показателям сточных вод фармацевтических производств (ХПК – $1000 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, рН – 8, мутность – $298 \text{ мг}/\text{дм}^3$ при 420 нм). Опыты осуществлялись в анаэробных условиях в сосудах Эрленмайера при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Жидкость в сосудах, содержащих *Microman complex*, подвергалась непрерывному перемешиванию.

Исследования проводились при разных дозах испытуемых средств: 2, 4 и $6 \text{ г}/\text{дм}^3$ и разных водородных показателях: рН = 4, 6 и 8. Пробы снимались через 1, 2, 3, 4, 6 и 12 часов с момента добавления тестируемых препаратов в рабочую

среду. В результате было обнаружено, что наибольший эффект снижения ХПК наблюдается при концентрациях препаратов 4 г/дм^3 и водородном показателе равном 6. В указанных условиях Micropan complex показывает эффект очистки 72% через 2 часа, 85% через 4 часа, 93% через 12 часов. Эффективность очистки Eragstyl pro более низкая: 52% через 2 часа, 75% через 4 часа и 75% через 12 часов.

Профессором Серпокрыловым Н. С. и Борисовой В. Ю. исследовалась эффективность бактериальных препаратов Би-ХЕМ Цесклин и Bacti-Bio 9500 [151;152]. Указанные препараты содержат в своем составе факультативно аэробные бактерии. Испытания проводились в лабораторных аэротенках с аэрацией и биореакторах без подачи воздуха. Процесс контролировался по эмиссии газов CO_2 и редокс-потенциалу. По количеству выделенного CO_2 оценивали потребление кислорода активным илом и его окислительную способность. В процессе исследований установлено, что изучаемые препараты интенсифицируют процессы деструкции органических загрязнений в аэробных условиях и в условиях низких значений окислительно-восстановительного потенциала (за счёт потребления нитратов).

В работе [153] тестировались биопрепараты Bacti-Bio и BCP-50. Исследования проводились в лабораторных условиях в модельных биореакторах различных типов: денитрификаторах, нитрификаторах, нитрификаторах с освещенностью красным и синим светом. Опыты длились 6 суток. Препараты вводились каждые сутки по 10 мл на 1 л СВ первые трое суток и по 20 мл на 1 л – оставшееся время. В результате исследований установлено, что введение препаратов увеличивает дозу ила по объему, что говорит о возрастании биомассы ила, и повышает прозрачность очищенной воды, что свидетельствует об улучшении качества очистки.

Препарат Bacti-Bio 9500 использовался для ускорения запуска промышленных очистных сооружений ТРЦ “МегаМаг” (г. Ростов-на-Дону). Доза препарата составила в среднем $0,77 \text{ г/м}^3$, введение осуществлялось в течение 9 суток. В результате определено, что применение препарата позволяет вывести очистную станцию на рабочий режим в течение 3–4 недель. При повторном

запуске КОС после аварии без введения препарата продолжительность наладки составила 45 суток, что в 1,5–2 раза больше [154].

В Национальном центре биотехнологии Казахстана (г. Астана) разработан микробиологический препарат “Тазасу”. Исследования препарата проводились на двух модельных биореакторах: с аэробным и анаэробным режимами. Препарат вносили дозой 1,5 млн. бактериальных клеток на 10 дм³ СВ. Показатели исходной СВ составляли: ХПК – 768 мгО₂/дм³, взвешенные вещества – 402 мг/дм³, БПК₅ – 165 мгО₂/дм³, азот аммонийный – 19 мг/дм³. Анализы обрабатываемых стоков осуществляли на 1, 5, 7 и 10-е сутки. Динамика очистки на 10-е сутки составила: по ХПК – 88%, по БПК₅ – 91%, по фосфору – 73,5%, по N-NH₄ – 94,3% [155]. Однако, для КОС выбранная длительность очистки слишком большая, соответственно по проведенным исследованиям невозможно судить о перспективности применения препарата для станций биологической очистки.

В Федеральном центре токсикологической, радиационной и биологической безопасности Министерства сельского хозяйства России разработан микробиологический препарат УФ-1 на основе почвенных микроорганизмов (*Actinomyces fradiae*-96 и *Candida krusei*-96). Для испытания указанный препарата вносили в резервуар с реальной СВ дозой 20 мл/м³. Продолжительность эксперимента составила 30 суток. Стоки анализировали перед проведением опытов и через каждые 10 суток. В исходной СВ ХПК составляло – 128 мгО₂/дм³, N-NH₄ – 105 мг/дм³, БПК – 99 мгО₂/дм³, взвешенные вещества – 78 мг/дм³, фосфаты – 32 мг/дм³. Показатели БПК₅ и ХПК на 10-е сутки эксперимента были снижены соответственно на 16,1 и 18,9%, N-NH₄ – на 21,6 %. На 20-е сутки сокращение количества фосфатов составило 72,1 %, БПК₅ – 74,8%, ХПК – 61,8%, N-NH₄ – 61,9%; количество общих колиформных бактерий уменьшилось на 71,0% [156]. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования препарата УФ-1 для обработки выгребных ям, септиков и т. д., но для интенсификации очистки сточных вод на КОС время, необходимое для обработки СВ, слишком большое.

Рассмотренные примеры использования пробиотических препаратов указывают их перспективность для достижения следующих целей:

- снижения образования токсичных, дурно пахнущих газов и уменьшения бактериальной загрязненности СВ (улучшение экологической ситуации на очистных сооружениях и канализационных насосных станциях, а также прилегающих к ним территориях);
- интенсификации очистки СВ без необходимости реконструкции очистных сооружений и значительных капитальных затрат;
- уменьшения количества сырых осадков и избыточного АИ;
- снижение расхода воздуха на аэрацию СВ;
- уменьшение расхода хлорреагента на обеззараживание очищенных СВ за счет антипатогенного действия пробиотических бактерий и снижения хлорпоглощаемости.

1.5 Механизм влияния пробиотических препаратов на процессы очистки сточных вод

Механизм влияния пробиотических препаратов заключается в биологическом воздействии пробиотических бактерий, а также ферментов, если таковые включены в состав препарата.

Как указывалось ранее, большинство пробиотиков содержат в своем составе, как правило, факультативно анаэробные бактерии (в основном родов *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*) и спорообразующие аэробные бактерии родов *Bacillus* (*Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* и т. д.). Первая группа бактерий воздействует на стадии механической очистки СВ при анаэробии, вторая группа – в процессе аэробной биологической очистки.

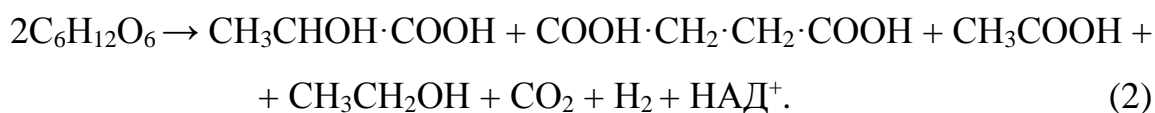
Бактерии родов *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* в анаэробных условиях осуществляют молочнокислое сбраживание углеводов (сахарозы, галактозы, фруктозы, мальтозы, мелибиозы, раффинозы, лактозы и др.) до молочной кислоты [100;112;114].

В случае гомоферментативного молочнокислого брожения углеводов основным выходным продуктом является молочная кислота (90%) [67;125]



Другие компоненты (ацетаты, ацетоин, этанол и т. д.) образуются в количестве до 10%.

При гетероферментативном молочнокислом брожении одновременно с образованием молочной кислоты (~50%) происходит накопление этилового спирта, CO_2 , уксусной и янтарной кислоты, этилового спирта и других продуктов [67;109]. Например, брожение глюкозы идет по следующей реакции



Выработка молочнокислыми бактериями органических кислот, а также большого количества биологически активных компонентов: антибиотиков, бактериоцинов, лизоцима, перекиси водорода, как и конкуренция за питательные ингредиенты и сайты адгезии приводит к подавлению роста и вытеснению из питательной ниши патогенных и условно-патогенных, а также гнилостных бактерий, что приводит к торможению процессов анаэробного гниения, сопровождающихся выделением газов [64;72;73;109;110].

При подаче пробиотических бактерий в схеме биологической очистки стоков перед первичным отстаиванием в отстойниках снижаются процессы гниения и уменьшается выделение токсичных газов, а также происходит частичное обеззараживание среды от патогенов. Снижение образования и всплывания газов в отстойниках интенсифицирует процесс отстаивания, а также приводит к повышению плотности сырого осадка.

Жизнедеятельность бактерий рода *Lactobacillus* приводит к образованию в рабочей среде пероксида водорода [100]. Накопленный в процессе первичного отстаивания H_2O_2 далее поступает в аэротенки. В аэробных условиях перекись водорода под действием каталазы, имеющейся у аэробных и факультативно-

анаэробных бактерий, разлагается на воду и атомарный кислород, который далее преобразуется в молекулярный



Кроме того, перекись водорода может использоваться аэробными и факультативно-анаэробными бактериями непосредственно для окисления органического субстрата с помощью фермента – пероксидазы



где R – окисленный органический субстрат.

Использование перекиси водорода для окисления органики и получения кислорода приводит к повышению концентрации растворенного O_2 в иловой смеси аэротенков. Вероятно, торможение гнилостных процессов в первичном отстойнике соответственно уменьшает темпы снижения окислительно-восстановительного потенциала СВ. Поступление СВ с более высоким окислительно-восстановительным потенциалом в аэротенк требует меньше времени для ее насыщения кислородом, что также сказывается на повышении концентрации O_2 .

Интенсификация процесса биологической очистки СВ осуществляется за счет деятельности аэробных бактерий, а также готовых ферментов, содержащихся в препаратах.

Аэробные бактерии рода *Bacillus* вырабатывают широкий спектр ферментов: оксидоредуктаз, трансфераз, гидролаз (липаз, протеаз, амилаз, лизоцима, целлюлаз, фитаз, пектиназ), лиаз [119;120;124;131]. Большое количество продуцируемых ферментов обуславливает способность пробиотических бактерий быстро разрушать органические вещества СВ, включая высокомолекулярные трудноразлагаемые, интенсифицируя процессы очистки. Перечень ферментов с описанием их действия приведен в таблице 1.5.

Род *Bacillus*, как и остальные пробиотики, за счет производства антибиотиков, инсектицидов и других биологически активных веществ, обладает антагонистической активностью к патогенным бактериям и способен вытеснять их из рабочей среды, частично ее обеззараживая [120;123;128;129].

Таблица 1.5 – Перечень ферментов, вырабатываемых бактериями рода *Bacillus subtilis*, и описание их действия

Ферменты	Описание
Трансферазы	Класс ферментов, катализирующих перенос функциональных групп и молекулярных остатков от одной молекулы к другой. Участвуют в превращениях углеводов, липидов, нуклеиновых и аминокислот. Реакции, катализируемые трансферазами, в общем случае выглядят так: $A-X + B \leftrightarrow A + B-X,$ молекула А – донор группы атомов (Х), молекула В - акцептор группы.
Оксидо-редуктазы	Ферменты, катализирующие реакции биологического окисления, сопровождающиеся переносом электронов с одной молекулы (донора электронов) на другую (акцептор электронов). Реакции, катализируемые оксидоредуктазами, в общем виде выглядят так: $A^- + B \rightarrow A + B^-$ где А — восстановитель (донор электронов), а В — окислитель (акцептор электронов)
Гидролазы	Класс ферментов, катализирующих гидролиз ковалентной связи. Общий вид реакции, катализируемой гидролазами, выглядит следующим образом: $A-B + H_2O \rightarrow A-OH + B-H$
Лиазы	Ферменты, катализирующие реакции негидролитического и неокислительного разрыва различных химических связей (С–С, С–О, С–N, С-S и других) субстрата.

Способность бактерий рода *Bacillus* вырабатывать витамины, аминокислоты и биологически активные вещества, стимулирующие активность бактерий АИ, а также тот факт, что пробиотики окисляют трудноразлагаемые органические вещества, облегчая работу и уменьшая нагрузку на АИ, приводят к интенсификации процесса биологической очистки.

Учитывая комплексное влияние пробиотиков на процессы очистки СВ, а также экологическую безвредность, их применение на канализационных очистных сооружениях курортных зон более целесообразно по сравнению с технологиями, требующими значительной реконструкции КОС, или реагентами, имеющими одностороннюю направленность и приводящими к загрязнению осадков.

Однако, использование пробиотиков в процессах очистки СВ малоизученное направление, которое только начинает развиваться. Отсутствует достаточная научная и научно-практическая база, сравнительные исследования различных пробиотиков, методики расчета необходимых доз пробиотических

препаратов для получения заданного эффекта очистки в зависимости от влияющих факторов и т.д.

Тем не менее, на основании приведенного литературного обзора можно сделать заключение о том, по какой схеме целесообразно осуществлять введение пробиотиков. Принципиально возможны три варианта введения пробиотических препаратов: перед песколовками, перед первичными отстойниками и непосредственно на стадии биологической очистки.

При подаче пробиотиков перед песколовками часть бактерий прикрепляется к минеральным взвешенным частицам и вместе с ними оседает в песковых бункерах. Вероятно, это оказывает благоприятное воздействие на осадок песколовок и процесс его обезвоживания, но в то же время уменьшается количество пробиотических бактерий, поступающих в последующие сооружения. Учитывая, что утилизация обезвоженного песка не является проблематичной, данный вариант введения нецелесообразен.

Подача перед первичными отстойниками приводит к интенсификации процесса отстаивания, снижению запаха СВ и объема сырого осадка. Конечно, часть пробиотических бактерий выпадает в осадок вместе со взвешенными веществами, но именно это позволяет снизить его влажность и объем. Кроме того, антагонистичность пробиотиков по отношению к болезнетворным бактериям и их способность окислять органические вещества позволяют выполнить частичное обеззараживание и стабилизацию сырого осадка. Конечно, количество пробиотиков, которое поступает в биореактор и влияет на биологическую очистку, при этом снижается, зато увеличивается время контакта пробиотиков со сточной водой за счет времени отстаивания минимум на 1,5–2 часа. Эффект воздействия пробиотических препаратов на процессы очистки носит биологический характер, поэтому, чем большее время отведено на контакт пробиотических бактерий со сточной жидкостью, тем больший эффект воздействия будет получен.

Третий вариант – введение пробиотиков на стадии биологической очистки. В этом случае все количество подаваемого пробиотического средства

гарантированно попадает в биореактор, что приводит к интенсификации процесса биологической очистки и уменьшению количества избыточного ила. Однако, при этом время контакта пробиотика со СВ уменьшается, по сравнению со вторым вариантом, и концентрация загрязнений в осветленной сточной жидкости после первичного отстаивания остается на прежнем уровне.

Из приведенных трех вариантов рациональным является подача пробиотиков перед первичным отстаиванием, так как этот вариант оказывает комплексное воздействие на процессы очистки. Снижение дозы пробиотика, попадающего в биореактор, вследствие осаждения в первичных отстойниках компенсируется за счет предварительного контакта пробиотиков со СВ в отстойниках и интенсификации процесса первичного отстаивания. Кроме того, снижается уровень запаха в первичных отстойниках (а именно эти сооружения выделяют наибольшее количество токсичных газов) и уменьшается объем сырого осадка.

1.6 Постановка задачи исследований

Для широкого использования пробиотических препаратов на КОС курортных населенных пунктов необходимы систематизированные исследования, а именно:

- сравнительные испытания различных пробиотических препаратов для определения наиболее эффективного и оптимального;
- экспериментальные исследования для получения математических моделей увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки СВ при введении наиболее эффективного пробиотика,
- эксперименты по определению рациональных параметров режима введения наиболее эффективного пробиотика, закономерностей его влияния на количество образующихся осадков, концентрацию растворенного кислорода;

- промышленные испытания наиболее эффективного пробиотика на КОС для определения его влияния на процессы очистки, оценка экономической эффективности применения;
- разработка методики расчета технологической схемы очистки СВ с применением пробиотика.

1.7 Выводы по первому разделу

1. Проанализирован режим работы очистных сооружений курортных населенных пунктов, определена необходимость применения интенсифицирующих технологий во время повышения нагрузки на КОС.

2. Обосновано применение пробиотиков как наиболее оптимальный метод интенсификации работы КОС курортных населенных пунктов, так как данная технология не требует реконструкции сооружений и не приводит к дополнительному загрязнению осадков, экологически безопасна.

2. Применение пробиотических препаратов способно оказывать комплексное воздействие на процессы очистки: снижать процессы гниения в СВ, интенсифицировать механическую и биологическую очистку СВ, уменьшать количество ОСВ, а также позволяет снижать расход воздуха на аэрацию.

3. Введение пробиотиков целесообразно осуществлять перед первичным отстаиванием, так как это приводит к торможению анаэробных процессов гниения СВ в первичных отстойниках, увеличению эффекта отстаивания и уменьшению объемов сырого осадка.

4. Анализ опыта использования пробиотиков указывает на отсутствие достаточной научно-технической базы, методов расчета применения пробиотиков, что обуславливает необходимость проведения комплексных исследований влияния пробиотиков на процессы очистки СВ.

РАЗДЕЛ 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Объекты исследований

В лабораторных условиях исследовалось влияние нескольких пробиотических препаратов на процессы очистки СВ при их введении перед первичным отстаиванием.

Опыты осуществлялись на реальной СВ и АИ, отобранными на КОС г. Селидово. Данные очистные сооружения были выбраны потому, что СВ, поступающая на очистку, содержит загрязнения в повышенных концентрациях: взвешенные вещества и БПК₅ в пределах 270...300 мг/дм³, азот аммонийный – 50...65 мг/дм³, а в проводимых опытах необходимо было смоделировать ситуацию, когда нагрузка на АИ по загрязняющим веществам высокая и окислительной способности недостаточно для очистки сточной жидкости до установленных норм. Состав сточной воды приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Состав СВ, на которой проводились эксперименты

Показатели	Ед. изм.	Значение	
		Максимальное	Минимальное
рН	ед.	8,10	7,65
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	294	270
ХПК	мгО ₂ /дм ³	470	435
Взвешенные вещества	мг/дм ³	296	272
Азот аммонийный	мг/дм ³	63	50
Нитриты	мг/дм ³	–	–
Нитраты	мг/дм ³	–	–
Фосфаты	мг/дм ³	10	14
Сухой остаток	мг/дм ³	1015	1130
СПАВ	мг/дм ³	0,8	1,3
Сульфаты	мг/дм ³	342	307

Перечень пробиотиков, участвующих в экспериментах, представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Пробиотические препараты и их состав

Название пробиотика	Производитель	Состав
PIP+WATER	Chrizal (Бельгия)	Бактерии рода <i>Bacillus</i> : <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> var. <i>amyloliquefaciens</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , <i>Bacillus megaterium</i> и ферменты. Численность бактерий - 6,36 млн КОЕ на 1 мл препарата.
SCD Bio Klean	SCD Probiotics (США)	Молочнокислые пробиотические культуры бактерий, тростниковая патока, микробиальная масса рисовых отрубей, минеральная пудра, морская соль, сок нони, смесь лаванды, кожуры апельсина, кожуры лимона.
Microbec	Bros Sp. (Польша)	Пробиотические бактерии и ферменты.
Оксидол	Agranco corp. (США)	Бактерии родов: <i>Bifidobacterium Longum</i> , <i>Bifidobacterium Thermophilum</i> , <i>Bacillus Subtilus</i> , <i>Lactobacillus Acidophilus</i> , а также ферменты: целлюлаза, протеаза, амилаза, пектиназа и фитаза. В 1 кг препарата содержится 90000 млн КОЕ каждого из четырех видов микроорганизмов.
Водограй+ очистные сооружения	Biosystems Europe (Великобритания)	Пробиотические бактерии и ферменты.

Выбор приведенных в таблице 2.2 пробиотических препаратов для участия в эксперименте основан на проведенном литературном обзоре и сведениях об их эффективном использовании.

Лабораторные исследования выполнялись в несколько этапов, на каждом из которых решались следующие задачи:

1. На первом этапе осуществлены сравнительные испытания выбранных пробиотиков для определения наиболее эффективного и оптимального препарата.

2. Второй этап предусматривал расширенные исследования интенсификации процессов очистки СВ выбранным наиболее эффективным

пробиотиком для определения математических зависимостей (моделей) увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки от основных влияющих факторов.

3. Поскольку особенностью и “выгодностью” применения пробиотических препаратов является возможность постепенного снижения дозы до определенного минимального значения, на третьем этапе осуществлялись исследования по определению рациональных параметров режима введения пробиотика: шага снижения дозы, необходимой продолжительности подачи пробиотика постоянной дозой и минимальной дозировки, при которой достигнутый эффект очистки сохраняется. Кроме того, на третьем этапе планировалось изучить влияние пробиотика на количество образующихся осадков, структуру и микробиоценоз ила и определить возможность снижения подачи воздуха в биореактор.

Первые два этапа экспериментов осуществлялись в статическом режиме, третий в динамическом (проточном) режиме.

Приготовление рабочих растворов пробиотиков осуществляли в соответствии с рекомендациями фирм-производителей следующим образом:

1. PIP+Water (жидкий препарат) добавляли в предварительно отстоянную в течение суток и подогретую до 37°C водопроводную воду в соотношении 1:100. Перемешивали полученную смесь и выдерживали в термостате при указанной температуре в течение 2 часов. После этого раствор PIP+Water был готов к применению. Активность приготовленного раствора сохраняется до двух суток.

2. SCD Bio Klean (жидкий препарат) добавляли в дехлорированную водопроводную воду, подогретую до 20°C, которую смешивали с жидким препаратом в соотношении 1:100. Через два часа раствор готов к использованию.

3. Microbes (лиофилизированная смесь пробиотических бактерий и ферментов). Пять граммов порошка засыпали в водопроводную отстоянную в течение суток воду, перемешивали и давали раствору созреть в течение суток при температуре около 20°C.

4. Для приготовления рабочего раствора “Оксидола” (сухой порошок) использовали предварительно отстоянную в течение суток воду, в которую

добавляли порошок в соотношении 1 г на 5 дм³ воды и тщательно перемешивали. Полученный раствор выдерживали при комнатной температуре в течение суток, после чего раствор был готов к применению.

5. “Водограй+очистные сооружения” (порошковая смесь пробиотических бактерий и ферментов). Приготовление рабочего раствора осуществляли, помещая 1 г порошка в 1 дм³ отстоянной водопроводной воды. Температура воды была на уровне 20°C. Раствор тщательно перемешивали и давали созреть одни сутки.

2.2 Методика проведения лабораторных исследований интенсификации очистки сточных вод с помощью пробиотических средств в статическом режиме

Основной задачей лабораторных опытов, проводимых в статическом режиме, являлось определение степени увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки при введении пробиотиков перед первичным отстаиванием. Для определения увеличения эффекта очистки все опыты осуществлялись с добавлением пробиотического средства и без добавления (контроль).

Сточную воду, отобранную на очистных сооружениях перед первичными отстойниками, помещали в цилиндрические емкости ($W=2$ дм³) с конусным дном. В данных емкостях моделировалась работа первичных отстойников. При этом важно было учесть два фактора: 1) выдержать время, необходимое пробиотическим микроорганизмам для обработки воды (в реальных отстойниках время отстаивания – не менее 1,5 часов [157,158]); 2) смоделировать сам процесс отстаивания, аналогичный протекающему в первичных отстойниках.

Общая рабочая глубина емкости – 0,4 м, диаметр – 8 см. Рабочая глубина радиального или горизонтального отстойника равна в среднем трем метрам.

Для пересчета времени отстаивания в реальном отстойнике и в модельной емкости пользовались условием седиментационного подобия [159,160]

$$\frac{T_{отст}}{t_{отст}} = \left(\frac{H}{h} \right)^n, \quad (5)$$

где $T_{отст}$ и $t_{отст}$ – время отстаивания соответственно в промышленном отстойнике и лабораторной модели;

H и h – рабочая высота соответственно реального отстойника и лабораторной модели,

n – показатель степени в седиментационном подобии, отражающий способность взвеси к агломерации в процессе отстаивания, для городских СВ принимается 0,2...0,4 [153;154].

Время отстаивания для имеющихся лабораторных емкостей по критерию седиментационного подобия должно составлять

$$t_{отст} = \frac{1,5}{(3/0,4)^{0,2}} = 1 \text{ час.}$$

Чтобы выдержать оба условия пользовались следующей схемой. Сточную жидкость заливали в емкости №1 и №2 (условно – первичные отстойники). Далее в емкость №1 добавляли готовый раствор пробиотика заданной концентрации и перемешивали. Емкость №2 – контрольная (без добавления пробиотика). Сточная вода находилась в отстойниках 30 мин. без перемешивания, после чего ее тщательно перемешивали и давали отстояться заданные 60 мин. После отстаивания из конусных частей отстойников через специальные отверстия выпускали осевший осадок. В итоге общее время обработки сточной жидкости пробиотическим средством составляло 1,5 часа, а время отстаивания соответствовало времени отстаивания в реальных отстойниках.

На этом этапе механическую очистку завершали и начинали этап биологической очистки АИ, предварительно отобрав часть осветленной жидкости для анализов (400 мл). После отбора воды для проб в емкостях оставалось около 1,5 дм³ сточной воды. Далее в каждую емкость заливали 400 мл активного ила. Доза ила по сухому веществу в получившейся иловой смеси составляла в среднем 2,5...3,0 г/дм³, по беззольному веществу 1,8...2,0 г/дм³. После добавления ила

иловую смесь в емкостях аэрировали с помощью аквариумных компрессоров. В качестве системы аэрации использовались аквариумные диспергаторы, помещаемые в низ конусной части. Концентрация растворенного кислорода в иловых смесях составляла $2,5 \dots 3,5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$.

По истечении заданного времени аэрации подачу воздуха прекращали и отстаивали иловую смесь 1 час 20 мин., что соответствует времени отстаивания во вторичном отстойнике с $H_p=3\text{м}$ в течение 2 часов. После отстаивания отбирали 500 мл надиловой воды на анализ.

Осветленную СВ анализировали на взвешенные вещества (ВВ), БПК₅, азот аммонийный. Исходную и биологически очищенную воду анализировали на те же показатели, а также ХПК, содержание нитритов, нитратов, фосфатов. Кроме этого, определяли дозу ила по объему и по сухому веществу, зольность ила, концентрацию растворенного кислорода, водородный показатель. Фиксировали уровень запаха в исходной, осветленной и биологически очищенной воде. Периодически осуществляли гидробиологические наблюдения за состоянием микробиоценозов активных илов.

Эффективность очистки (или процент снижения загрязнений) \mathcal{E} , %, по всем ингредиентам определяли по стандартной формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $C_{\text{вх}}$ и $C_{\text{вых}}$ – концентрации ингредиента во входящей и выходящей сточной воде соответственно.

2.3 Методика проведения лабораторных исследований интенсификации очистки сточных вод с помощью пробиотических средств в динамическом режиме

На третьем этапе лабораторных исследований определялись рациональные параметры режима введения пробиотика, показавшего максимальную

эффективность на первом этапе исследований. Требовалось определить оптимальный шаг снижения дозы пробиотического средства, продолжительность подачи одной дозой, минимальную дозировку в режиме “поддержания” и, кроме того, установить закономерности влияния пробиотика на образование осадков, содержание растворенного кислорода в иловой смеси, структуру и микробиоценоз АИ.

Для решения поставленных задач необходимо проведение опытов в проточном режиме. Для этого были смонтированы две идентичные проточные лабораторные установки очистки сточной жидкости – №1 и №2. Установка №1 предназначалась для работы с подачей раствора пробиотика, установка №2 – контрольная.

Для работы установок установлена емкость хранения сточной жидкости объемом 100 л. С целью предотвращения выпадения взвешенных веществ в осадок, емкость оборудовалась механической мешалкой с двумя лепестками, приводимой в движение двигателем с редуктором. Скорость вращения лепестков составляла 8,7 об/мин.

Сточную воду из емкости в установки очистки перекачивали два перистальтических насоса GMSPS 4L. Максимальная производительность указанных насосов – 1,3 дм³/ч. Количество сточной воды, подаваемой на каждую линию очистки, составляло 200 мл/ч, степень открытия насосов: $200/1300=15,5\%$.

Каждая установка состояла из первичного вертикального отстойника и аэротенка с илоотделителем.

Раствор пробиотика подавался в линию №1 перед первичным отстойником с помощью перистальтического насоса GMSPS 4L (степень открытия насоса 1%, расход 13 мл/ч).

Первичные отстойники выполнены с поперечной перегородкой и конусом в нижней части для сбора и удаления осадка. Форма первичных отстойников в плане квадратная. Объем – 300 мл. Фактическое время отстаивания в них при заданном расходе составляет: $300\text{мл}/200\text{мл/ч}\approx 1,5$ часа. Время контакта сточной воды с пробиотиком обеспечено.

Рабочая глубина модельных отстойников – 15 см. Согласно условию седиментационного подобия (формула 5) 1,5 часа отстаивания в имеющемся лабораторном отстойнике равно 2,7 часам отстаивания в реальном отстойнике с рабочей глубиной 3 м

$$T_{отст} = t_{отст} \left(\frac{H}{h} \right)^{0,2} = 1,5 \left(\frac{3}{0,15} \right)^{0,2} \approx 2,7 \text{ часа}$$

После первичных отстойников осветленные стоки самотеком поступали в аэротенки объемом 1,8 дм³. Так как расход сточной воды составляет 200 мл/ч, то время аэрации равно: 1800мл/200мл/ч=9 часов.

Сточная вода в аэротенках аэрировалась с помощью аквариумных компрессоров. На каждый из двух аэротенков воздух подавался одним компрессором. В качестве системы аэрации выступали аквариумные распылители и соединяющие их резиновые трубки. Количество воздуха, подаваемого в аэротенк, определялось с помощью двух лабораторных реометров типа РКС-1-0,25 ГОСТ 9932-75 (диапазон измерения 0...0,25 дм³/мин.) [161], включенных в систему подачи воздуха каждого аэротенка.

В конце аэротенков выполнены илоотделители объемом 250 мл. Рабочая глубина — 10 см. Время пребывания иловой смеси в илоотделителе 250/200=1,25 часа. По условию седиментационного подобия (формула 5) 1,25 часа отстаивания в лабораторном илоотделителе равно 2,5 часам отстаивания в реальном отстойнике или илоотделителе с рабочей глубиной 3 м.

В верхней части илоотделителей установлены водосборные металлические трубки с продольной щелью для сбора и отвода очищенной воды. После илоотделителей очищенная сточная жидкость поступала в накопительные емкости №1 и №2, из которых отбиралась вода на анализ.

Схема установки очистки № 1 с подачей раствора пробиотика представлена на рисунке 2.1. Контрольная установка №2 аналогична первой, но без подачи пробиотика.

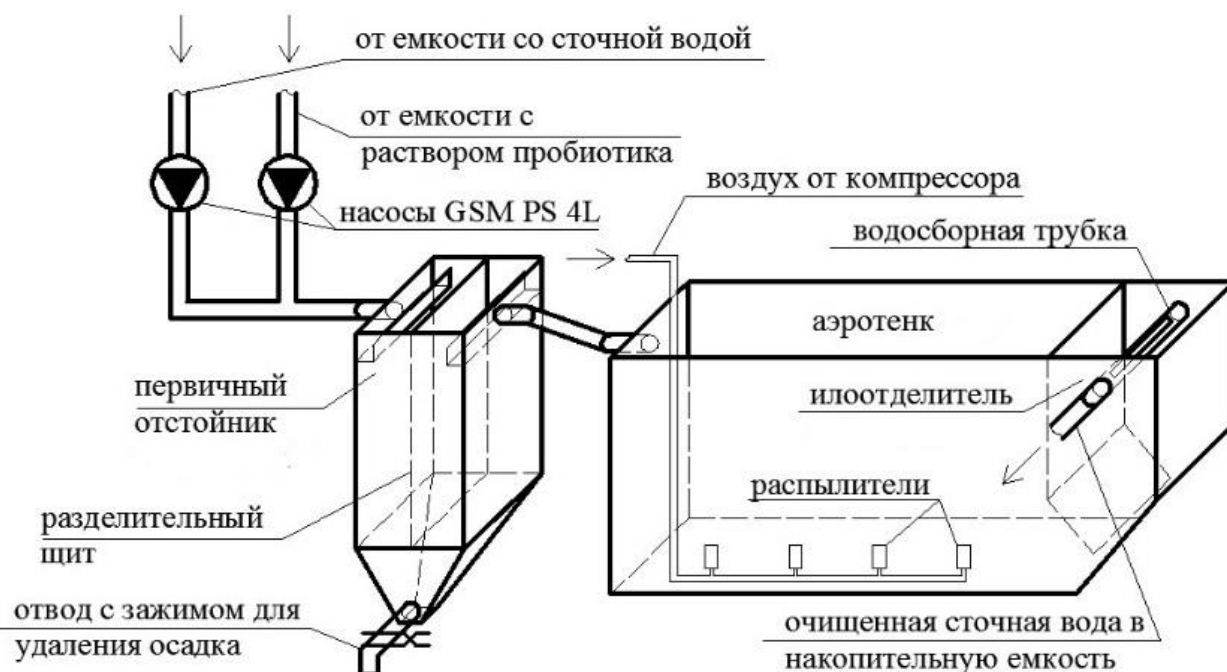


Рисунок 2.1 – Схема лабораторной установки №1

2.4 Методики контроля состава сточных вод, параметров работы аэротенков и биомассы микроорганизмов

Показатели загрязненности сточной воды и контролируемые параметры процесса биологической очистки определялись по стандартным методикам [162;163–172].

Взвешенные вещества и доза ила по сухому веществу определялись гравиметрическим методом [167;173]. Активная реакция среды измерялась электрометрическим методом [166] с помощью рН-метра рН-150МИ и электрода ЕСК-10603/7. Азот аммонийный анализировался фотоколориметрически с реактивом Неслера с отгонкой аммиачного газа и последующим титрованием [163], азот нитритов – фотоколориметрически по Гриссу [170], азот нитратов – фотоколориметрически с натрием салициловокислым в присутствии серной кислоты [169], величина БПК – методом разбавления титриметрически [165], ХПК – бихроматным титриметрическим методом [168]. Фосфаты определялись фотоколориметрически с молибдатом аммония в кислой среде [164], растворенный кислород – титриметрически [171], температура сточной воды –

прямым измерением ртутным термометром (цена деления $0,1^{\circ}\text{C}$) [172]. Уровень запаха в сточной воде определяли при температуре $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ в соответствии с методикой [174]. Гравиметрические анализы выполняли с помощью весов аналитических AXIS (2 кл. точности), фотоколориметрические – на фотоколориметре КФК-3. Состав и состояние биоценозов активного ила изучались с помощью микроскопирования на тринокулярном приборе UlabXSP-139TLED по методике [175]. Химические и бактериологические анализы в лабораторных опытах проводились в Донбасском Региональном Испытательном Центре Воды ЦКИПВЛ КП “Компания “Вода Донбасса” (свидетельство о гос. аттестации №065445324/3 ГОМС).

РАЗДЕЛ 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ПРОБИОТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

3.1 Исследование способности различных пробиотических средств интенсифицировать процессы очистки сточных вод

Методика проведения экспериментов по испытанию пробиотических препаратов, список пробиотиков и способы приготовления растворов подробно описаны в предыдущей главе. Продолжительность аэрации СВ с АИ составляла 8 часов. Температура СВ поддерживалась на уровне $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Анализ литературных данных показал, что в начале введения пробиотиков требуется подавать относительно “высокие” их дозы (режим “насыщения”) и далее постепенно снижать с определенным шагом до минимальной дозы, при которой эффект от использования препарата сохранятся (режим “поддержания”). На данном этапе в исследованиях препараты вводили в начальных дозах, рекомендованных производителями.

Дозы пробиотиков составляли:

- RIP+Water (жидкий препарат) – 40 мл/м^3 ;
- SCD Bio Klean (жидкий препарат) – 30 мл/м^3 ;
- Microbec (сухой препарат) – 9 г/м^3 ;
- Оксидол (сухой препарат) – $0,3 \text{ г/м}^3$;
- “Водограй+очистные сооружения” (сухой препарат) – 20 г/м^3 .

Всего осуществлено по пять экспериментов с каждым видом пробиотика. По результатам опытов вычислены средние значения увеличения эффекта очистки ($\Delta\text{Э}$) и построены доверительные интервалы для математического ожидания генеральной совокупности с уровнем доверительной вероятности — 0,95. Усредненные значения повышения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки с указанием верхних и нижних границ доверительных интервалов приведены на диаграммах (Рисунки 3.1–3.6).

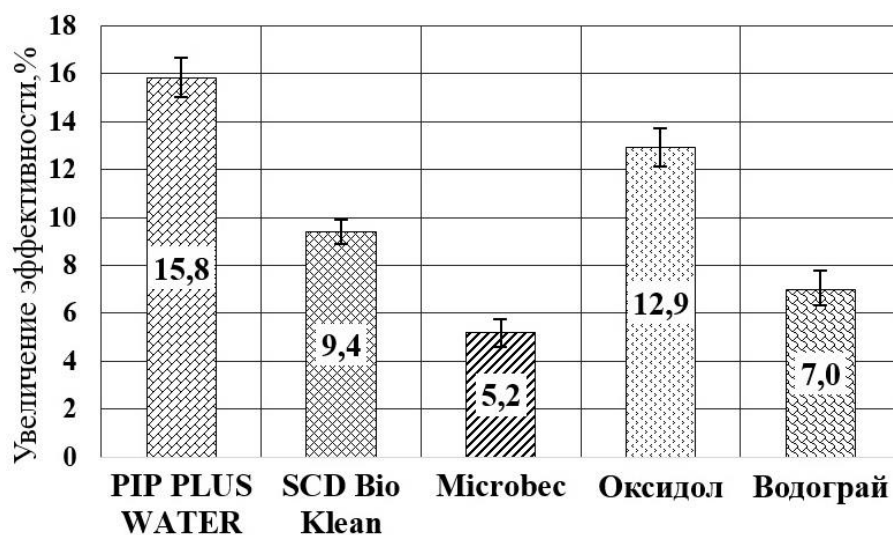


Рисунок 3.1 – Увеличение эффективности снижения БПК₅ при первичном отстаивании

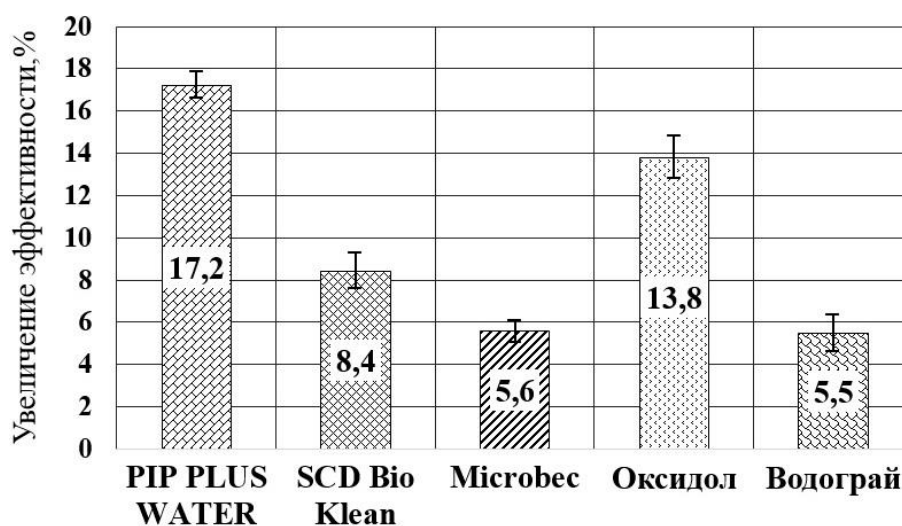


Рисунок 3.2 – Увеличение эффективности первичного отстаивания по взвешенным веществам

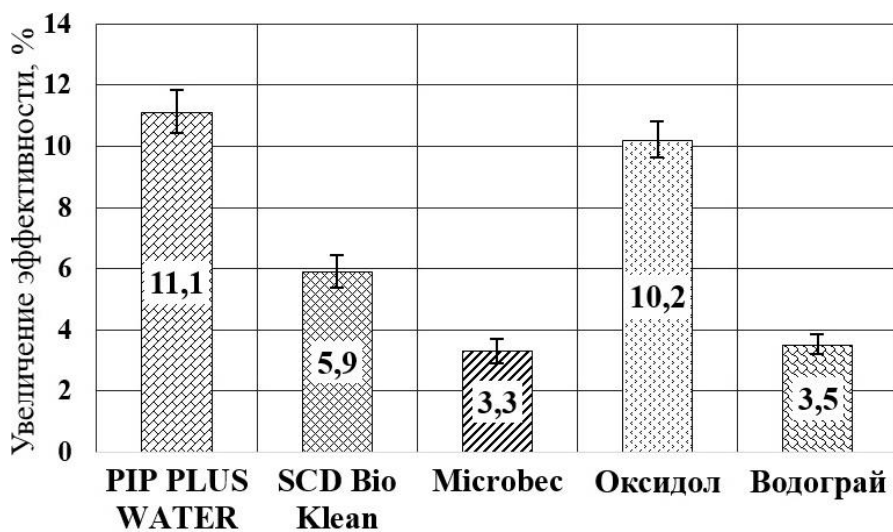


Рисунок 3.3 – Увеличение эффективности биологической очистки по БПК₅

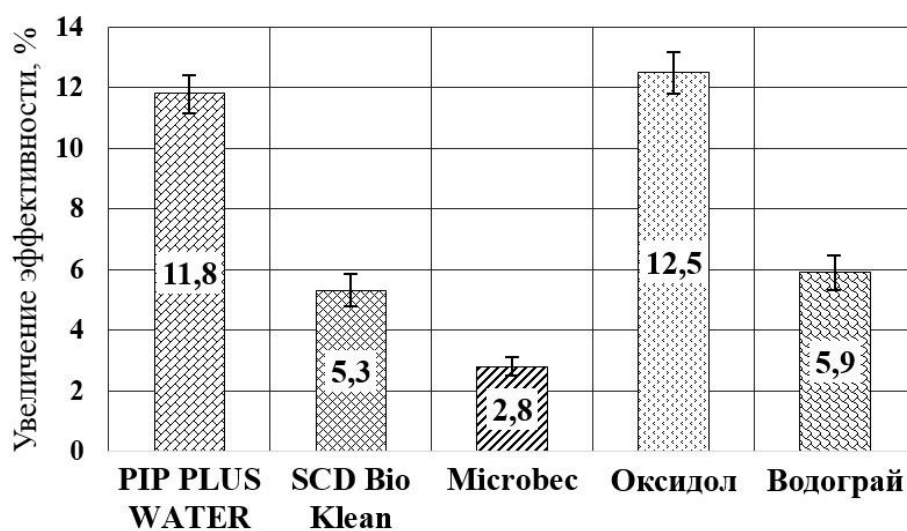


Рисунок 3.4 – Увеличение эффективности биологической очистки по взвешенным веществам

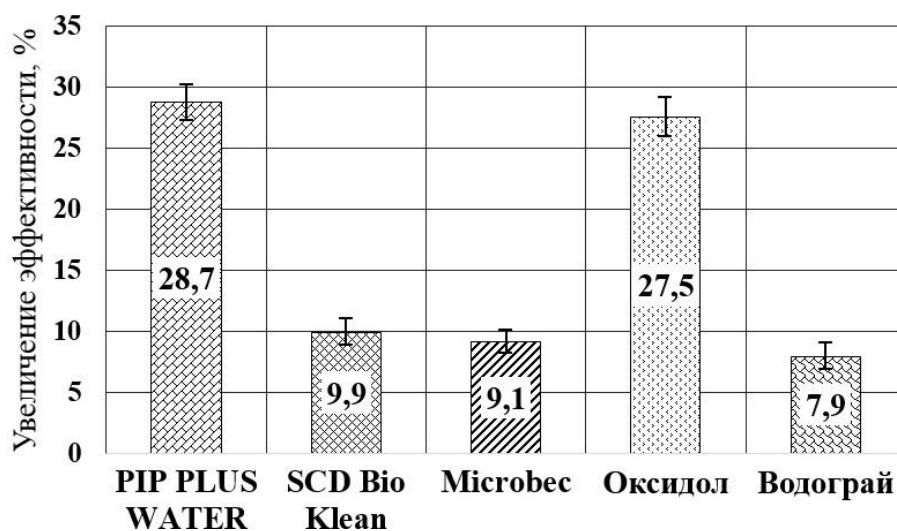


Рисунок 3.5 – Увеличение эффективности биологической очистки по азоту аммонийному

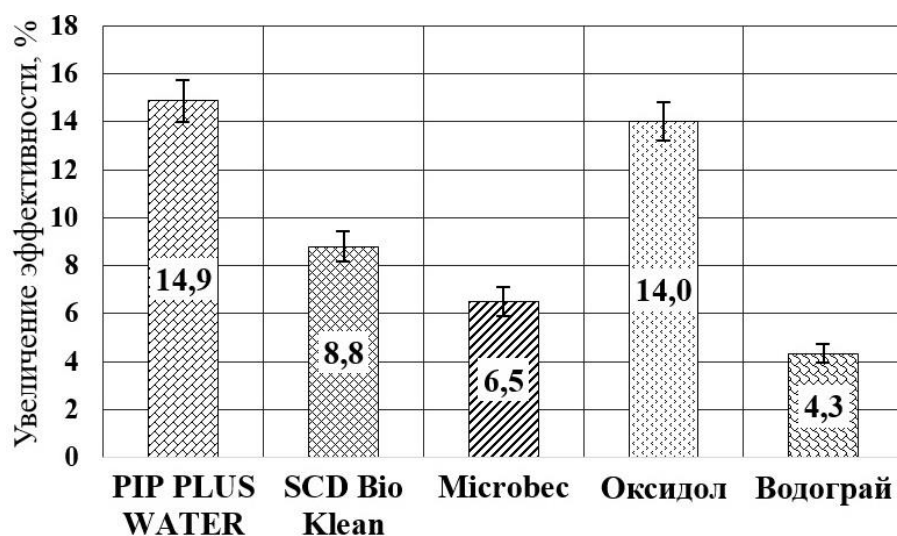


Рисунок 3.6 – Увеличение эффективности биологической очистки по ХПК

Усредненные результаты опытов в виде табличных данных приведены в приложении А. Расчет доверительных интервалов приведен в приложении Б.

По результатам исследований наиболее эффективными пробиотиками оказались RIP+WATER и “Оксидол”, наименее эффективным – Microbes.

При введении RIP+WATER увеличение эффективности очистки составляет:

- первичного отстаивания: по БПК₅ – 15,8%, по ВВ – 17,2%;
- биологической очистки:
 - по БПК₅ – 11,1% (разница с контролем – 29 мгО₂/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 12 мгО₂/дм³;
 - по ВВ – 11,8% (разница с контролем – 26 мг/дм³), конечная концентрация в линии с пробиотиком – 13 мг/дм³;
 - по азоту аммонийному – 28,7% (разница с контролем – 14,1 мг/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 0,9 мг/дм³;
 - по ХПК – 14,9% (разница с контролем – 65 мгО₂/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 55 мгО₂/дм³.

При использовании “Оксидола” интенсификация очистки равна:

- первичного отстаивания: по БПК₅ – 12,9%, по ВВ – 13,8%;
- биологической очистки:
 - по БПК₅ – 10,2% (разница с контролем – 27 мгО₂/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 14 мгО₂/дм³;
 - по ВВ – 12,5% (разница с контролем – 26 мг/дм³), конечная концентрация в линии с пробиотиком – 16 мг/дм³;
 - по азоту аммонийному – 27,5% (разница с контролем – 14,3 мг/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 2,7 мг/дм³;
 - по ХПК – 14,0% (разница с контролем – 60 мгО₂/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 55 мгО₂/дм³.

При введении Microbes увеличение эффективности составило:

- первичного отстаивания: по БПК₅ – 5,2%, по ВВ – 5,6%;
- биологической очистки:

- по БПК₅ – 3,3% (разница с контролем – 10 мгО₂/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 30 мгО₂/дм³;
- по ВВ – 2,8% (разница с контролем – 8 мг/дм³), конечная концентрация в линии с пробиотиком – 30 мг/дм³;
- по азоту аммонийному - 9,1% (разница с контролем – 5 мг/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 13 мг/дм³;
- по ХПК – 6,5% (разница с контролем – 30 мгО₂/дм³), конечное значение в линии с пробиотиком – 100 мгО₂/дм³.

Значительного влияния на процесс удаления фосфатов ни один из испытанных видов пробиотиков не оказывает. Содержание фосфатов в исходной воде находилось на уровне 12...14 мг/дм³, в биологически очищенной воде 8...12 мг/дм³.

Уровень запаха после введения PIP+Water, Bio Klean, “Оксидол” и первичного отстаивания снижается с 5 до 2 баллов, при введении Водограя и Microbes до 3 баллов. В контрольных опытах после отстаивания запах оставался на уровне 5 баллов. После биологической очистки воды с добавлением PIP+Water и “Оксидола” запах в воде не ощущался (0 баллов), в опытах с остальными пробиотиками и контрольными опытами запах был на уровне 1 балла.

Водородный показатель в исходной СВ колебался в пределах 8,10...7,68. Показатели pH соответствуют нормальным значениям для бытовых СВ.

Водородный показатель на выходе снижался тем ниже, чем глубже протекал процесс нитрификации. Так, например, при введении PIP+Water pH после биологической очистки составлял 7,39...7,21, в контроле 7,78...7,49. В то же время при введении Microbes, когда нитрификация была минимальна, значения водородного показателя равнялись 7,58...7,31, в контроле – 7,63...7,37.

Количество нитратов на выходе также было прямопропорционально снижению азота аммонийного в сточной жидкости. Например, при введении PIP+Water нитраты после биологической очистки составляли в среднем 169 мг/дм³, а в контроле – 88 мг/дм³. В то же время в емкостях с Microbes содержание нитратов равнялось 91 мг/дм³, в контроле – 76 мг/дм³.

Разнообразие простейших микроорганизмов в АИ контрольных емкостей в целом было примерно таким же, как и в емкостях с добавлением пробиотиков. Насчитывалось 7–10 видов микроорганизмов. В основном это были инфузории, амёбы, черви и коловратки. Подвижность наблюдаемых простейших была высокая (за исключением прикрепленных видов), встречаемость также высокая. Так как АИ после каждого опыта заменялся на новый, длительность воздействия пробиотиков на каждую порцию ила составляла всего 8 часов. За это время не отмечалось ухудшения подвижности микроорганизмов, а при введении PIP+Water и “Оксидол” наоборот наблюдалось повышение активности и встречаемости видов. Остальные пробиотики значительного влияния на микробиоценоз не оказали.

Стоимость обработки СВ пробиотическими препаратами приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Стоимость обработки СВ пробиотическими препаратами

Препарат	Стоимость препарата	Доза	Стоимость обработки 1 м ³ СВ, грн	Стоимость обработки 1 м ³ СВ, руб
PIP+WATER	1 дм ³ – 300 грн.	40 мл/м ³	15,0	41,67
SCD Bio Klean	1 дм ³ – 230 грн.	30 мл/м ³	6,9	19,17
Microbec	1 кг – 580 грн.	9 г/м ³	5,22	14,50
Оксидол	1 кг – 2932 грн.	0,3 г/м ³	0,88	2,44
Водограй+ОС	1 кг – 2245 грн.	20 г/м ³	44,9	124,72

Сравнивая стоимости обработки СВ воды тестируемыми препаратами в принятых дозах, можно увидеть, что наиболее дешевой является обработка стоков “Оксидолом”. Учитывая, что наибольшее увеличение эффекта очистки из всех испытанных пробиотиков обеспечивают PIP+WATER и “Оксидол” (последний по эффективности лишь незначительно уступает PIP+WATER), можно сделать заключение, что именно “Оксидол” наиболее оптимальный и перспективный для дальнейшего исследования и использования по качественным характеристикам и стоимости.

3.2 Интенсификация первичного отстаивания и биологической очистки сточной воды с помощью пробиотического средства “Оксидол”

3.2.1 Исследование интенсификации очистки сточной воды при различных дозах “Оксидола”

Предыдущими исследованиями установлено, что пробиотическое средство “Оксидол” наиболее оптимально по своему влиянию на процессы очистки СВ и дешевле других испытанных препаратов. Поэтому в дальнейших экспериментах исследовалось влияние только этого пробиотика.

На первой стадии второго этапа исследовалась интенсификация первичного отстаивания и последующей биологической очистки СВ при различных дозах “Оксидола”.

Эксперименты осуществлялись в статическом режиме по схеме, описанной в разделе 2.2. Всего испытано шесть доз пробиотика: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 и 0,6 г/м³. Время биологической очистки – 9 часов.

Сточная вода анализировалась по трем показателям: БПК₅, взвешенным веществам и азоту аммонийному. Пробы отбирались перед первичным отстаиванием, после отстаивания и после биологической очистки с АИ.

Всего осуществлено по четыре опыта с каждой из пяти испытанных доз “Оксидола”. Усредненные результаты опытов приведены в таблице 3.2.

Полученные приросты эффектов первичного отстаивания и биологической очистки сточных вод при разных дозах пробиотика отображены на графиках (Рисунки 3.7.–3.13.). Для каждого графика построены уравнения регрессии, определены коэффициенты детерминации и доверительные зоны с уровнем доверительной вероятности – 95%. Построение математических зависимостей и обработка данных осуществлялись с помощью программного пакета STATISTICA. Уравнения регрессии подбирались по наибольшему коэффициенту детерминации R^2 . Статистически незначимые коэффициенты уравнений исключались из моделей.

Таблица 3.2 – Исследование интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки СВ при разных дозах (d) “Оксидола”

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После первичного отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	ΔЭ первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	ΔЭ биологической очистки, %
d=0,6 г/м³								
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	278	119	57,2	16,9	6	95,0	19,1
	БПК ₅	275	168	38,9	18,9	6	96,4	14,6
	N-NH ₄	54	48	11,1	5,6	0,5	99,0	36,3
Среднее значение (контроль)	ВВ	278	166	40,3	-	40	75,9	-
	БПК ₅	275	220	20,0	-	40	81,8	-
	N-NH ₄	54	51	5,6	-	19	62,7	-
d=0,5 г/м³								
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	293	132	54,9	15,0	7	94,7	19,1
	БПК ₅	290	184	36,6	17,6	7	96,2	14,5
	N-NH ₄	60	55	8,3	-1,7	0,6	98,9	35,9
Среднее значение (контроль)	ВВ	293	176	39,9	-	43	75,6	-
	БПК ₅	290	235	19,0	-	43	81,7	-
	N-NH ₄	60	54	10,0	-	20	63,0	-
d=0,4 г/м³								
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	283	125	55,8	14,8	8	93,6	17,0
	БПК ₅	284	180	36,6	15,8	8	95,6	13,4
	N-NH ₄	57	51	10,5	1,7	0,8	98,4	33,0
Среднее значение (контроль)	ВВ	283	167	41,0	-	39	76,6	-
	БПК ₅	284	225	20,8	-	40	82,2	-
	N-NH ₄	57	52	8,8	-	18	65,4	-
d=0,3 г/м³								
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	292	145	50,3	11,9	15	89,7	13,6
	БПК ₅	295	203	31,2	12,6	15	92,6	10,1
	N-NH ₄	56	53	5,4	0,0	4	92,5	28,3
Среднее значение (контроль)	ВВ	292	180	38,4	-	43	76,1	-
	БПК ₅	295	240	18,6	-	42	82,5	-
	N-NH ₄	56	53	5,4	-	19	64,2	-
d=0,2 г/м³								
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	284	148	47,9	7,4	20	86,5	7,8
	БПК ₅	282	199	29,4	7,8	21	89,4	6,6
	N-NH ₄	59	54	8,5	0,0	6	88,9	22,2
Среднее значение (контроль)	ВВ	284	169	40,5	-	36	78,7	-
	БПК ₅	282	221	21,6	-	38	82,8	-
	N-NH ₄	59	54	8,5	-	18	66,7	-
d=0,1 г/м³								
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	271	158	41,7	2,2	34	78,5	2,3
	БПК ₅	275	205	25,5	4,0	34	83,4	2,8
	N-NH ₄	56	52	7,1	3,5	14	73,1	10,1
Среднее значение (контроль)	ВВ	271	164	39,5	-	39	76,2	-
	БПК ₅	275	216	21,5	-	42	80,6	-
	N-NH ₄	56	54	3,6	-	20	63,0	-

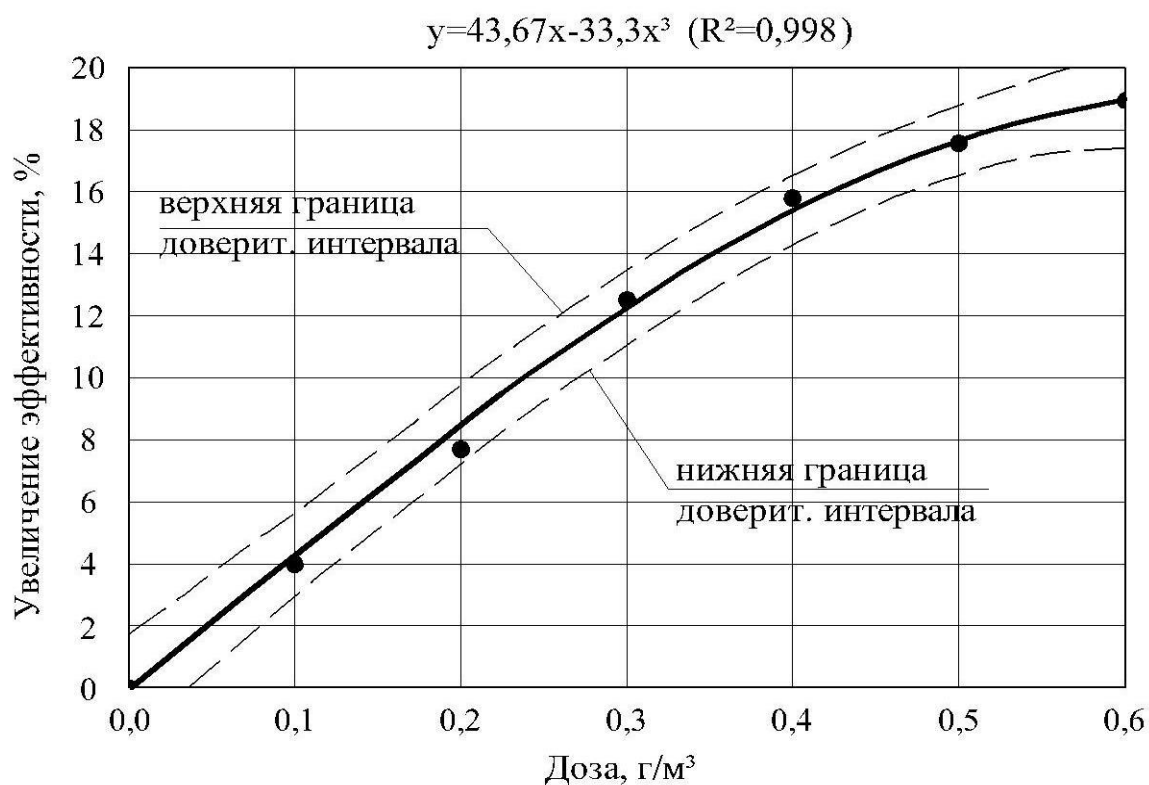


Рисунок 3.7 – Увеличение эффекта снижения БПК₅ при первичном отстаивании СВ при разных дозах “Оксидола”

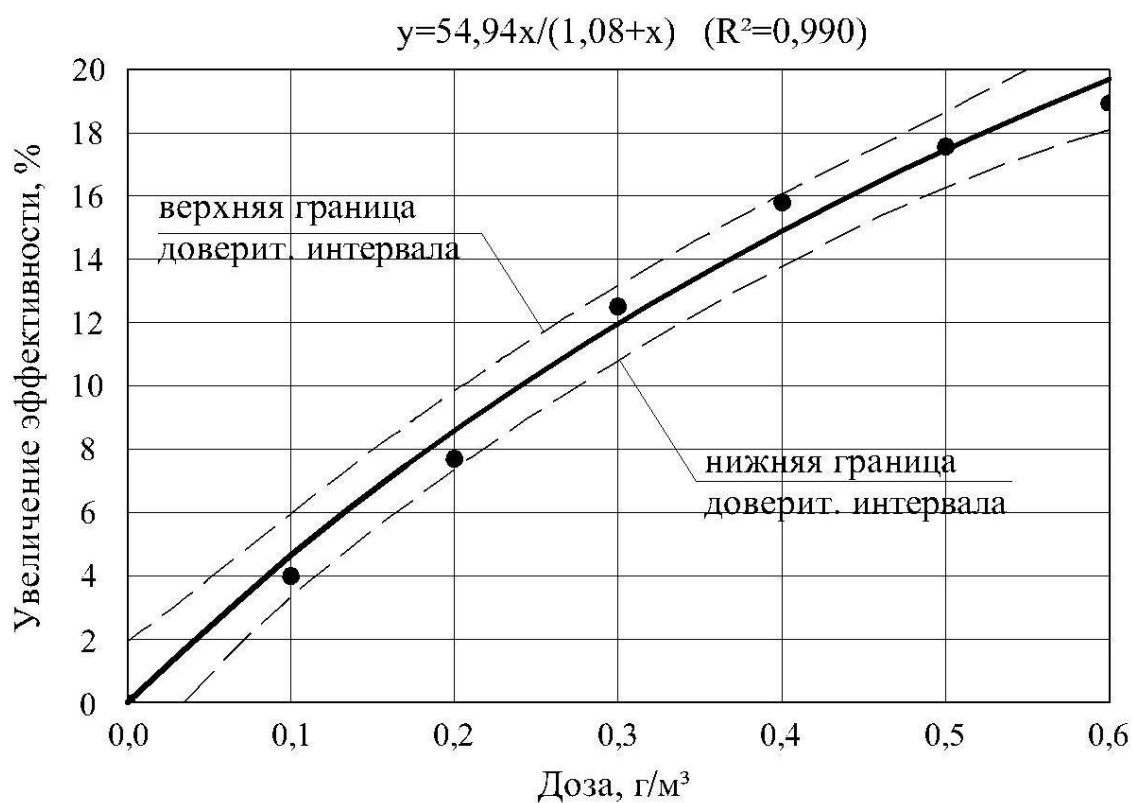


Рисунок 3.8 – Увеличение эффекта снижения БПК₅ при первичном отстаивании СВ при разных дозах “Оксидола” (альтернативная регрессионная модель)

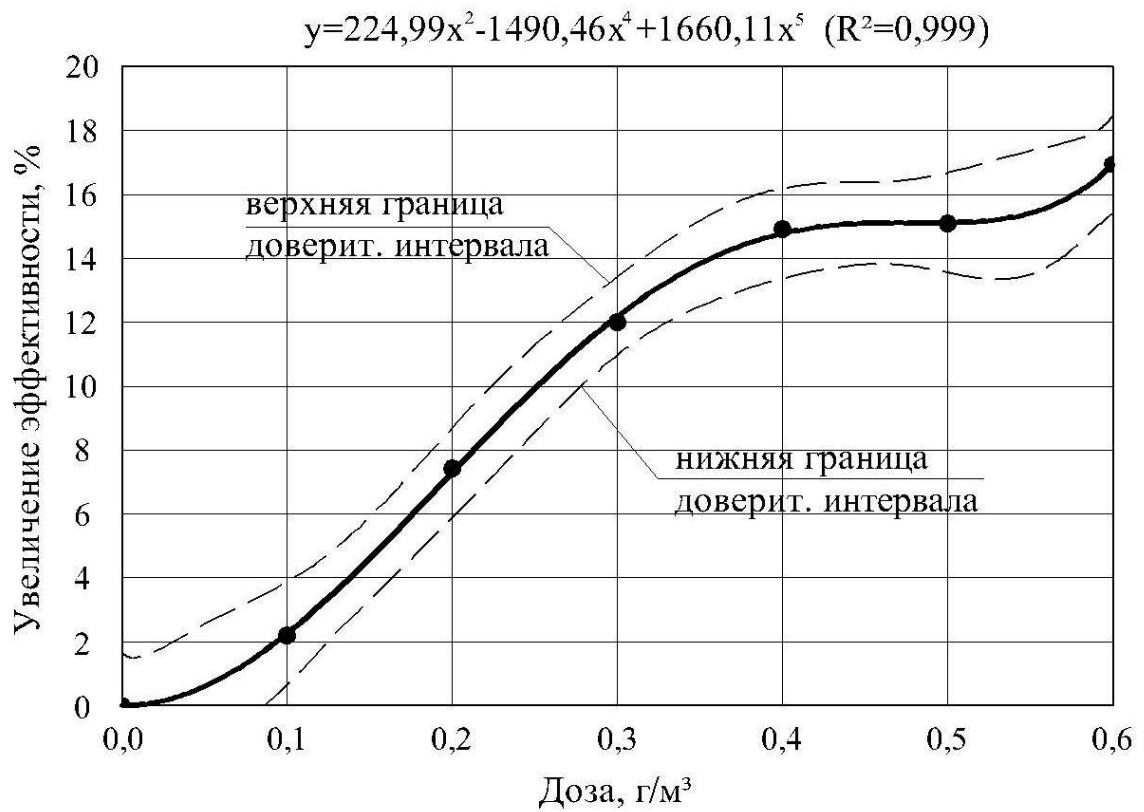


Рисунок 3.9 – Увеличение эффекта первичного отстаивания СВ по взвешенным веществам при разных дозах “Оксидола”

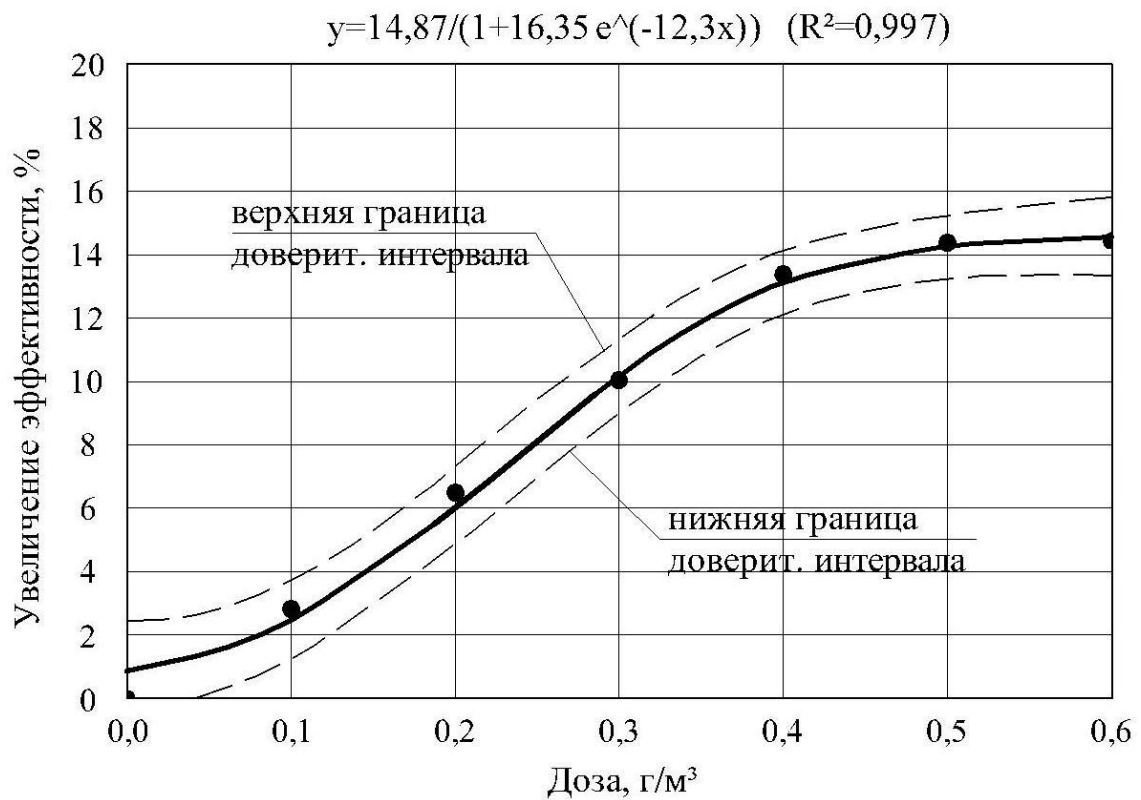


Рисунок 3.10 – Увеличение эффекта биологической очистки СВ по БПК₅ при разных дозах “Оксидола”

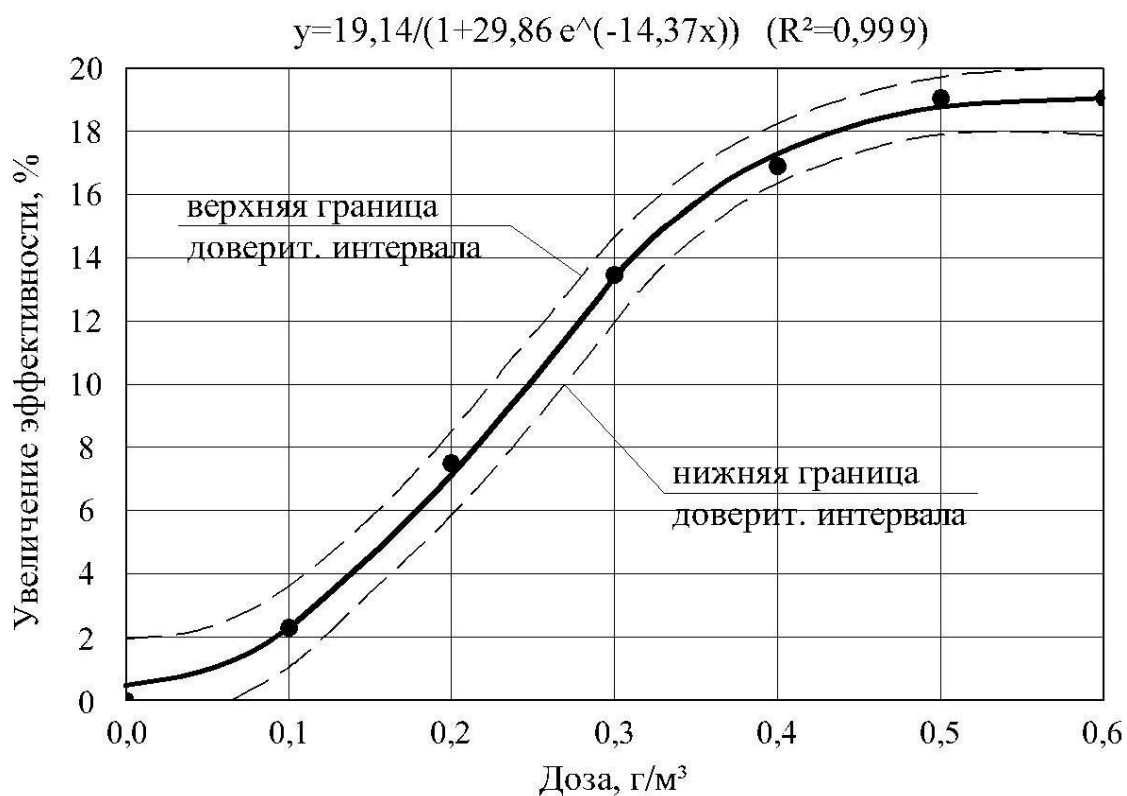


Рисунок 3.11 – Увеличение эффекта биологической очистки СВ по взвешенным веществам при разных дозах “Оксидола”

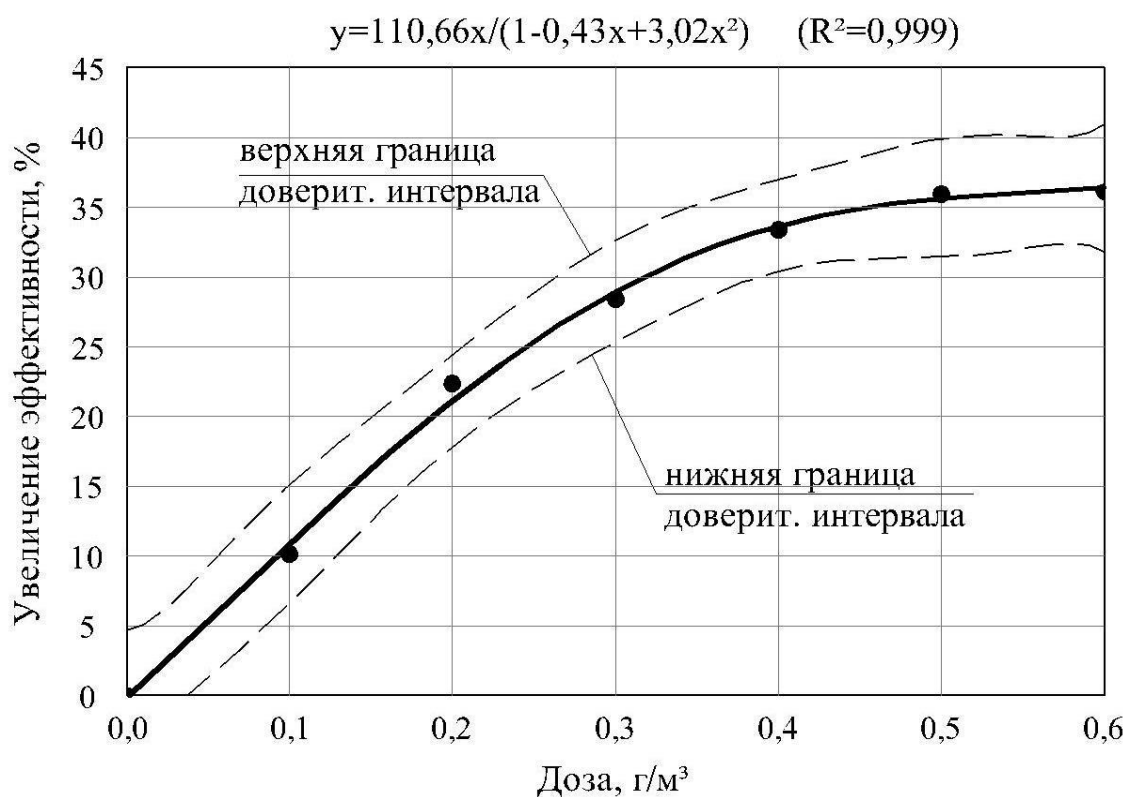


Рисунок 3.12 – Увеличение эффекта биологической очистки СВ по азоту аммонийному при разных дозах “Оксидола”

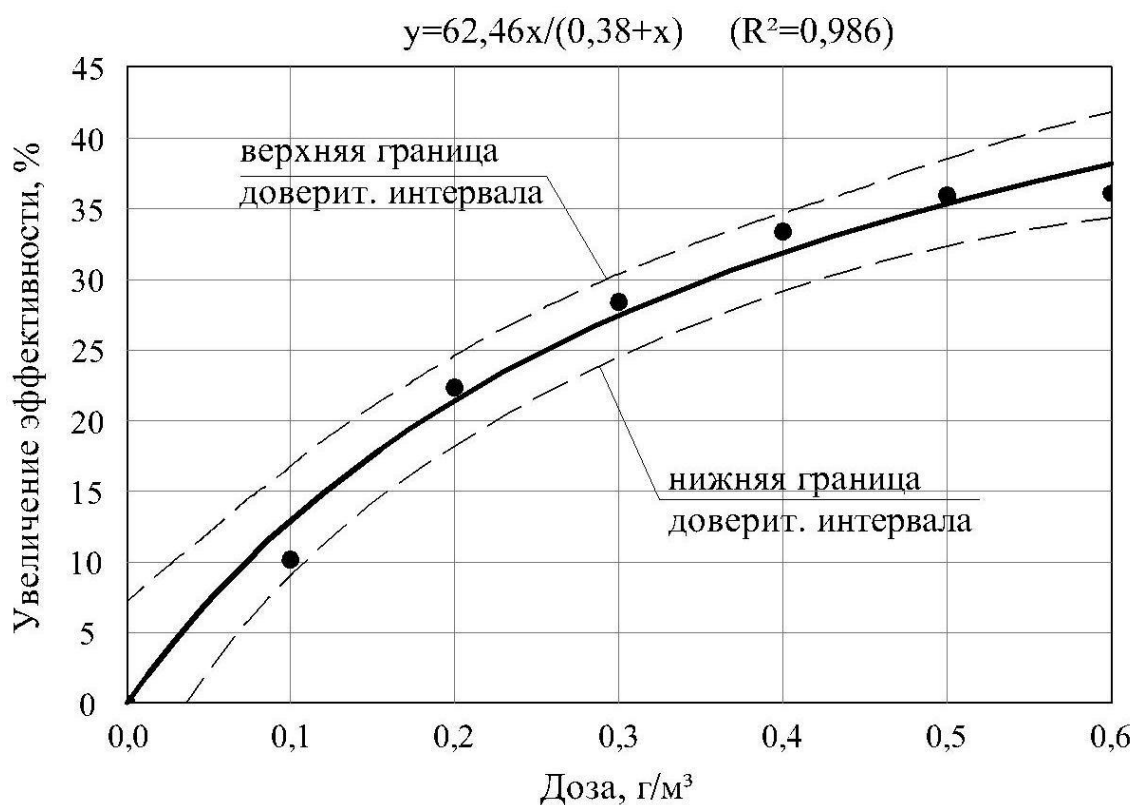


Рисунок 3.13 – Увеличение эффекта биологической очистки СВ по азоту аммонийному при разных дозах “Оксидол” (альтернативная регрессионная модель).

Графики на рисунках 3.7 и 3.12 продублированы альтернативными регрессионными моделями (Рисунки 3.8 и 3.13 соответственно) – уравнениями Ленгмюра, которые позволяют определить некоторый физический смысл процессов, хотя и менее точно описывают распределение точек (коэффициенты детерминации меньше).

По результатам исследований установлено:

- при дозе 0,1 г/м³ увеличение эффекта первичного отстаивания и биологической очистки по ВВ и БПК₅ незначительное и составляет 2–4%, нитрификация интенсифицируется на 10,1%;

- доза 0,2 г/м³ обеспечивает повышение эффекта первичного отстаивания по БПК₅ на 7,8%, по ВВ – на 7,4%, биологической очистки по БПК₅ – на 6,6%, по ВВ – на 7,8%, по азоту аммонийному – на 22,2%;

– дозировка $0,3 \text{ г/м}^3$ приводит к повышению эффекта первичного отстаивания по БПК₅ на 12,6%, по ВВ – на 11,9%, биологической очистки по БПК₅ – на 10,1%, по ВВ – на 13,6%, по азоту аммонийному – на 28,3%;

– при дозе $0,4 \text{ г/м}^3$ эффект первичного отстаивания по БПК₅ увеличивается на 15,8%, по ВВ – на 14,8%, биологической очистки - по БПК₅ на 13,4%, по ВВ – на 17,0%, по азоту аммонийному – на 33,0%;

– при дозе $0,5 \text{ г/м}^3$ тенденция к увеличению эффекта первичного отстаивания снижается: по БПК₅ и ВВ интенсификация составляет 17,6 и 15,0%; увеличение эффекта биологической очистки мало отличается от результата предыдущей дозы: по БПК₅ увеличение составляет 14,5%, по ВВ – 19,1%, по азоту аммонийному – 35,9%;

– доза $0,6 \text{ г/м}^3$ также приводит к незначительному увеличению эффекта первичного отстаивания по сравнению с предыдущей дозировкой: по БПК₅ и ВВ интенсификация составляет – 18,9 и 16,9%; увеличение эффекта биологической очистки находится на уровне результата дозы $0,5 \text{ г/м}^3$: по БПК₅ интенсификация – 14,6%, по ВВ – 19,1%, по азоту аммонийному – 36,3%.

Таким образом, доза пробиотика $0,1 \text{ г/м}^3$ не приводит к существенному повышению эффекта как первичного отстаивания, так и биологической очистки (исключение – азот аммонийный). При дозе $0,2 \text{ г/м}^3$ увеличение эффекта очистки по всем контролируемым показателям значимое и на отрезке от $0,2$ до $0,4 \text{ г/м}^3$ наблюдается устойчивое существенное повышение эффективности. На интервале от $0,4$ до $0,6 \text{ г/м}^3$ тенденция к увеличению эффекта первичного отстаивания снижается (зависимость становится более пологой), эффект биологической очистки остается практически на достигнутом уровне. Поэтому введение пробиотика дозами более $0,4 \text{ г/м}^3$ экономически невыгодно.

Полученные зависимости позволяют сделать вывод, что введение пробиотического препарата “Оксидол” целесообразно осуществлять в диапазоне дозировок – $0,2 \dots 0,4 \text{ г/м}^3$.

3.2.2 Исследование интенсификации очистки сточных вод с помощью пробиотика “Оксидол” при различных значениях влияющих факторов

После определения оптимального диапазона дозы пробиотического средства “Оксидол” проведены эксперименты по выявлению математических моделей увеличения эффекта очистки в зависимости от влияющих факторов.

Теоретически предположено, что главными влияющими факторами являются доза пробиотика, температура СВ и нагрузка на АИ по основным загрязнителям (БПК₅, взвешенным веществам и азоту аммонийных солей).

Влияние дозы пробиотика на увеличение эффекта очистки первостепенно и показано в предыдущих исследованиях.

Температура СВ оказывает важное влияние на процессы как первичного отстаивания, так и биологической очистки. В первом случае кинетика отстаивания изменяется за счет изменения динамической вязкости жидкости. При уменьшении температуры жидкости ее вязкость увеличивается, соответственно интенсивность выпадения взвешенных веществ уменьшается.

Биологическая очистка СВ осуществляется биоценозом АИ – обширным конгломератом бактерий и простейших микроорганизмов. Переработка органических загрязнений в сточной жидкости происходит под действием ферментов, выделяемых бактериями. Ферментативная активность бактерий (в том числе пробиотических) сильно зависит от температуры среды обитания. Например, при температуре СВ ниже 6°C процессы биологической очистки могут значительно или полностью ингибироваться [176].

Увеличение эффекта первичного отстаивания и биологической очистки при введении раствора пробиотика происходит за счет деятельности пробиотических бактерий, выделяемых ими ферментов и ферментов, содержащихся в препарате изначально. Поэтому температурный режим будет безусловно оказывать влияние на эффективность пробиотика. Изменение температурного режима при расчете сооружений биологической очистки согласно нормативной и технической

документации учитывается в расчетах прямопропорционально, то есть прямолинейно [16;29;177].

Для Донецкого региона и регионов с аналогичными климатическими условиями температура СВ, поступающей на КОС, в холодный “зимний” период года составляет 8...12°C. Температура сточной жидкости в наиболее теплое время года находится на уровне 18...23°C. Поэтому эксперименты было принято проводить при двух уровнях температуры: “зимней” – 10°C и “летней” – 20°C.

Нагрузка на активный ил привлекательна как третий влияющий фактор, поскольку включает в себя такие важные параметры процесса биологической очистки, как время аэрации, дозу ила, начальную концентрацию загрязнений. Под нагрузкой на АИ обычно подразумевается количество органических загрязнений (выражаемое в БПК_п), приходящихся на единицу беззольного вещества ила в сутки. Однако, нагрузка на АИ может быть выражена не только по БПК_п, но и по другим загрязнениям (азоту аммонийному, тяжелым металлам и т.д.) [158].

Согласно нормативной документации нагрузка на активный ил по БПК_п q_i , мгБПК_п/(г·сут), определяется по формуле

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-S)t_a}, \quad (7)$$

где L_{en} и L_{ex} – концентрации БПК_п в поступающей в аэротенк и биологически очищенной сточной воде соответственно, мгБПК_п/дм³;

a_i – доза ила по сухому веществу, г/дм³;

S – зольность ила (обычно составляет 0,3);

t_a – время аэрации, ч.

Однако, приведенная формула характеризует скорее окислительную способность ила или его фактическую скорость окисления.

Для выражения конкретно количества загрязнений любого вида, приходящегося на единицу массы АИ в сутки q_i , кг/(кг·сут), целесообразно пользоваться следующей формулой [158]

$$q_i = \frac{24C_{ex}}{1000a_i(1-S)t_a}, \quad (8)$$

где $C_{\text{вх}}$ – концентрация загрязнения, по которому определяется нагрузка, на входе в аэротенк, мг/дм³.

При экспериментальном выявлении зависимостей увеличения эффекта очистки СВ по основным показателям (БПК₅, ВВ и N-NH₄) нагрузка на ил вычислялась конкретно по соответствующим показателям.

Тем не менее, для определения интервала нагрузки на ил, на котором осуществлялись исследования, необходимо было задаться нагрузкой по БПК₂₀.

Так как основной задачей использования пробиотиков является интенсификация очистки СВ в том случае, если эффективности механической очистки и окислительной мощности сооружений биологической очистки недостаточно для обеспечения нормативных показателей СВ на выходе из очистных сооружений, то в опытах целесообразно задаться повышенными нагрузками на АИ.

Поскольку в настоящее время большинство КОС имеют в своем составе, как правило, одну ступень биологической очистки (аэротенк – вторичный отстойник), а нормативными документами предписываются достаточно низкие концентрации загрязнений в очищенных СВ не только по органическим загрязнениям, но и по азоту аммонийному, то режим работы аэротенка должен быть таким, чтобы обеспечить окисление и органических веществ, и азота аммонийного до норм ПДС.

За окисление органических веществ ответственна гетеротрофная микрофлора АИ. Окисление азота аммонийных солей осуществляют, в основном, хемолитоавтотрофные бактерии-нитрификаторы. Нитрифицирующие бактерии отличаются от гетеротрофных гидробионтов аэротенков более низкими скоростями роста и более высокой чувствительностью к различным факторам: перепадам температур, токсичным веществам, концентрации растворенного кислорода и т. д. Поэтому для накопления достаточного количества нитрификаторов, которое могло бы обеспечить полноценный процесс нитрификации, требуется удерживать определенный возраст ила и низкую нагрузку по БПК.

Анализ литературных данных показывает, что для успешного процесса нитрификации необходим возраст ила не менее 8 суток [178;179], нагрузка на АИ должна быть в пределах $0,1 \dots 0,2$ кгБПК_п/(кг·сут) [55;180;181].

В предыдущих опытах установлено что при нагрузке на ил около $0,28$ кгБПК₅/(кг·сут) или $0,38$ кгБПК_п/(кг·сут) в контрольных опытах азот аммонийный после биологической очистки снижается лишь до $18\text{--}20$ мг/дм³, а БПК₅ до $40\text{--}45$ мг/дм³. В то же время при использовании пробиотика, во-первых, интенсифицируется первичное отстаивание по БПК, что приводит к более низкой нагрузке на ил (например, при дозе “Оксидола” $0,4$ г/м³ нагрузка на ил составляет уже не $0,38$ кгБПК_п/(кг·сут), а $0,32$ кгБПК_п/(кг·сут)), во-вторых, интенсифицируется процесс биологической очистки, в результате чего БПК₅ на выходе составляет около $7\text{--}8$ мг/дм³, а азот аммонийный около 1 мг/дм³.

Таким образом, целесообразно в качестве нижнего предела выбрать нагрузку на ил $0,4$ кгБПК_п/(кг·сут), в качестве верхнего предела - $0,6$ кгБПК_п/(кг·сут).

Так как опыты проводились не на модельной жидкости, а на СВ, отобранной на КОС, для изменения нагрузки на ил варьировалась не концентрация загрязнений, а время аэрации. Для СВ, содержащей после отстаивания около 220 мгБПК₅/дм³, нагрузке $0,4$ кгБПК_п/(кг·сут) при дозе ила по беззольному веществу 2 г/дм³ соответствует время аэрации 9 часов, нагрузке $0,6$ кгБПК_п/(кг·сут) – 6 часов.

В итоге получаются три основных фактора, от которых зависит увеличение эффективности биологической очистки: доза пробиотика, температура СВ и нагрузка на ил. Прирост эффекта первичного отстаивания исследовался в зависимости от двух факторов: дозы “Оксидола” и температуры сточной воды.

Выполнение исследований построено по плану полнофакторного эксперимента (ПФЭ), который позволяет получить уравнение поверхности отклика и реализует все возможные комбинации уровней независимых факторов.

Поскольку ожидается линейное влияние выбранных факторов на интенсификацию процессов первичного отстаивания и биологической очистки и

известны верхние и нижние уровни значений влияющих факторов, то исследования по определению повышения эффекта очистки СВ осуществлялись с изменением независимых факторов на двух уровнях.

Двухуровневые эксперименты принято обозначать планом 2^k , где k – количество влияющих факторов. Формула 2^k позволяет посчитать сколько необходимо поставить опытов, чтобы получить все неповторяющиеся сочетания факторов. Для статистического обоснования полученных результатов требуется повтор каждого опыта (дублирование) обычно 3–5 раз [182].

При построении матриц планирования экстремальных экспериментов принято использовать кодированные значения переменных – x_i

$$x_i = \frac{\bar{x}_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (9)$$

где \bar{x}_i – натуральное значение фактора (при двухфакторном эксперименте принимает значение верхнего и нижнего предела);

x_{i0} – основной уровень фактора (нулевой);

Δx_i – интервал варьирования.

Например, если исследуется влияние температуры на процесс и верхний и нижний уровни принимаются 20 и 10 °С соответственно, то основным уровнем будет 15 °С, а интервал варьирования составит $\pm 5^\circ\text{C}$. Таким образом, верхний уровень в кодированных переменных будет равен: $x_v = (20 - 15)/5 = 1$, нижний $x_n = (10 - 15)/5 = -1$.

Матрица планирования полного факторного эксперимента типа 2^2 в кодированных переменных представлена в таблице 3.3., матрица типа 2^3 в таблице 3.4.

Таблица 3.3 – Матрица полного факторного эксперимента 2^2

Номер плана точки, j	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	Отклик y_i
1	+	-	-	+	y_1
2	+	+	-	-	y_2
3	+	-	+	-	y_3
4	+	+	+	+	y_4

Таблица 3.4 – Матрица полного факторного эксперимента 2^3

Номер плана точки, j	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Отклик y_i
1	+	-	-	-	+	+	+	-	y_1
2	+	+	-	-	-	-	+	+	y_2
3	+	-	+	-	-	+	-	+	y_3
4	+	+	+	-	+	-	-	-	y_4
5	+	-	-	+	+	-	-	+	y_5
6	+	+	-	+	-	+	-	-	y_6
7	+	-	+	+	-	-	+	-	y_7
8	+	+	+	+	+	+	+	+	y_8

В соответствии с приведенными планами осуществлены лабораторные эксперименты по исследованию повышения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки СВ. Опыты проводились в статическом режиме по той же методике, что и предыдущие эксперименты: последовательно моделировались процессы первичного отстаивания и далее биологической очистки.

Всего проведено 8 серий опытов, которые отображали все сочетания влияющих факторов. Каждая серия состояла из трех повторений опыта. Для определения процента повышения эффекта очистки эксперименты дублировались контрольными опытами (без добавления пробиотика).

Влияющим факторам придавались следующие значения:

– доза пробиотика (x_1):

– нижний уровень – 0,2 г/м³;

– верхний уровень – 0,4 г/м³;

– температура СВ (x_2):

– нижний уровень – 10±2 °С;

– верхний уровень – 20±2 °С;

– нагрузка на АИ (приведена в БПК_п) (x_3):

– нижний уровень – 0,4 кгБПК_п/(кг·сут) (время аэрации 9 часов);

– верхний уровень – 0,6 кгБПК_п/(кг·сут) (время аэрации 6 часов).

Эффективность очистки исследовалась по трем показателям: БПК₅, взвешенным веществам, азоту аммонийных солей. Указанные показатели

определялись в СВ перед обработкой, после первичного отстаивания и после биологической очистки. Кроме того, определяли содержание растворенного кислорода и дозу ила по сухому веществу в иловой смеси, температуру СВ. Периодически проводили наблюдения за количеством и подвижностью простейших микроорганизмов в биоценозе активного ила, структурой хлопков.

Неизменными (постоянными) параметрами процессов очистки приняты следующие:

- время пребывания сточной жидкости в первичном отстойнике – аналогично времени отстаивания в отстойнике с рабочей глубиной 3 м в течение 1,5 часа;
- доза ила по сухому беззольному веществу – около 2 г/дм³;
- концентрация растворенного кислорода в иловой смеси – 2,5...3,5 мгО₂/дм³.

Подробные результаты экспериментов приведены в приложении Г. Усредненные результаты опытов приведены в таблице 3.5.

Начальные концентрации загрязняющих веществ в исходной сточной воде составляли:

- взвешенные вещества и БПК₅ – 270...300 мг/дм³;
- азот аммонийный – 55...64 мг/дм³.

По результатам исследований установлено:

1. Наибольший эффект увеличения очистки получается в двух вариантах: при дозе пробиотика $d=0,4$ г/м³, температуре СВ – 20°C и времени аэрации - 9 и 6 часов:

- увеличение эффекта первичного отстаивания по ВВ и БПК₅ – 15–17%;
- увеличение эффекта биологической очистки по ВВ и БПК₅ – 16,8% и 13,5% соответственно при $t_a=9$ ч и 15,9% и 12,7% при $t_a=6$ ч, эффект увеличения очистки от N-NH₄ – 33,5% при $t_a=9$ ч и 37,2% при $t_a=6$ ч;
- конечные концентрации при $t_a=9$ ч: ВВ и БПК₅ – около 8,0 мг/дм³ (разница с контролем 31–32 мг/дм³), NH₄ – 0,8 мг/дм³ (разница с контролем 17,2 мг/дм³);

при $t_a=6$ ч: ВВ и БПК₅ – около 15 мг/дм³ (разница с контролем 32–33 мг/дм³),
N-NH₄ – 4 мг/дм³ (разница с контролем 19 мг/дм³);

Таблица 3.5 – Результаты исследования интенсификации очистки СВ при введении "Оксидола" при различных сочетаниях влияющих факторов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После первичного отстаивания, мг/дм ³	Эффективность (Э) первичного отстаивания, %	ΔЭ первичного отстаивания, мг/дм ³	ΔЭ первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффективность (Э) биологической очистки, %	ΔЭ биологической очистки, мг/дм ³	ΔЭ биологической очистки, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d – 0,4 г/м³, температура СВ - 20°C, время аэрации t_a – 9 часов										
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	283	125	55,8	44	15,6	8	93,9	31,0	16,8
	БПК ₅	284	180	36,7	45	15,8	8	95,6	32	13,5
	N-NH ₄	57	51	9,9	1	1,7	0,8	98,4	17,2	33,5
Среднее значение (контроль)	ВВ	283	169	40,2	-	-	39	77,1	-	-
	БПК ₅	284	225	20,9	-	-	40	82,1	-	-
	N-NH ₄	57	52	8,2	-	-	18	64,9	-	-
d – 0,2 г/м³, температура СВ - 20°C, время аэрации t_a – 9 часов										
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	284	148	47,8	23	8,1	20	86,3	18	8,5
	БПК ₅	282	199	29,2	22	7,7	21	89,5	16	6,4
	N-NH ₄	59	54	8,5	0	0,0	6	88,4	12	22,3
Среднее значение (контроль)	ВВ	284	171	39,7	-	-	38	77,8	-	-
	БПК ₅	282	221	21,5	-	-	37	83,1	-	-
	N-NH ₄	59	54	8,5	-	-	18	66,1	-	-
d – 0,4 г/м³, температура СВ - 10°C, время аэрации t_a – 9 часов										
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	285	159	44,0	38	13,1	24	84,9	20	7,2
	БПК ₅	280	204	27,2	30	10,6	25	87,9	20	7,3
	N-NH ₄	59	52	11,9	1	1,7	13	75,7	10	19,2
Среднее значение (контроль)	ВВ	285	197	30,9	-	-	44	77,7	-	-
	БПК ₅	280	234	16,6	-	-	45	80,6	-	-
	N-NH ₄	59	53	10,2	-	-	23	56,5	-	-
d – 0,2 г/м³, температура СВ - 10°C, время аэрации t_a – 9 часов										
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	282	176	37,5	19	6,6	31	82,6	13	5,2
	БПК ₅	283	219	22,4	15	5,2	30	86,2	13	4,7
	N-NH ₄	59	53	11,2	0	0,0	18	66,3	5	10,6
Среднее значение (контроль)	ВВ	282	195	30,9	-	-	44	77,4	-	-
	БПК ₅	283	234	17,2	-	-	43	81,5	-	-
	N-NH ₄	59	53	11,2	-	-	23	55,7	-	-

Продолжение таблицы 3.5

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффективность (Э) первичного отстаивания, %	ΔЭ первичного отстаивания, мг/дм ³	ΔЭ первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффективность (Э) биологической очистки, %	ΔЭ биологической очистки, мг/дм ³	ΔЭ биологической очистки, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
d – 0,4 г/м³, температура СВ - 10°C, время аэрации t_a – 6 часов										
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	287	165	42,6	33	11,5	27	83,4	24	9,2
	БПК ₅	285	201	29,3	32	11,3	25	87,5	26	9,4
	N-NH ₄	61	51	16,7	1	1,6	16	69,0	12	23,1
Среднее значение (контроль)	ВВ	287	198	31,1	-	-	51	74,2	-	-
	БПК ₅	285	233	18,0	-	-	51	78,1	-	-
	N-NH ₄	61	52	15,1	-	-	28	45,9	-	-
d – 0,2 г/м³, температура СВ - 10°C, время аэрации t_a – 6 часов										
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	284	176	38,1	20	7,3	36	79,4	17	6,6
	БПК ₅	285	216	24,2	16	5,6	36	83,3	17	6,2
	N-NH ₄	60	55	8,3	0	0,0	21	62,4	8	16,3
Среднее значение (контроль)	ВВ	284	196	30,8	-	-	53	72,8	-	-
	БПК ₅	285	232	18,6	-	-	53	77,1	-	-
	N-NH ₄	60	55	8,3	-	-	29	46,1	-	-
d – 0,4 г/м³, температура СВ - 20°C, время аэрации t_a – 6 часов										
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	289	117	59,5	48	16,7	15	86,9	33	15,9
	БПК ₅	288	175	39,2	47	16,4	15	91,4	32	12,7
	N-NH ₄	59	51	13,6	1	1,7	4	91,4	19	37,2
Среднее значение (контроль)	ВВ	289	165	42,8	-	-	48	71,0	-	-
	БПК ₅	288	222	22,8	-	-	47	78,7	-	-
	N-NH ₄	59	50	15,3	-	-	23	54,2	-	-
d - 0,2 г/м³, температура СВ - 20°C, время аэрации t_a – 6 часов										
Среднее значение (пробиотик)	ВВ	284	149	47,6	23	7,9	25	83,0	22	10,1
	БПК ₅	283	199	29,7	20	7,0	26	86,8	21	8,1
	N-NH ₄	59	55	6,6	2	-2,4	10	82,3	13	26,2
Среднее значение (контроль)	ВВ	286	172	39,7	-	-	47	72,9	-	-
	БПК ₅	283	219	22,7	-	-	47	78,7	-	-
	N-NH ₄	59	53	9,0	-	-	23	56,1	-	-

2. При дозе “Оксидола” 0,2 г/м³ и температуре СВ 20°C увеличение эффекта очистки ожидаемо менее значительное: 56,6 81,8 54,7

– увеличение эффекта первичного отстаивания по ВВ и БПК₅ при времени аэрации t_a=6 и 9 часов – около 8%;

– увеличение эффекта биологической очистки при $t_a=9$ часов по ВВ и БПК₅ – 8,5 и 6,4% соответственно, NH_4 – 22,3%; конечные концентрации ВВ и БПК₅ 20–21 мг/дм³ (разница с контролем – 16–18 мг/дм³), N-NH_4 – 6 мг/дм³ (разница с контролем 12 мг/дм³);

– увеличение эффекта биологической очистки при $t_a=6$ часов по ВВ и БПК₅ – 10,1 и 8,1 % соответственно, NH_4 – 26,2%; конечные концентрации ВВ и БПК₅ 25–26 мг/дм³ (разница с контролем – 21–22 мг/дм³), N-NH_4 – 10 мг/дм³ (разница с контролем 13 мг/дм³);

3. При “зимней” температуре (10°C) увеличение эффекта очистки снижается по сравнению с “летней” температурой и составляет:

– первичного отстаивания:

– $d=0,4$ г/м³: по ВВ и БПК₅ на 10–13%;

– $d=0,2$ г/м³: по ВВ и БПК₅ на 5–8%;

– биологической очистки при $t_a=9$ часов:

– $d=0,4$ г/м³: интенсификация по ВВ и БПК₅ – около 7%, по NH_4 – около 19%; конечные концентрации составляют: ВВ и БПК₅ – 24–25 мг/дм³ (разница с контролем – 20 мг/дм³), N-NH_4 – 13 мг/дм³ (разница с контролем – 10 мг/дм³);

– $d=0,2$ г/м³: интенсификация по ВВ и БПК₅ – около 5%, по NH_4 – около 10,6%; конечные концентрации составляют: ВВ и БПК₅ – 30–31 мг/дм³ (разница с контролем – 13 мг/дм³), N-NH_4 – 18 мг/дм³ (разница с контролем – 5 мг/дм³);

– биологической очистки при $t_a=6$ часов:

– $d=0,4$ г/м³: интенсификация по ВВ и БПК₅ – около 9%, по NH_4 – около 23%; конечные концентрации составляют: ВВ и БПК₅ – 25–27 мг/дм³ (разница с контролем – 24–26 мг/дм³), N-NH_4 – 16 мг/дм³ (разница с контролем – 12 мг/дм³);

– $d=0,2$ г/м³: интенсификация по ВВ и БПК₅ – около 6%, по NH_4 – около 16%; конечные концентрации составляют: ВВ и БПК₅ – 36 мг/дм³ (разница с контролем – 17 мг/дм³), N-NH_4 – 21 мг/дм³ (разница с контролем – 8 мг/дм³).

Таким образом, температура СВ оказывает значительное влияние на активность пробиотика: при “летней” температуре и дозе пробиотика $0,4 \text{ г/м}^3$ концентрации загрязнений снижаются до нормативных требований при $t_a=9$ часов и практически соответствуют нормам при $t_a=6$ часов. В тоже время в контрольных опытах при тех же вариантах конечные концентрации загрязнений гораздо выше. В вариантах с “зимней” температурой эффект от введения “Оксидола” также наблюдается, однако, более низкий, и конечные концентрации загрязнений не снижаются до требуемых показателей.

Сравнительные диаграммы повышения эффекта очистки при температурах 20 и 10 °С, дозах $0,4 \text{ г/м}^3$ и $0,2 \text{ г/м}^3$ и времени аэрации 9 часов приведены на рисунках 3.14.–3.15.

Очевидно, что использование пробиотика целесообразно на очистных сооружениях в теплое время года. Для КОС, расположенных в регионах, где температура на протяжении года не снижается ниже $16...18^\circ\text{C}$, применение пробиотика актуально круглогодично.

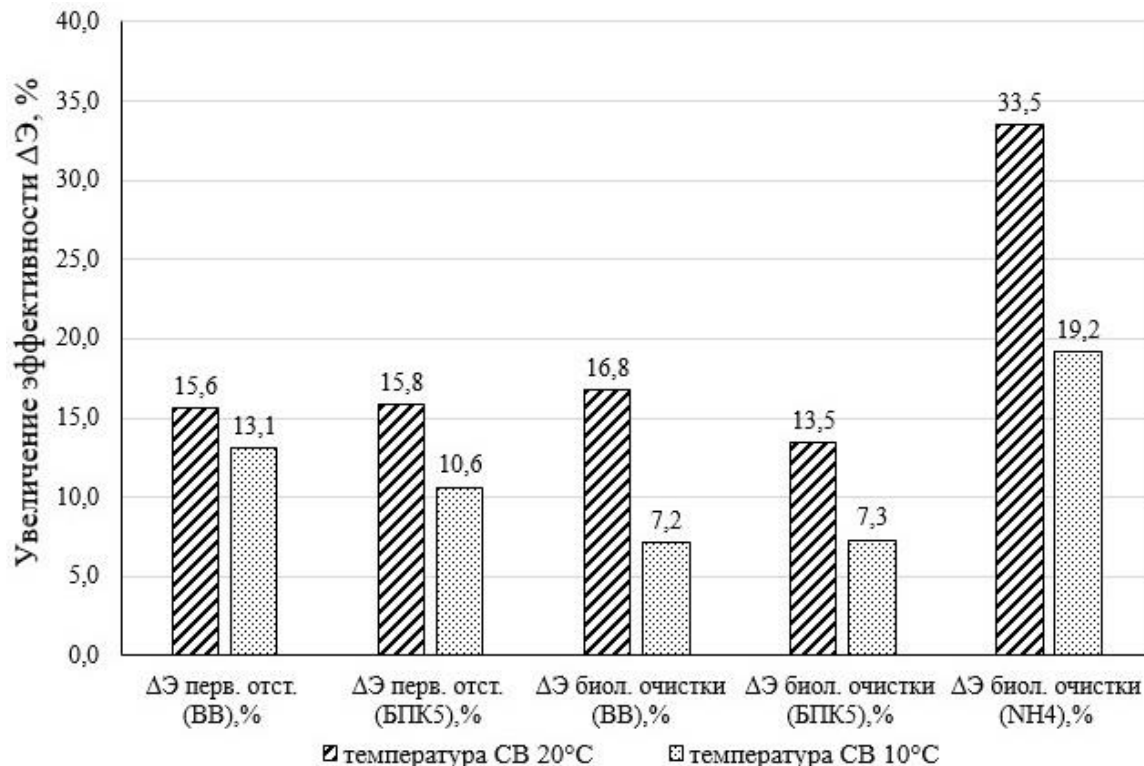


Рисунок 3.14 – Сравнительные диаграммы повышения эффекта очистки при температурах 20 и 10 °С (доза “Оксидола” – $0,4 \text{ г/м}^3$, t_a – 9 часов)

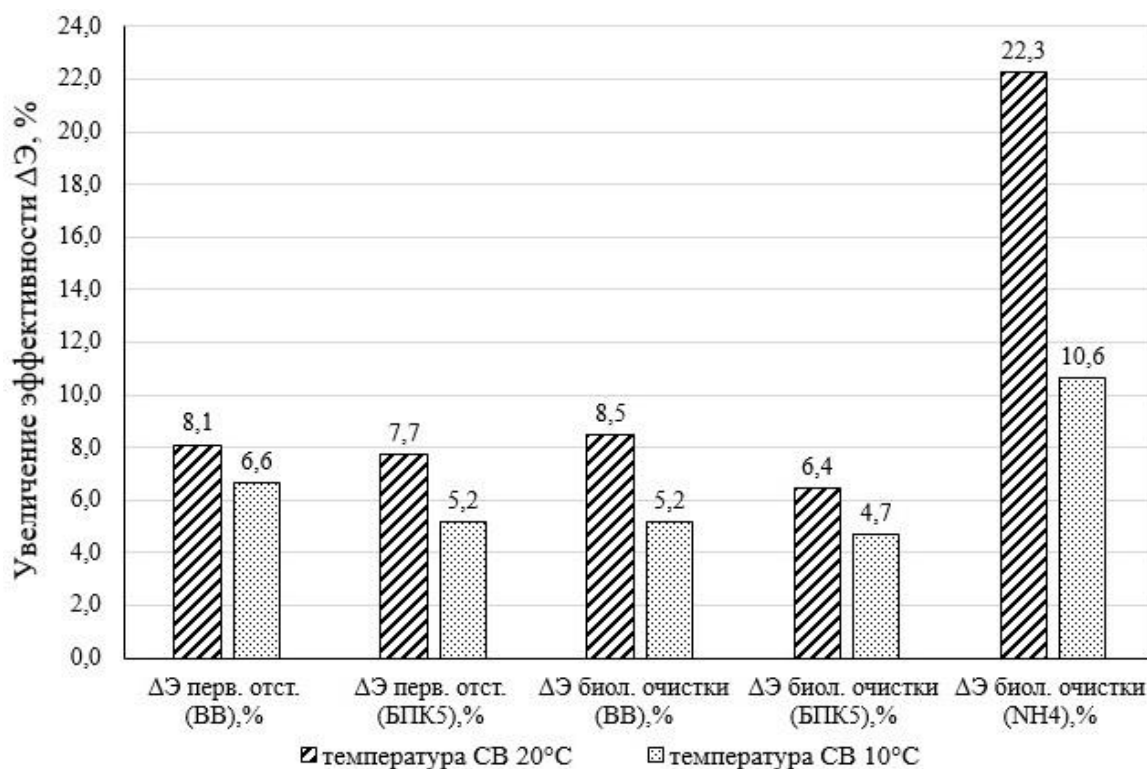


Рисунок 3.15 – Сравнительные диаграммы повышения эффекта очистки при температурах 20 и 10 °C (доза “Оксидола” – 0,2 г/м³, t_a – 9 часов)

Также выявлено, что при увеличении нагрузки на АИ эффективность “Оксидола” повышается. Однако, изменение нагрузки влияет на результативность пробиотика в гораздо меньшей степени, чем температура.

3.2.3 Построение математических моделей интенсификации очистки сточной воды с помощью пробиотика “Оксидол”

По полученным значениям увеличения эффекта очистки $\Delta Э$ (%) при введении пробиотического средства “Оксидол” в различных дозах, разной температуре СВ и различной нагрузке на АИ построены матрицы результатов экспериментов, выполнена их статистическая обработка и построены уравнения регрессии.

Как указывалось ранее, увеличение эффекта биологической очистки изучалось в зависимости от трех факторов (матричный план типа 2^3), поэтому для реализации всех возможных комбинаций уровней независимых факторов осуществлено $2^3=8$ опытов, каждый из которых повторялся 3 раза. Увеличение

эффекта механической очистки определялось в зависимости от двух факторов (температуры СВ и дозы пробиотика) и рассчитывалось по матрице типа 2^2 (4 опыта). Количество повторений каждого опыта для матрицы увеличения эффекта первичного отстаивания составило уже 6 повторений, поскольку в ней участвовали варианты с разным временем аэрации, но совпадающими первыми двумя факторами. При обработке результатов экспериментов и построении математических моделей использовалась литература по математическому планированию экспериментов [183;184].

В таблице 3.6 указаны уровни варьирования факторов в матрицах увеличения эффекта первичного отстаивания по взвешенным веществам и БПК₅.

Таблица 3.6 – Уровни и интервал варьирования факторов в матрицах повышения эффективности первичного отстаивания по ВВ и БПК₅

Уровни факторов	Обозначение	x ₁ (доза), мг/дм ³	x ₂ (температура), °C
Основной	0	0,3	15
Интервал варьирования	Δx	0,1	5
Верхний	+1	0,4	20
Нижний	-1	0,2	10

В таблице 3.7. приведена матрица ПФЭ 2^2 и результаты эксперимента по изучению интенсификации первичного отстаивания по взвешенным веществам, а также коэффициенты уравнения регрессии и итоги статистической обработки результатов.

Таблица 3.7 – Матрица ПФЭ 2² и результаты эксперимента по изучению интенсификации первичного отстаивания по взвешенным веществам

№	x ₀	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	\bar{y}_i	S_i^2	\tilde{y}_i	$(\tilde{y}_i - \bar{y}_i)^2$
1	+	-	+	-	8,0	7,8	8,5	5,4	10,2	8,1	8,00	2,390	8,70	0,490
2	+	+	+	+	16,4	16,0	14,4	18,5	14,0	17,6	16,15	3,041	15,44	0,504
3	+	-	-	+	8,4	6,6	4,9	7,2	9,4	5,3	6,97	3,082	6,26	0,504
4	+	+	-	-	10,8	15,4	13,1	8,2	14,7	11,5	12,29	7,181	13,00	0,504
	b ₀ = 10,85	b ₁ = 3,37	b ₂ = 1,22	b ₁₂ = 0,71										
	t ₀ = 24,66	t ₁ = 7,66	t ₂ = 2,77	t ₁₂ = 1,61										

$\Sigma S_i^2=15,694$, $S_y^2=3,924$, $S_{bi}^2=0,196$, $S_{bi}=0,440$, $t_{(0,05;20)}=1,72$, $S_{ад}^2=12,012$
 $G_{(0,05;5;4)}=0,590 > G_{\max}=0,458$. Опыты равноточны.
 $F=3,061 < F_{(0,05;1;20)}=4,351$. Математическая модель адекватна.

Коэффициенты регрессии (уравнения отклика) равны

$$b_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_{0i} \cdot \bar{y}_i, \quad (10)$$

где n – количество опытов.

$$b_0 = \frac{8,00 + 16,15 + 6,97 + 12,29}{4} = \frac{43,41}{4} = 10,85.$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_{1i} \cdot \bar{y}_i. \quad (11)$$

$$b_1 = \frac{-8,00 + 16,15 - 6,97 + 12,29}{4} = \frac{13,47}{4} = 3,37.$$

По аналогичным формулам находим: $b_2=1,22$, $b_{12}=0,71$.

Дисперсии опытов определяются по формуле (результаты расчета приведены в таблице 3.7)

$$S_i^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(y_i - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad (12)$$

где m – количество повторений в опытах.

Для определения равноточности и однородности проведения опытов воспользуемся критерием Кохрена G_{\max}

$$G_{\max} = \frac{S_{i\max}^2}{\sum S_i^2}, \quad (13)$$

где $S_{i\max}^2$ – максимальная дисперсия из n опытов;

$\sum S_i^2$ – суммарная дисперсия n опытов.

$$G_{\max} = \frac{7,181}{15,694} = 0,458.$$

Полученное значение критерия Кохрена G_{\max} сравниваем с табличным значением $G_{\text{табл}}$ при степенях свободы $v=m-1=6-1=5$ и $n=4$ и заданном уровне значимости $\alpha=0,05$.

$$G_{(0,05;5;4)}=0,590 > G_{\max}=0,458.$$

Так как полученное значение критерия Кохрена меньше, чем табличное, то дисперсии однородны и опыты проведены с одинаковой точностью, т.е. равноточны.

Далее вычисляем дисперсию воспроизводимости

$$S_y^2 = \frac{\sum S_i^2}{n}. \quad (14)$$

$$S_y^2 = \frac{2,390 + 3,041 + 3,082 + 7,181}{4} = 3,924.$$

Дисперсия коэффициентов регрессии определяется по формуле

$$S_{bi}^2 = \frac{1}{n(m-1)} \cdot S_y^2. \quad (15)$$

$$S_{bi}^2 = \frac{3,924}{4(6-1)} = 0,196; (S_{bi} = 0,440).$$

Далее вычисляются статистики Стьюдента для коэффициентов модели

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{bi}}. \quad (16)$$

$$t_0 = \frac{|b_0|}{S_{bi}} = \frac{10,85}{0,440} = 24,66; t_1 = 7,66; t_2 = 2,77; t_{12} = 1,61.$$

Табличное значение критерия Стьюдента (t-критерия) для принятого уровня значимости $\alpha=0,05$ и числа степеней свободы $f=n(m-1)=4(6-1)=20$ равно $t_{(0,05;20)}=1,71$ [185]. Значимы только те коэффициенты модели, для которых $t_i > t_{(0,05;20)}$. Так как $t_{12}=1,61 < t_{(0,05;20)}=1,71$, коэффициент b_{12} признается незначимо отличающимся от нуля.

Уравнение регрессии для матрицы 2^2 в общем случае имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2. \quad (17)$$

При подстановке значимых коэффициентов получаем

$$y = 10,85 + 3,37x_1 + 1,22x_2, \%. \quad (18)$$

По полученному уравнению подсчитаны значения \tilde{y}_i для условий каждого опыта в матрице и остаточные квадраты разности $(\tilde{y}_i - \bar{y}_i)^2$ (данные занесены в таблицу 3.7).

Уравнение регрессии интенсификации первичного отстаивания по БПК₅ в зависимости от температуры СВ и дозы “Оксидола” в кодированных переменных выглядит так

$$y=9,96+3,57x_1+1,79x_2, \% \quad (21)$$

Коэффициенты уравнений регрессии (18) и (21) при влияющих факторах (дозе пробиотика и температуре СВ) положительные, что говорит об увеличении прироста эффекта отстаивания при возрастании как первого фактора, так и второго. Коэффициенты первого влияющего фактора в уравнениях (18) и (21) примерно вдвое выше, чем второго, соответственно влияние дозы пробиотика на повышение эффекта первичного отстаивания примерно в два раза выше, чем температуры СВ. Коэффициенты при взаимодействии влияющих факторов статистически незначимы, то есть совместное увеличение или уменьшение факторов не приводит к значимому влиянию на увеличение эффективности.

Далее осуществлялся расчет матриц увеличения эффекта биологической очистки. При построении матрицы зависимости увеличения эффекта биологической очистки по БПК₅ нагрузка на ил оценивалась по БПК₅ по формуле (4), по взвешенным веществам – нагрузка определялась по взвешенным веществам по этой же формуле, по азоту аммонийному – нагрузку соответственно брали по азоту аммонийному.

Уровни факторов и матрицы определения моделей интенсификации биологической очистки сточной воды по БПК₅, взвешенным веществам и азоту аммонийному приведены в таблицах 3.9–3.14.

Таблица 3.9 – Уровни и интервал варьирования факторов в матрице повышения эффективности биологической очистки по БПК₅

Уровни факторов	Обозначение	x ₁ , (доза), г/м ³	x ₂ (температура), °С	x ₃ (нагрузка по БПК ₅), кгБПК ₅ /кг·сут
Основной	0	0,3	15	0,379
Интервал варьирования	Δx	0,1	5	0,074
Верхний	+1	0,4	20	0,453
Нижний	-1	0,2	10	0,305

Таблица 3.10 – Матрица ПФЭ 2³ и результаты эксперимента по изучению интенсификации биологической очистки по БПК₅

№	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃	y ₁	y ₂	y ₃	\bar{y}_i	S_i^2	\tilde{y}_i	$(\tilde{y}_i - \bar{y}_i)^2$
1	+	-	+	+	-	-	+	-	8,2	7,6	8,4	8,07	0,155	7,84	0,053
2	+	+	+	+	+	+	+	+	14,1	11,7	12,7	12,88	1,435	13,76	0,774
3	+	-	-	+	+	-	-	+	6,1	4,9	7,6	6,18	1,783	6,02	0,026
4	+	+	-	+	-	+	-	-	9,5	7,9	10,8	9,41	2,001	8,94	0,221
5	+	-	-	-	+	+	+	-	5,0	4,3	4,8	4,69	0,123	4,86	0,029
6	+	+	-	-	-	-	+	+	7,1	6,4	8,5	7,31	1,175	7,78	0,221
7	+	-	+	-	-	+	-	+	6,4	7,8	5,2	6,45	1,637	6,68	0,053
8	+	+	+	-	+	-	-	-	13,8	13,5	13,2	13,48	0,081	12,60	0,774
	b ₀ = 8,56	b ₁ = 2,21	b ₂ = 1,66	b ₃ = 0,58	b ₁₂ = 0,75	b ₁₃ = -0,20	b ₂₃ = -0,29	b ₁₂₃ = -0,35							
	t ₀ = 33,31	t ₁ = 8,60	t ₂ = 6,46	t ₃ = 2,26	t ₁₂ = 2,92	t ₁₃ = 0,78	t ₂₃ = 1,13	t ₁₂₃ = 1,36							
$\Sigma S_i^2=8,390$ $S_y^2=1,049$, $S_{b1}^2=0,066$, $S_{b2}^2=0,257$, $t_{(0,05;16)}=1,75$, $S_{ад}^2=2,151$ $G_{(0,05;2;8)}=0,516 > G_{max}=0,238$. Опыты равноточны. $F=2,051 < F_{(0,05;3;16)}=3,239$. Математическая модель адекватна.															

Уравнение регрессии для матрицы 2³ в общем случае имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (22)$$

При подстановке значимых коэффициентов получаем

$$y = 8,56 + 2,21x_1 + 1,66x_2 + 0,58x_3 + 0,75x_1x_2, \%. \quad (23)$$

Коэффициенты первого, второго и третьего факторов статистически значимые и положительные. Возрастание влияющих факторов приводит к повышению прироста эффективности очистки по БПК. Наиболее существенное влияние ожидаемо имеет первый фактор (доза пробиотика), далее по значимости – температура стоков. Наименьшее воздействие оказывает нагрузка на ил.

Существенное положительное влияние наблюдается при взаимодействии дозы препарата и температуры СВ (коэффициент – 0,75). Коэффициенты при остальных взаимодействиях факторов статистически незначимы. Незначимость коэффициентов при взаимодействиях косвенно подтверждает линейный характер уравнения регрессии. Нулевой коэффициент (b₀) или среднее значение прироста эффекта очистки составляет 8,56. Нулевой коэффициент показывает значение увеличения эффекта очистки при нахождении всех факторов на нулевом уровне, в этом случае ΔЭ составит 8,56 %.

Таблица 3.11 – Уровни и интервал варьирования факторов в матрице повышения эффективности биологической очистки по взвешенным веществам

Уровни факторов	Обозначение	x_1 (доза), г/м ³	x_2 , (температура), °С	x_3 , (нагрузка по ВВ), кг/кг·сут
Основной	0	0,3	15	0,305
Интервал варьирования	Δx	0,1	5	0,061
Верхний	+1	0,4	20	0,366
Нижний	-1	0,2	10	0,244

Таблица 3.12 – Матрица ПФЭ 2³ и результаты эксперимента по изучению интенсификации биологической очистки в аэротенке по ВВ

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_i	S_i^2	\tilde{y}_i	$(\tilde{y}_i - \bar{y}_i)^2$
1	+	-	+	+	-	-	+	-	10,9	9,5	9,9	10,10	0,491	9,82	0,078
2	+	+	+	+	+	+	+	+	15,8	16,3	15,6	15,91	0,114	16,86	0,902
3	+	-	-	+	+	-	-	+	5,8	6,4	7,7	6,63	0,909	6,42	0,044
4	+	+	-	+	-	+	-	-	9,3	9,0	9,1	9,17	0,021	8,70	0,221
5	+	-	-	-	+	+	+	-	6,2	3,9	5,4	5,17	1,363	5,36	0,036
6	+	+	-	-	-	-	+	+	7,4	6,8	7,3	7,16	0,129	7,64	0,230
7	+	-	+	-	-	+	-	+	9,1	9,7	6,6	8,48	2,577	8,76	0,078
8	+	+	+	-	+	-	-	-	17,0	17,9	15,4	16,75	1,689	15,80	0,902
	$b_0=$ 9,92	$b_1=$ 2,33	$b_2=$ 2,89	$b_3=$ 0,53	$b_{12}=$ 1,19	$b_{13}=$ -0,24	$b_{23}=$ -0,07	$b_{123}=$ -0,38							
	$t_0=$ 41,51	$t_1=$ 9,75	$t_2=$ 12,09	$t_3=$ 2,22	$t_{12}=$ 4,98	$t_{13}=$ 1,00	$t_{23}=$ 0,29	$t_{123}=$ 1,59							
$\Sigma S_i^2=7,293$, $S_y^2=0,912$, $S_{bi}^2=0,057$, $S_{bi}=0,239$, $t_{(0,05;16)}=1,75$, $S_{ад}^2=2,491$ $G_{(0,05;2;8)}=0,516 > G_{max}=0,353$. Опыты равнозначны. $F=2,731 < F_{(0,05;3;16)}=3,239$. Математическая модель адекватна.															

Уравнение регрессии интенсификации биологической очистки по взвешенным веществам в кодированных переменных равно

$$y=9,92+2,33x_1+2,89x_2+0,53x_3+1,19x_1x_2, \% \quad (24)$$

Характеристика полученного уравнения регрессии (24) аналогична уравнению (23). Коэффициенты всех факторов положительные и значимые, также значимо взаимодействие дозы пробиотика и температуры СВ. Значимость влияющих факторов располагается по убыванию в следующей последовательности: доза препарата, температура стоков, нагрузка на ил по взвешенным веществам. Среднее значение прироста эффекта очистки составляет 9,92%.

Таблица 3.13 – Уровни и интервал варьирования факторов в матрице повышения эффективности биологической очистки по азоту аммонийному

Уровни факторов	Обозначение	x_1 (доза), г/м ³	x_2 (температура), °С	x_3 (нагрузка по N-NH ₄), гN/кг·сут
Основной	0	0,3	15	88
Интервал варьирования	Δx	0,1	5	17
Верхний	+1	0,4	20	105
Нижний	-1	0,2	10	71

Таблица 3.14 – Матрица ПФЭ 2³ и результаты эксперимента по изучению интенсификации биологической очистки по азоту аммонийному

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_i	S_i^2	\tilde{y}_i	$(\tilde{y}_i - \bar{y}_i)^2$
1	+	-	+	+	-	-	+	-	28,2	21,4	28,9	26,18	17,062	25,40	0,608
2	+	+	+	+	+	+	+	+	37,0	32,4	42,2	37,21	24,220	33,92	10,824
3	+	-	-	+	+	-	-	+	14,9	13,4	20,4	16,25	13,500	17,42	1,369
4	+	+	-	+	-	+	-	-	22,6	17,6	28,9	23,06	31,757	25,94	8,294
5	+	-	-	-	+	+	+	-	12,8	10,9	8,2	10,64	5,236	6,84	14,440
6	+	+	-	-	-	-	+	+	19,7	19,9	7,3	15,63	52,011	15,36	0,073
7	+	-	+	-	-	+	-	+	20,5	23,2	23,1	22,27	2,254	25,66	11,492
8	+	+	+	-	+	-	-	-	33,2	31,2	36,0	33,49	5,868	34,18	0,476
	$b_0=$ 23,09	$b_1=$ 4,26	$b_2=$ 6,70	$b_3=$ 2,58	$b_{12}=$ 1,31	$b_{13}=$ 0,20	$b_{23}=$ -2,71	$b_{123}=$ -0,25							
	$t_0=$ 21,20	$t_1=$ 3,91	$t_2=$ 6,15	$t_3=$ 2,37	$t_{12}=$ 1,20	$t_{13}=$ 0,18	$t_{23}=$ 2,49	$t_{123}=$ 0,23							
$\Sigma S_i^2=151,908$, $S_y^2=18,989$, $S_{bi}^2=1,187$, $S_{bi}=1,089$, $t_{(0,05;16)}=1,75$, $S_{ад}^2=47,576$ $G_{(0,05;2;8)}=0,516 > G_{max}=0,342$. Опыты равнозначны. $F=2,505 < F_{(0,05;3;16)}=3,239$. Математическая модель адекватна.															

Уравнение регрессии интенсификации биологической очистки по азоту аммонийному в кодированных переменных принимает вид

$$y=23,09+4,26x_1+6,70x_2+2,58x_3-2,71x_2x_3, \% \quad (25)$$

Среднее значение прироста эффекта очистки по азоту аммонийному - 23,09%. Прямое влияние выбранных факторов положительное и значимое. Наибольшее влияние имеет температура стоков (коэффициент $b_2=6,7$), далее идет доза пробиотика ($b_1=4,26$) и нагрузка на ил по азоту аммонийному ($b_3=2,58$). Значимое отрицательное влияние оказывает взаимодействие второго и третьего факторов (температура СВ и нагрузка на ил), коэффициент $b_{23}= -2,71$, то есть при нахождении этих факторов на верхнем уровне, эффект очистки снижается на

2,71%. Влияние остальных взаимодействий факторов на отклик статистически незначимое.

Таким образом, получены уравнения регрессии интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки в аэротенке по БПК₅, взвешенным веществам и азоту аммонийному при введении раствора пробиотического препарата “Оксидол” перед первичным отстаиванием.

3.3 Определение рациональных параметров режима введения пробиотика “Оксидол”

Исследования по определению рациональных параметров режима введения пробиотика “Оксидол” осуществлялись в динамическом проточном режиме на установках, подробно описанных в разделе 2.3. Основными задачами данного этапа исследований было определение:

- оптимального шага снижения дозы пробиотика – Δd ;
- необходимой продолжительности подачи пробиотика одной дозой – T_d ;
- минимальной дозы “Оксидола” в режиме “поддержания” – d_{\min} ;
- влияния пробиотического препарата на количество образующихся осадков;
- влияния “Оксидола” на содержание растворенного кислорода;
- влияния пробиотика на микробиоценоз активного ила.

На начальном этапе произвели наладку работы установок и добились того, чтобы они работали в одинаковом режиме. Показатели очистки сточной жидкости должны были также быть одинаковыми.

Для определения оптимального шага снижения дозы пробиотика, минимальной продолжительности его подачи одной дозой и минимальной дозировки пользовались критерием сохранения эффекта очистки, полученного при введении начальной дозы. То есть требовалось определить оптимальные значения перечисленных параметров, при которых сохраняется эффект очистки, полученный при начальной дозировке. По этой причине было важно быстрое

получение результатов, свидетельствующих о степени очистки, для возможности оперативного реагирования.

Эффект очистки контролировали по взвешенным веществам и азоту аммонийному, так как методика их определения не требует значительного времени и возможно быстрое получение результатов. Анализ на БПК₅ был практически исключен, так как требует длительного времени. Контрольные измерения БПК₅ проводились три раза на стадии стабильной работы установок.

Концентрации взвешенных веществ и азота аммонийного определялись в СВ на входе и на выходе из очистных установок. Концентрации загрязнений после первичного отстаивания определялись только на стадии наладки, а также в первые два дня введения пробиотика и трижды во время стабильной подачи раствора “Оксидола” (в те же дни, когда осуществляли анализы по БПК₅).

Кроме того, определяли запах СВ после первичных отстойников, концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси, дозу ила по весу, дозу ила по объему, иловый индекс, удельный расход воздуха, осуществляли гидробиологический контроль АИ.

Для проведения эксперимента был выбран температурный режим теплого времени года, так как предыдущие исследования показали целесообразность использования “Оксидола” именно при “летней” температуре.

За все время проведения опыта температура сточной жидкости находилась на уровне 18...22 °С.

Период наладки составлял неделю со 2 по 8 марта 2015 г. За указанный интервал времени работа обеих установок была выведена на один уровень. Показатели очистки СВ на входе, после первичного отстаивания и на выходе из установок за период наладки приведены в таблице 3.15. Показатели очистки по взвешенным веществам и азоту аммонийному составляли: ВВ на выходе из первой линии 37 мг/дм³, из второй 38 мг/дм³; N-NH₄ – 19 и 17 мг/дм³ соответственно.

Удельный расход воздуха поддерживался на уровне 15 дм³ на 1 дм³ сточной жидкости. Концентрация растворенного кислорода составляла: 3,5 мгО₂/дм³ в

первой линии и 3,7 мгО₂/дм³ во второй. Доза ила по объему, по весу и иловый индекс были равны в 1-й и 2-й линиях соответственно: 25% и 24%; 2,2 г/дм³ и 2,3 г/дм³; 113 мл/г и 105 мл/г. Таким образом работа установок была полностью налажена и подготовлена для проведения опытов.

Начальной дозой подачи пробиотика была выбрана доза – 0,4 г/м³.

Таблица 3.15 – Показатели работы установок до подачи пробиотика 2-8.03.2015 г.

Показатели			Исходная СВ	СВ после первичного отстаивания	Биологически очищенная СВ
Температура воды, °С			19...22		
рН	Установка №1 (пробиотик)		7,61	–	7,35
	Установка №2 (контроль)			–	7,33
Взвешенные вещества	Установка №1 (пробиотик)	мг/дм³	291	177	37
		% снижения	–	39,2	79,1
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	291	180	38
		% снижения	–	38,1	78,9
	Разница между линиями, мг/дм³		–	3	1
	Разница между линиями, %		–	1,0	0,2
Азот аммонийный	Установка №1 (пробиотик)	мг/дм³	53	49	19
		% снижения	–	7,5	61,2
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	53	48	17
		% снижения	–	9,4	64,6
	Разница между линиями, мг/дм³		–	–1	–2
	Разница между линиями, %		–	–1,9	–3,4

На первой стадии определяли промежуток времени, в течение которого требуется подавать раствор пробиотика одной дозой перед тем как ее снижать.

Время аэрации в модельных аэротенках составляло 9 часов, время первичного отстаивания – 1 час 30 мин., пребывание в илоотделителе – 1 час 15 мин. Общее время нахождения в емкостях – 11 часов 45 мин. Таким образом за сутки через установки проходили две разные порции воды. Именно время прохождения пробиотиков со сточной водой по сооружениям очистки в 2-х кратном обмене (или 1 сутки для имеющихся установок) было выбрано начальным интервалом подачи пробиотика постоянной дозой.

Раствор пробиотика начали вводить в линию №1 9.03.15 г перистальтическим насосом-дозатором (степень открытия насоса 1%, расход

13 мл/ч). Анализ воды показал улучшение очистки в первой линии: ВВ на выходе составили 9 мг/дм³, N-NH₄ – 0,9 мг/дм³. Увеличение эффекта первичного отстаивания по ВВ составило 15,3%, биологической очистки по ВВ – 16,0%, по N-NH₄ – 34,7% (Таблица 3.16). Уровень запаха после первичных отстойников снизился с 5 до 3 и далее до 2 баллов.

Таблица 3.16 – Показатели работы установок при первой подаче “Оксидола” 9.03.2015 г

Показатели			Исходная СВ	СВ после первичного отстаивания	Биологически очищенная СВ
Температура воды, °С			20		
рН	Установка №1 (пробиотик)		7,65	–	7,02
	Установка №2 (контроль)			–	7,38
Взвешенные вещества	Установка №1 (пробиотик)	мг/дм³	287	131	9
		% снижения	–	54,4	93,1
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	287	175	40
		% снижения	–	39,0	77,1
	Разница между линиями, мг/ дм³		–	44	31
	Разница между линиями, %		–	15,3	16,0
Азот аммонийный	Установка №1 (пробиотик)	мг/дм³	55	51	0,9
		% снижения	–	7,3	98,2
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	55	52	19
		% снижения	–	5,5	63,5
	Разница между линиями, мг/ дм³		–	1	18,1
	Разница между линиями, %		–	1,8	34,7

Далее анализировалась только исходная СВ и биологически очищенная. Необходимая степень очистки сточной жидкости определялась по итоговым концентрациям ВВ и N-NH₄. Результаты последующих опытов с указанием концентраций загрязнений и параметры работы аэротенков за все время исследований приведены в приложении Д.

Через сутки (10.03.15 г.) дозу снизили на 10% – до 0,36 г/м³. При этом процесс очистки в первой линии явно ухудшился: ВВ на выходе 17 мг/дм³, N-NH₄ – 4 мг/дм³. Опыт показал, что требуется более длительное время подачи пробиотика в неизменной дозе. Это время было увеличено до 4-х кратной продолжительности прохождения сточной жидкости по очистной установке (в нашем случае двое суток).

В течение двух суток 11-12.03.2015 г. пробиотическое средство подавалось в линию №1 в исходной дозе $d=0,4 \text{ г/м}^3$. За это время отмечено снижение загрязнений на выходе: ВВ – 10 мг/дм^3 , N-NH_4 – $1,1 \text{ мг/дм}^3$. После чего доза была снижена на 10% ($0,36 \text{ мг/дм}^3$), этой дозой стоки обрабатывались еще двое суток (13-14.03.2015 г.). Эффект очистки за это время сохранился: ВВ – 9 мг/дм^3 , N-NH_4 – $1,3 \text{ мг/дм}^3$. Следующие двое суток (15-16.03.2015 г.) раствор в линию №1 подавался сниженный на 15 % от предыдущего – $0,3 \text{ мг/дм}^3$, 17-18.03.2015 г. снижение дозы составляло 20 % – $0,24 \text{ мг/дм}^3$. За время работы 15-18.03.15 г. эффект очистки сохранялся на достигнутом уровне.

Затем, 19-20.03.15 г. дозу пробиотика снизили на 25% и она составила $0,18 \text{ мг/дм}^3$. При этом показатели выходящей воды ухудшились: ВВ – 21 мг/дм^3 , N-NH_4 – 7 мг/дм^3 .

Таким образом установлено, что оптимальным является шаг снижения дозы пробиотика – 20%, а время подачи пробиотика одной дозой – 4-х кратное время прохождение сточной воды по сооружениям.

Для подтверждения выявленной закономерности опыт был начат заново, аэротенки опорожнены и АИ в них заменен. Подачу пробиотика возобновили с начальной дозы $0,4 \text{ мг/дм}^3$ и через каждые двое суток снижали на 20%.

Таким образом, с 21.03.15 г. по 13.04.15 г. дозы пробиотика снижались через каждые двое суток в следующей последовательности: $0,4-0,32-0,26-0,21-0,17-0,14-0,11-0,09-0,07-0,06-0,05-0,04 \text{ г/м}^3$. На протяжении указанного времени эффективность очистки в линии №1 была стабильно увеличена.

Усредненные показатели работы установок за это время приведены в таблице 3.17.

Взвешенные вещества на входе составляли в среднем 285 мг/дм^3 , на выходе из первой установки – $9,4 \text{ мг/дм}^3$ (процент очистки – 96,7%), из второй – 39 мг/дм^3 (процент очистки – 86,3 %). Разница в концентрациях между линиями составила в среднем $29,6 \text{ мг/дм}^3$, увеличение общего эффекта очистки – 10,4%.

Азот аммонийный в исходной воде был в среднем 54 мг/дм^3 , на выходе из первой установки – $1,0 \text{ мг/дм}^3$ (процент очистки – 98,1%), из второй – 18 мг/дм^3

(процент очистки – 66,7%). Разница между линиями по выходным концентрациям $N-NH_4$ – 17,0 мг/дм³, увеличение эффекта очистки по $N-NH_4$ – 31,4%.

Таблица 3.17 – Усредненные показатели исходной и очищенной сточной воды за время стабильной работы установки с 21.03.15 г. по 13.04.15 г.

Показатели			Исходная СВ	Биологически очищенная вода
Взвешенные вещества	Установка №1 (с пробиотиком)	мг/дм ³	285	9,4
		% снижения	–	96,7
	Установка №2 (контроль)	мг/дм ³	285	39
		% снижения	–	86,3
	Разница между линиями, мг/дм³		–	29,6
	Разница между линиями, %		–	10,4
Азот аммонийный	Установка №1 (с пробиотиком)	мг/дм ³	54	1,0
		% снижения	–	98,1
	Установка №2 (контроль)	мг/дм ³	54	18
		% снижения	–	66,7
	Разница между линиями, мг/дм³		–	17,0
	Разница между линиями, %		–	31,4

Контрольные определения БПК₅ в СВ после первичного отстаивания осуществлялись 25-26.03.15 г., 2-3.04.15 г. и 8-9.04.15 г. при дозах пробиотика соответственно 0,26 г/м³, 0,11 г/м³ и 0,06 г/м³ (приложение Д). В очищенной воде в линии №1 в указанные периоды БПК₅ составило 10, 10 и 8 мгО₂/дм³ соответственно, тогда как в контрольной линии показатели были равны 40, 37, 42 мгО₂/дм³. Контрольные измерения БПК₅ подтвердили, что этот показатель очистки снижался примерно в такой же степени, как и взвешенные вещества.

Анализ СВ после первичного отстаивания показал, что интенсификация этого процесса при введении “Оксидола” происходит в ожидаемой степени: процент снижения ВВ и БПК₅ после первичных отстойников увеличивается на 14...16%.

В период 14-15.04.15 г. дозу подаваемого пробиотического средства уменьшили до 0,03 мг/дм³. В результате уменьшения дозы до указанного значения показатели очистки в первой линии значительно ухудшились: ВВ – 22 мг/дм³, $N-NH_4$ – 6 мг/дм³.

На следующие двое суток дозу пробиотика увеличили до $0,2 \text{ г/м}^3$ (50% от начальной). В результате эффективность очистки в установке №1 повысилась до прежнего уровня: ВВ – 12 мг/дм^3 , N-NH₄ – $1,5 \text{ мг/дм}^3$.

В следующие сутки подачу “Оксидола” в линию №1 прекратили. За это время параметры очистки снизились: ВВ – 21 мг/дм^3 , N-NH₄ – 8 мг/дм^3 .

Затем на двое суток вернулись к дозе $0,2 \text{ г/м}^3$. Показатели очистки вновь вернулись на прежние уровни: ВВ – 11 мг/дм^3 , N-NH₄ – $1,2 \text{ мг/дм}^3$.

После этого снова прекратили подачу раствора пробиотического средства, но уже на двое суток. Взвешенные вещества на выходе за это время составили 29 мг/дм^3 , N-NH₄ – 12 мг/дм^3 .

Следующие двое суток подачу пробиотика возобновили дозой $0,2 \text{ г/м}^3$. Однако достигнуть прежней эффективности очистки уже не удалось: ВВ на выходе – 19 мг/дм^3 , N-NH₄ – 8 мг/дм^3 . На этом эксперимент был завершен.

Таким образом опытным путем установлено, что предельная минимальная доза “Оксидола”, позволяющая сохранить заданный эффект очистки, – $0,04 \text{ г/м}^3$.

Также определено, что при выходе в режим “поддержания” и прекращения подачи раствора пробиотика на время до 2-х продолжительности пребывания сточной жидкости в сооружениях для восстановления полученного эффекта очистки требуется возобновить подачу раствора с 50% дозой от начальной. В случае прекращения подачи пробиотика на время более 2-х кратной продолжительности пребывания СВ в сооружениях, для достижения необходимой степени очистки потребуется начать режим “насыщения” заново с начальной максимальной дозы.

За время стабильной работы установки №1 с повышенным эффектом очистки (с 21.03.15 г. по 13.04.15 г.) выявлены важные закономерности влияния “Оксидола” на процессы механической и биологической очистки.

Водородный показатель исходной СВ колебался в пределах 7,65...7,91. На выходе из установки с пробиотиком рН составлял 6,98...7,41, из контрольной установки – 7,33...7,62. Более низкие значения водородного показателя на выходе

из первой установки связаны с протеканием более полного процесса нитрификации и соответственного подкисления жидкости.

Уровень запаха, определяемый в исходной воде и отстоянной в первичном отстойнике в линии №2, находился без изменений и соответствовал уровню 5 баллов. В линии №1 через 2 часа с момента подачи пробиотика дозой 0,4 г/м³ запах в отстоянной воде снижался до 2–3 баллов. Далее в моменты снижения эффекта очистки, уровень запаха повышался. Однако, за время стабильной работы установки (с 21.03.15 г. по 8.04.15 г.) уровень выделения зловонных газов от первичного отстойника стабильно находился на уровне 2–3 баллов. Таким образом, введение пробиотика обеспечило эффективное снижение уровня запаха после первичного отстаивания.

Сточная вода контрольной линии, прошедшая биологическую очистку, имела запах на уровне 1–2 баллов (за счет недостаточной очистки по азоту аммонийному), тогда как в линии с пробиотиком запах биологически очищенной воды составлял 0 баллов.

Пленка плавающих веществ на поверхности отстойника №1 была заметно меньше, чем в контрольном отстойнике. Этот факт связан с расщеплением части липидных веществ пробиотическими бактериями.

Количество удаляемого осадка за сутки составляло в среднем 132...176 мл из первичного отстойника №2 (Таблица 3.18). Влажность осадка – 96...97 %. В то же время объем удаляемого осадка отстойника №1 – 103...121 мл в сутки с влажностью 93...94 %.

Таблица 3.18 – Среднее суточное количество образующегося сырого осадка

Вариант опыта	Объем осадка, мл	Масса по сухому веществу, г	Влажность, %
Пробиотик	103...121	7,2	93...94
Контроль	132...176	5,3	96...97

Так как уровень задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках при введении пробиотика выше, чем в контроле, то и количество образующегося

осадка по сухому веществу выше в отстойнике с пробиотиком. Однако, объем сырого осадка в линии с пробиотиком в среднем на 27% меньше по сравнению с контролем за счет более низкой влажности осадка. Влажность сырого осадка при введении “Оксидола” снижается в среднем на 3%.

В начале повторного запуска установки концентрация АИ в аэротенках №1 и №2 составляла 2,05 и 2,08 г/дм³ соответственно. Далее содержание ила постепенно увеличивалось и через 6 суток достигло 3,23 и 3,82 г/дм³. Так как при увеличении дозы АИ свыше 4 г/дм³ возникает опасность его выноса, потребовался сброс избыточного АИ из аэротенка №2. Удаление избыточного АИ из первой линии можно было осуществить позже, поскольку его прирост меньше. Однако, избыточный ил удалили одновременно из обоих аэротенков, чтобы сохранять одинаковые условия как для контрольной линии, так и для линии с добавлением “Оксидола”. После сброса избыточного ила его концентрации в иловой смеси составили 2,17 и 2,11 г/дм³ в первой и второй линии соответственно. В дальнейшем доза ила приростала в аэротенках с аналогичными скоростями, после чего следовало удаление избытков. Графики изменения концентрации АИ в установках №1 и №2 с 21.03.15 г. по 13.04.15 г. представлены на рисунке 3.16.



Рисунок 3.16 – Изменение концентрации АИ в иловых смесях лабораторных установок за время стабильной работы

Всего за время стабильного введения раствора пробиотика прирост АИ P_i составлял в среднем $89,4 \text{ мг/дм}^3$, в контрольной линии – $123,9 \text{ мг/дм}^3$. За счет введения пробиотика прирост АИ сократился на: $(123,9 - 89,4) \cdot 100 / 123,9 = 28\%$.

Суммарный объем сброшенного ила из первого аэротенка составил 686 мл (влажность 98,5%), из второго 1427 мл (влажность 99,0%). Баланс количества ИАИ приведен в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Суммарный баланс количества ИАИ, образовавшегося за время стабильного введения пробиотика

Вариант опыта	Суммарный объем ИАИ, мл	Масса по сухому веществу, г	Влажность, %
Пробиотик	686	10,30	98,5
Контроль	1427	14,27	99,0

Таким образом, за счет уменьшения скорости прироста ила и снижения его влажности объем удаленного избыточного АИ уменьшился на 52%.

Иловый индекс в иловой смеси аэротенка №2 во второй стадии опыта был стабилен и находился в пределах 107...121 мл/г. В аэротенке №1 с момента вторичного запуска установки (21.03.15 г.) в первые двое суток иловый индекс находился на уровне 120 мл/г. В конце четвертых суток работы значение илового показателя снизилось до 107 мл/г. Далее наблюдалось постепенное стабильное уменьшение илового индекса и в конце 16-х суток его величина составила 73 мл/г. Оставшееся время стабильного воздействия пробиотика на процесс очистки иловый индекс колебался от 69 до 75 мл/г (Рисунок 3.17).

Следует отметить, что введение “Оксидола” не только снизило скорость прироста массы ила, но и привело к его уплотнению, снижению илового индекса, что благоприятно сказалось на работе илоотделителя №1 и позволило уменьшить вынос взвеси из него.

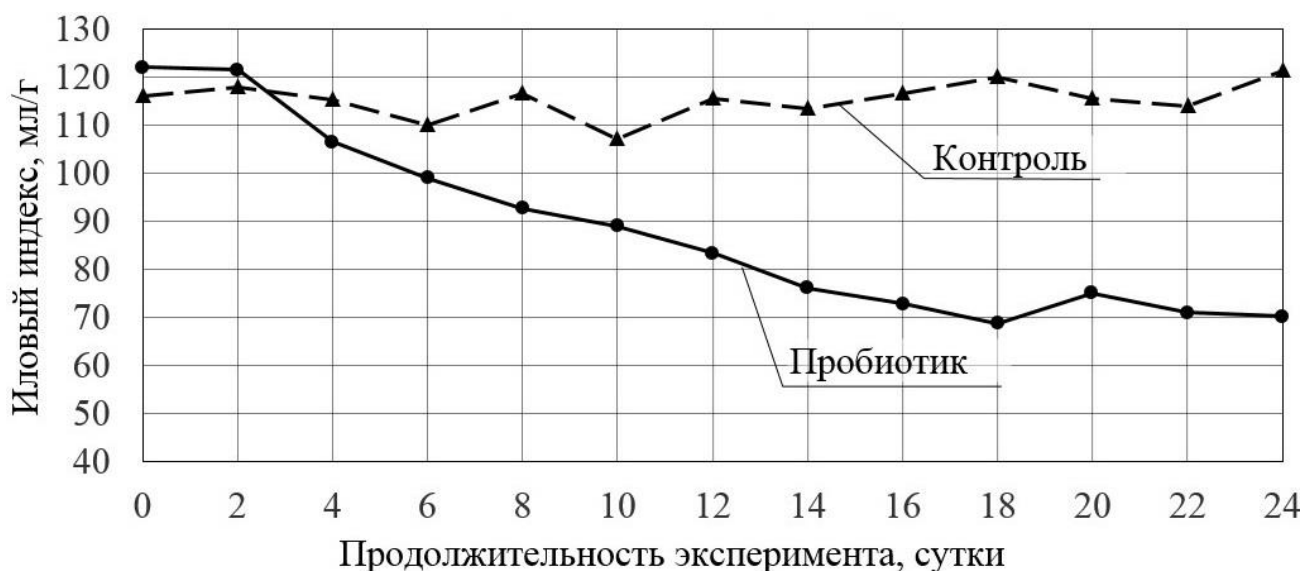


Рисунок 3.17 – Изменение величины илового индекса в иловых смесях лабораторных установок за время стабильной работы

Удельный расход воздуха в оба аэротенка в начале эксперимента составлял $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$, подача воздуха в один аэротенк – $3 \text{ дм}^3/\text{час}$. Концентрации растворенного кислорода в иловой смеси контрольной и подопытной установок равнялись $3,7$ и $3,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ соответственно. В линии с пробиотиком с момента подачи “Оксидола” концентрация O_2 начала постепенно увеличиваться и на двенадцатые сутки (1.04.2015 г., $d=0,14 \text{ г/м}^3$) достигла значения $5,1 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. В контроле O_2 составлял $3,7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

Учитывая значительную разницу в концентрациях кислорода, подачу воздуха в аэротенк №1 в период 2-3.04.15 г. сократили до $2,4 \text{ дм}^3/\text{ч}$ (удельный расход воздуха – $12 \text{ дм}^3/\text{дм}^3$), при этом содержание кислорода снизилось до $4,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. После чего подачу воздуха в линию №1 снизили еще – до $2 \text{ дм}^3/\text{час}$ (удельный расход воздуха – $10 \text{ дм}^3/\text{дм}^3$), в результате концентрация O_2 в ней упала до $3,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. В дальнейшем концентрация O_2 в обоих аэротенках находилась примерно на одном уровне – $3,3...3,8 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Удельный расход воздуха составил $10 \text{ дм}^3/\text{дм}^3$ в аэротенке №1 и $15 \text{ дм}^3/\text{дм}^3$ в аэротенке №2, то есть подачу воздуха в линию с пробиотиком сократили на 33%. Графики изменения концентрации растворенного O_2 в лабораторных биореакторах с 21.03.15 г. по 13.04.15 г. представлены на рисунке 3.18.

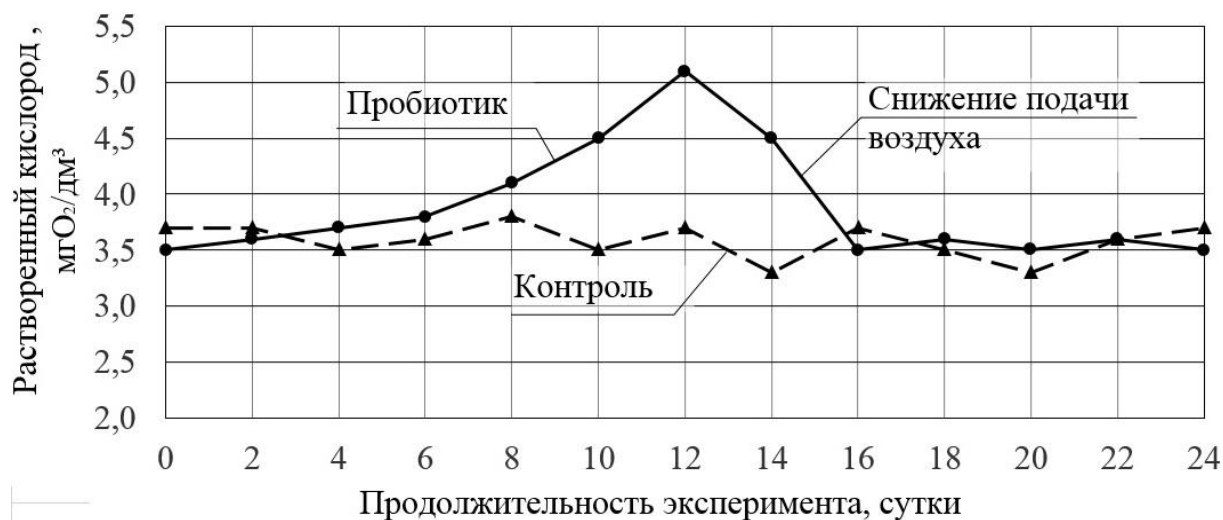


Рисунок 3.18 – Изменение концентрации растворенного кислорода в иловых смесях лабораторных установок за время стабильной работы

Гидробиологические анализы АИ азротенков на протяжении эксперимента показали следующее. Видовой состав АИ в линии с пробиотиком насчитывал 10–12 видов микроорганизмов, в том числе: прикрепленные и свободноплавающие инфузории (*Vorticella*, *Opercularia*, *Epistulis*, *Paramecium*, *Euplotes*, *Aspidisca*), раковинные амёбы (*Arcella*, *Euqlypha*), круглые и щетинистые черви, несколько видов коловраток. Видовой состав микробиоценоза соответствовал хорошо работающему АИ.

В АИ линии №2 количество наблюдаемых видов микроорганизмов составляло от 7–9. В основном это были инфузории (*Vorticella*, *Opercularia*, *Paramecium*), амёбы (*Arcella*), щетинистые черви и 1–2 вида коловраток. Отмечена разница в численности и подвижности простейших микроорганизмов: в линии с пробиотиком численность простейших животных, их подвижность и активность были выше, чем в иле контрольной линии.

3.4 Выводы по третьему разделу

1. Исследован процесс интенсификации очистки СВ с помощью различных пробиотиков. Выполнены сравнительные испытания пяти пробиотических препаратов (PIP+Water, “Оксидол”, SCD Bio Klean, Microbes и “Водограй”). Определен наиболее эффективный и экономичный препарат – “Оксидол”.

2. Установлен оптимальный диапазон доз “Оксидола” – 0,2...0,4 г/м³.

3. Экспериментально получены математические модели увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки при введении “Оксидола”. В исследованных интервалах влияющих факторов наибольший прирост эффекта очистки получен при дозе препарата 0,4 г/м³, “летней” температуре СВ (20°C) и нагрузке на АИ 0,305 кгБПК₅/кг·сут: увеличение эффекта очистки при первичном отстаивании по ВВ и БПК₅ – 15...18%; при биологической очистке по ВВ – 16,8%, БПК₅ – 13,5% и N-NH₄ – 33,5%.

4. Температура СВ оказывает существенное положительное влияние на эффективность пробиотика, поэтому его использование наиболее выгодно в “летнее” время года.

5. Выполнены экспериментальные исследования и определены рациональные параметры режима введения пробиотического средства “Оксидол”: оптимальный шаг снижения дозы – 20% от подаваемой, продолжительность подачи пробиотика одной дозой – 4-х кратное время пребывания СВ в сооружениях очистки, минимальная доза пробиотика, позволяющая сохранить достигнутый эффект, – 0,04 г/м³.

6. Установлено, что при введении “Оксидола” наблюдаются следующие благоприятные воздействия на процессы очистки СВ:

- уровень запаха осветленной сточной воды снижается с 5 до 2–3 баллов,
- сокращается объем сырого осадка на 27% за счет снижения его влажности на 3%;
- снижается объем избыточного АИ на 52% за счет уменьшения его прироста по сухому веществу на 28% и влажности на 0,5%;
- увеличивается уровень растворенного кислорода в иловой смеси, что позволяет сократить расход воздуха на аэрацию на 33%,
- увеличивается разнообразие видов микроорганизмов АИ, повышается их численность (встречаемость) и подвижность (активность).

РАЗДЕЛ 4 ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ Г. НОВОАЗОВСКА С ПОМОЩЬЮ ПРОБИОТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

4.1 Промышленные испытания пробиотического препарата “Оксидол” на канализационной очистной станции г. Новоазовска

Для определения воздействия пробиотического средства “Оксидол” на процессы очистки СВ в промышленных условиях осуществлены исследования на станции биологической очистки г. Новоазовска.

Схема очистной станции описана в подразделе 1.1. Фактическое количество СВ, поступающей на очистку, во время проведения эксперимента составляло в среднем 1800 м³/сут. В работе находились две линии блоков емкостей (№3 и №4). На каждую линию поступало около 900 м³/сут. Среднечасовое поступление сточных вод на одну линию – 37,5 м³/ч. Максимальный часовой расход определялся производительностью насосов КНС, подающих СВ на очистку, и оказался равен 110 м³/ч или 55 м³/ч на одну линию. Коэффициент неравномерности $K_{gen.max.} = 1,47$.

Объем одного первичного отстойника – 104 м³. Время отстаивания при максимальном притоке равно, таким образом, $104/55=1,9$ часа. Размеры вторичных отстойников такие же, как и первичных, поэтому время отстаивания в них аналогичное. Объем одного аэротенка равен 302 м³. Время аэрации составляло $302/37,5=8,05$ часа.

Показатели очистки СВ до начала введения пробиотика, усредненные за одну неделю с 29.06.2015 г. по 05.07.2015 г. приведены в таблице 4.1.

Анализ работы очистных сооружений до введения пробиотического средства указывает на значительные превышения установленных норм ПДС в очищенной воде. Степень очистки СВ по обеим линиям примерно одинакова. Уровень запаха СВ, поступающей на очистку и находящейся в первичных отстойниках, традиционно высокий.

Таблица 4.1 – Показатели работы КОС г. Новоазовска 29.06.2015г.-
05.07.2015 г. (до введения “Оксидола”)

Показатели			После решеток	После первичных отстойников	Аэротенки	После вторичных отстойников
Температура воды, °С			21,3	-	21,0	20,8
рН	Линия №3 (пробиотик)		8,21	-	-	7,86
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,84
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	294	231	-	39
		% снижения	-	21,4	-	83,1
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	294	234	-	41
		% снижения	-	20,4	-	82,5
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	3	-	2
	Разница между линиями, %		-	1,0	-	0,6
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	290	175	-	39
		% снижения	-	39,7	-	77,7
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	290	170	-	37
		% снижения	-	41,4	-	78,2
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	-5	-	-2
	Разница между линиями, %		-	-1,7	-	-0,5
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	55	50	-	17
		% снижения	-	9,1	-	66,0
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	55	51	-	18
		% снижения	-	7,3	-	64,7
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	1	-	1
	Разница между линиями, %		-	1,8	-	1,3
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	470	-	-	120
		% снижения	-	-	-	74,5
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	470	-	-	110
		% снижения	-	-	-	76,6
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	-10
	Разница между линиями, %		-	-	-	-2,1
NO ₂ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	0,8
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	1,2
NO ₃ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	89
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	84
PO ₄ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		15	-	-	10
	Линия №4 (контроль)		15	-	-	11
Доза ила по объему, %,	Линия №3 (пробиотик)		-	-	29	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	30	-
Доза ила по весу, г/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	2,60	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	2,83	-
Иловый индекс, мл/г	Линия №3 (пробиотик)		-	-	112	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	107	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	3,8	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	3,7	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		14·10 ⁷	-	-	6·10 ⁶
	Линия №4 (контроль)		14·10 ⁷	-	-	4·10 ⁶
Коли-фаги, БОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	2·10 ⁶
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	5·10 ⁶
Остаточный хлор, мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	-

Начальная доза введения “Оксидола” определялась по полученным уравнениям регрессии, пересчитанным на натуральные переменные. Расчет осуществляется в следующей последовательности.

1. Рассчитывается требуемый эффект биологической очистки $\mathcal{E}_{\text{треб.}(i)}$, %, который необходим для достижения установленных норм по каждому загрязнению по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{треб.}(i)} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{ПДК}(i)}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100, \quad (26)$$

где $C_{\text{ПДК}(i)}$ – предельно-допустимая концентрация i -го загрязнения на выходе из очистной станции, мг/дм³;

$C_{\text{вх}}$ – концентрации загрязнений на входе в аэротенк, мг/дм³ (таблица 4.1).

Предельно допустимые концентрации в сбрасываемых сточных водах для очистной станции г. Новоазовска составляют:

- БПК₅ – 15 мгО₂/дм³;
- взвешенные вещества – 15 мг/дм³;
- азот аммонийный – 2 мг/дм³.

Требуемые эффекты биологической очистки сточных вод равны:

$$\mathcal{E}_{\text{треб.}(БПК_5)} = \frac{231 - 15}{231} \cdot 100 = 93,5\%,$$

$$\mathcal{E}_{\text{треб.}(ВВ)} = \frac{175 - 15}{175} \cdot 100 = 91,4\%,$$

$$\mathcal{E}_{\text{треб.}(NH_4)} = \frac{50 - 2}{50} \cdot 100 = 96,0\%.$$

2. Рассчитывается необходимая степень повышения эффекта биологической очистки $\Delta\mathcal{E}_{(i)}$, %, по трем показателям, учитывая существующий эффект (таблица 4.1., линия №3) и требуемый по формуле

$$\Delta\mathcal{E}_{(i)} = \mathcal{E}_{\text{треб.}(i)} - \mathcal{E}_{\text{сущ.}(i)}. \quad (27)$$

$$\Delta\mathcal{E}_{БПК_5} = \mathcal{E}_{\text{треб.}(БПК_5)} - \mathcal{E}_{\text{сущ.}(БПК_5)} = 93,5 - 83,1 = 10,4\%,$$

$$\Delta\mathcal{E}_{ВВ} = \mathcal{E}_{\text{треб.}(ВВ)} - \mathcal{E}_{\text{сущ.}(ВВ)} = 91,4 - 77,7 = 13,7\%,$$

$$\Delta\mathcal{E}_{NH_4} = \mathcal{E}_{\text{треб.}(N-NH_4)} - \mathcal{E}_{\text{сущ.}(N-NH_4)} = 96,0 - 66,0 = 30,0\%.$$

3. Определяются дозы пробиотического средства “Оксидол” необходимые для получения заданного $\Delta\mathcal{E}$ по каждому ингредиенту по формулам:

– по БПК₅

$$d_{\text{БПК}_5} = \frac{0,735 - \Delta\mathcal{E}_{\text{БПК}_5} - 0,118t + 7,82q_{\text{БПК}_5}}{0,4 - 1,5t}, \text{ г/м}^3, \quad (28)$$

где t – температура сточной воды, 21 °С;

$q_{\text{БПК}_5}$ – нагрузка на активный ил по БПК₅, кгБПК₅/(кг·сут);

– по взвешенным веществам по формуле

$$d_{\text{ВВ}} = \frac{2,315 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ВВ}} - 0,136t + 8,7q_{\text{ВВ}}}{12,4 - 2,38t}, \text{ г/м}^3, \quad (29)$$

где $q_{\text{ВВ}}$ – нагрузка на активный ил по взвешенным веществам, кг/(кг·сут);

– по азоту аммонийному по формуле

$$d_{\text{NH}_4} = \frac{69,29 + \Delta\mathcal{E}_{\text{N-NH}_4} - 4,35t - 0,668q_{\text{N-NH}_4} + 0,034tq_{\text{N-NH}_4}}{42,6}, \text{ г/м}^3, \quad (30)$$

где $q_{\text{N-NH}_4}$ – нагрузка на активный ил по азоту аммонийному, гN/(кг·сут).

Нагрузки на ил определяются по формуле (8)

$$q_{\text{БПК}_5} = \frac{24 \cdot 231}{1000 \cdot 2,6(1 - 0,3) \cdot 8,05} = 0,381 \text{ кг/кг} \cdot \text{сут},$$

$$q_{\text{ВВ}} = \frac{24 \cdot 175}{1000 \cdot 2,6(1 - 0,3) \cdot 8,05} = 0,288 \text{ кг/кг} \cdot \text{сут},$$

$$q_{\text{N-NH}_4} = \frac{24 \cdot 50}{2,6(1 - 0,3) \cdot 8,05} = 82,4 \text{ г/кг} \cdot \text{сут}.$$

Требуемые дозы пробиотика составляют

$$d_{\text{БПК}_5} = \frac{0,735 - 10,4 - 0,118 \cdot 21 + 7,82 \cdot 0,381}{0,4 - 1,5 \cdot 21} = 0,29 \text{ г/м}^3$$

$$d_{\text{ВВ}} = \frac{2,315 - 13,7 - 0,136 \cdot 21 + 8,7 \cdot 0,288}{12,4 - 2,38 \cdot 21} = 0,31 \text{ г/м}^3$$

$$d_{\text{NH}_4} = \frac{69,29 + 30,0 - 4,35 \cdot 21 - 0,668 \cdot 82,4 + 0,034 \cdot 21 \cdot 82,4}{42,6} = 0,28 \text{ г/м}^3$$

4. Из трех полученных доз выбирается максимальная (0,31 г/м³) и принимается начальной дозой введения пробиотика.

5. Вычисляется повышение эффекта первичного отстаивания $\Delta\mathcal{E}_{\text{отст.}(i)}$, %, и биологической очистки $\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(i)}$, %, СВ с учетом принятой начальной дозы, температуры СВ и нагрузки на ил по загрязненным:

– первичного отстаивания по ВВ

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{отст.}(ВВ)} = -2,91 + 33,7d + 0,244t, \quad (31)$$

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{отст.}(ВВ)} = -2,91 + 33,7 \cdot 0,31 + 0,244 \cdot 21 = 12,7\%;$$

– первичного отстаивания по БПК₅

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{отст.}(БПК_5)} = -6,13 + 35,7d + 0,358t, \quad (32)$$

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{отст.}(БПК_5)} = -6,13 + 35,7 \cdot 0,31 + 0,358 \cdot 21 = 12,5\%;$$

– биологической очистки по БПК₅

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(БПК_5)} = 0,735 - 0,4d - 0,118t + 7,82q_{БПК_5} + 1,5dt, \quad (33)$$

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(БПК_5)} = 0,735 - 0,4 \cdot 0,31 - 0,118 \cdot 21 + 7,82 \cdot 0,381 + 1,5 \cdot 0,31 \cdot 21 = 10,9\%;$$

– биологической очистки по ВВ

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(ВВ)} = 2,315 - 12,4d - 0,136t + 8,7q_{ВВ} + 2,38dt, \quad (34)$$

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(ВВ)} = 2,315 - 12,4 \cdot 0,31 - 0,136 \cdot 21 + 8,7 \cdot 0,288 + 2,38 \cdot 0,31 \cdot 21 = 13,6\%;$$

– биологической очистки по N-NH₄

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(NH_4)} = -69,29 + 42,6d + 4,35t + 0,668q_{N-NH_4} - 0,034tq_{N-NH_4}, \quad (35)$$

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(NH_4)} = -69,29 + 42,6 \cdot 0,31 + 4,35 \cdot 21 + 0,668 \cdot 82,4 - 0,034 \cdot 21 \cdot 82,4 = 31,4\%.$$

По принятой максимальной дозе 0,31 г/м³ рассчитывается режим введения раствора пробиотика в течение восьми недель с учетом снижения дозы через каждые двое суток. Общее время прохождения СВ по сооружениям: первичный отстойник, аэротенк, вторичный отстойник, равно: 1,9+1,9+8,05= 11 часов 50 мин. За сутки по емкостям очистки проходят две разные порции воды, за двое суток – четыре. То есть шаг снижения дозы “Оксидола” через двое суток равен 4-х кратному времени прохождения сточной жидкости по сооружениям, что, как было установлено в лабораторных исследованиях, позволит при сокращении дозы препарата поддерживать необходимый увеличенный эффект очистки. Снижение дозы осуществляли до минимального значения 0,04 г/м³, которое достигли через 20 суток после начала эксперимента. Оставшееся время количество подаваемого пробиотика поддерживалось на этом уровне.

Суммарный расход пробиотического средства за 56 суток составил 3,870 кг.

Режим введения пробиотического препарата “Оксидол” за восемь недель эксперимента представлен в приложении Е (таблица Е.1).

Испытания проводились в течение двух месяцев: с 6 июля по 28 августа 2015 года. Раствор пробиотического средства подавался в одну линию – №3, перед первичным отстойником. Точкой ввода являлся дюкер в распределителе первичных отстойников. Сточная вода, поступающая на линию №4, пробиотиком не обрабатывалась, то есть служила контрольным образцом.

Установка приготовления и дозирования раствора пробиотика состояла из двух полиэтиленовых емкостей ($W=100 \text{ дм}^3$), оснащенных системой барботаж, которая предназначалась для перемешивания готового раствора пробиотика и насыщения его кислородом. Подача готового раствора осуществлялась с помощью насоса-дозатора.

Емкости работали попеременно. Объем каждого бака рассчитывали на сутки. То есть приготавливали раствор пробиотика в одном баке и из него в течение суток подавали раствор в СВ. На следующие сутки предварительно приготовленный раствор дозировали из второго бака.

При проведении эксперимента пробы сточной жидкости отбирали на входе в очистные сооружения и далее параллельно по двум работающим линиям: после первичных отстойников, на выходе из аэротенков, на выходе из вторичных отстойников, на выходе из контактных резервуаров. Пробы анализировались по следующим показателям: БПК₅, ХПК, взвешенным веществам, азоту аммонийному, фосфатам, нитритам, нитратам, рН. Работу аэротенков контролировали по таким параметрам: доза ила по объему, доза ила по весу, растворенный кислород. Кроме того, осуществляли микроскопию АИ, определяли коли-индекс и коли-фаги по методикам [186;187] во вторичном отстойнике и контактном резервуаре и остаточный хлор [188].

Все химические и санитарно-бактериологические анализы выполнялись в Новоазовской участковой лаборатории контроля качества вод Мариупольского РПУ (свидетельство о гос. аттестации от 24.07.12 г. №3813-95-ВЛ).

Показатели работы очистной станции г. Новоазовска за два месяца введения раствора пробиотического средства “Оксидол”, усредненные по неделям, приведены в приложении Е (таблицы Е.2–Е.9)

Усредненные показатели работы за все время введения “Оксидола” представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Усредненные показатели работы КОС г. Новоазовска во время подачи пробиотика

Показатели			После решеток	После первичных отстойников	После вторичных отстойников
БПК₅	Линия №3 (с пробиотиком)	мгО ₂ /дм ³	289	194	13
		% снижения	-	32,9	93,3
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	289	232	41
		% снижения	-	19,7	82,3
	Разница между линиями, мгО₂/дм³		-	38	28
	Увеличение эффекта очистки, %		-	13,2	11,0
Взвешенные вещества	Линия №3 (с пробиотиком)	мг/дм ³	284	140	14
		% снижения	-	50,7	90,0
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	284	180	43
		% снижения	-	36,6	76,1
	Разница между линиями, мг/дм³		-	40	29
	Увеличение эффекта очистки, %		-	14,1	13,9
N-NH₄	Линия №3 (с пробиотиком)	мг/дм ³	51	45	1,8
		% снижения	-	11,8	96,0
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	51	47	18
		% снижения	-	7,8	61,7
	Разница между линиями, мг/дм³		-	2,0	16,2
	Увеличение эффекта очистки, %		-	4,0	34,3
ХПК	Линия №3 (с пробиотиком)	мгО ₂ /дм ³	450	-	48
		% снижения	-	-	89,3
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	450	-	114
		% снижения	-	-	74,7
	Разница между линиями, мгО₂/дм³		-	-	66
	Увеличение эффекта очистки, %		-	-	14,6
NO₂, мг/дм³	Линия №3 (с пробиотиком)		-	-	1,0
	Линия №4 (контроль)		-	-	1,3
NO₃, мг/дм³	Линия №3 (с пробиотиком)		-	-	155
	Линия №4 (контроль)		-	-	71
PO₄, мг/дм³	Линия №3 (с пробиотиком)		14,5	-	9
	Линия №4 (контроль)		14,5	-	11

Температура СВ во время эксперимента находилась в пределах 20...24°C.

За время проведения испытания установлено:

- эффект первичного отстаивания в линии с пробиотиком равен:
 - по ВВ – 50,7% (увеличивается на 14,1% по сравнению с контролем, разница в концентрациях 40 мг/дм³);
 - по БПК₅ – 32,9% (увеличивается на 13,2% по сравнению с контролем, разница в концентрациях 38 мгО₂/дм³);
- после биологической очистки в аэротенках и вторичного отстаивания эффект очистки в линии с пробиотиком составляет:
 - по ВВ – 90,0% (увеличивается на 13,9% по сравнению с контролем, разница в концентрациях 29 мг/дм³); конечные концентрации: в линии №3 – 14 мг/дм³, в линии №4 – 43 мг/дм³;
 - по БПК₅ – 93,3% (увеличивается на 11,0% по сравнению с контролем, разница в концентрациях 28 мгО₂/дм³); конечные концентрации: в линии №3 – 13 мгО₂/дм³, в линии №4 – 41 мгО₂/дм³;
 - по ХПК – 89,3% (увеличивается на 14,6% по сравнению с контролем, разница в концентрациях 66 мгО₂/дм³); конечные концентрации: в линии №3 – 48 мгО₂/дм³, в линии №4 – 114 мгО₂/дм³;
 - по N-NH₄ – 96,0% (увеличивается на 34,3% по сравнению с контролем, разница в концентрациях 16,2 мг/дм³); конечные концентрации: в линии №3 – 1,8 мг/дм³, в линии №4 – 18 мг/дм³.

Таким образом, введение пробиотика позволило снизить концентрации загрязнений на выходе из линии №3 до нормативных требований.

Расхождения между вычисленными (расчетными) и фактическими приростами в эффектах очистки за каждую неделю введения сведены в таблицу и представлены в приложении Е (таблица Е.10). Средние значения расхождений между вычисленными и фактическими значениями ΔЭ составляют от 0,46 до 1,21%. Полученная разница расчетных и фактических значений ΔЭ является вполне допустимой для инженерных расчетов и подтверждает адекватность

полученных математических моделей, применяемых для расчета необходимой дозы “Оксидола”.

Уровень запаха в первичных отстойниках до подачи пробиотика находился на уровне 5 баллов, во вторичных – 1–2 балла. Через двое суток с начала подачи “Оксидола” запах в первичном отстойнике №3 снизился до 2 баллов и в течение всего эксперимента составлял 2–3 балла. После вторичного отстойника №3 запах в СВ не ощущался вовсе (0 баллов). В контрольной линии запаха оставались на прежних высоких уровнях. Кроме того, как и в лабораторных опытах, визуальными наблюдениями установлено, что образование жировой пленки в первичном отстойнике №3 было снижено по сравнению с отстойником №4.

Водородный показатель СВ на входе в период проведения эксперимента составлял 7,98...8,21. На выходе из линии №3 (после вторичного отстойника) pH находился в пределах 7,29...7,43, из линии №4 – 7,60...7,78. Более низкие значения водородного показателя на выходе из вторичного отстойника №3 связаны с протеканием более глубокого процесса нитрификации и образованием большого количества нитратов. При этих процессах происходит выделение водородных ионов и подкисление среды. Количество нитратов после биологической очистки в линии №3 составляло 140...169 мг/дм³, в линии №4 – 65...80 мг/дм³.

Технологические параметры работы сооружений биологической очистки при подаче пробиотика приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Технологические параметры работы КОС г. Новоазовска во время подачи пробиотика

Технологическая линия	Время аэрации, часов	Доза ила, г/дм ³	Нагрузка на АИ, гБПК/(г·ч)	Удельная скорость снижения БПК _п , мгБПК _п /(г·ч)	Удельная скорость снижения N-NH ₄ , мг/(г·ч)
Линия с пробиотиком	8,05	2,84	0,442	18,4	2,7
Контрольная линия	8,05	2,89	0,469	19,5	1,8

Сниженная нагрузка на активный ил линии с пробиотиком по сравнению с контролем объясняется более низкими значениями БПК в СВ, поступающей в аэротенк, за счет интенсификации первичного отстаивания.

Скорость окисления органических загрязнений по БПК_п активным илом в линии с “Оксидолом” составила 18,4 мгБПК_п/(г·ч), в контрольном аэротенке немного выше – 19,5 мгБПК_п/(г·ч). Однако, конечная концентрация БПК_п в линии с пробиотиком (17 мгО₂/дм³) значительно ниже по сравнению с контролем (55 мгО₂/дм³), что говорит о существенном повышении скорости окисления у активного ила с пробиотиком.

Скорость снижения азота аммонийного активным илом с пробиотиком и контрольным составили 2,7 и 1,8 мг/(г·ч), конечные концентрации N-NH₄ – 1,8 и 18 мг/дм³ соответственно. Указанные показатели свидетельствуют о весьма значительном увеличении скорости снижения азота аммонийного активным илом с введением “Оксидола”.

Точечная оценка кинетических характеристик АИ не может дать полноценную картину влияния пробиотика на окислительную способность активного ила. Для этой цели осуществлены дополнительные исследования, приведенные в подразделе 4.2.

4.1.1 Определение возможности снижения подачи воздуха в аэротенк

Концентрации растворенного кислорода в аэротенках обеих линий в начале эксперимента составляли 3,5...4,0 мгО₂/дм³. С началом введения “Оксидола” в иловой смеси аэротенка №3 концентрация его постепенно начала увеличиваться и в конце второй недели введения достигла 5,6 мгО₂/дм³. В контрольной линии О₂ остался на прежнем уровне. Учитывая, что количество воздуха, подаваемого в аэротенк третьей линии, с начала эксперимента не увеличивали и интенсивность аэрации в работающих биореакторах визуально была на одном уровне, увеличение О₂ в иловой смеси аэротенка №3 связано с воздействием пробиотического препарата.

Сжатый воздух в систему аэрации подавался турбинной воздуходувкой ТВ-42-1,4. На время эксперимента для точного определения количества подаваемого воздуха в аэротенки №3 и №4 на магистральных воздуховодах были

смонтированы счетчики расхода газа TZ/FLUXIDN200 G1600. Расход воздуха в системы аэрации обоих аэротенков был отрегулирован запорной арматурой на одном уровне и составлял около $850 \text{ м}^3/\text{ч}$ в один аэротенк. Удельный расход воздуха – 23 м^3 на $1 \text{ м}^3 \text{ СВ}$.

После значительного увеличения растворенного кислорода в иловой смеси аэротенка №3 было принято решение о снижении количества подаваемого воздуха в этот аэротенк.

Подачу воздуха в аэротенк №3 снизили до $700 \text{ м}^3/\text{ч}$, удельный расход воздуха уменьшился с 23 до $19 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Концентрация O_2 в аэротенке №3 снизилась с 5,6 до $4,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, то есть все еще была выше, чем в контрольной линии. Поэтому подачу воздуха в аэротенк № 3 уменьшили до $550 \text{ м}^3/\text{ч}$ (удельный расход воздуха уменьшился до $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$), после чего содержание O_2 уменьшилось до уровня контрольной линии №4 и составило $3,7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Количество воздуха, подаваемого в аэротенк №4, сохранялось на прежнем уровне (около $850 \text{ м}^3/\text{ч}$). Далее до конца проведения эксперимента концентрации O_2 в иловых смесях аэротенков №3 и №4 находились на одном уровне и составляли $3,5 \dots 4,2 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

Графики изменения концентрации растворенного кислорода в иловой смеси аэротенков за первые 28 суток подачи раствора “Оксидола” представлены на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Изменение концентрации O_2 в иловой смеси аэротенков

Перед уменьшением расхода воздуха нагрузка на двигателе воздухоудвки составляла 58 А, потребляемая мощность – 34,1 кВт. После уменьшения подачи воздуха сила тока снизилась до 43 А, потребляемая мощность – до 25,5 кВт.

Таким образом, введение “Оксидола” увеличило концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси аэротенка и позволило сократить расход воздуха на его аэрацию на: $((850\text{м}^3/\text{ч}-550\text{м}^3/\text{ч})/850\text{м}^3/\text{ч}) \cdot 100\%=35\%$. Потребляемая мощность снизилась на 8,6 кВт·час.

4.1.2 Определение возможности уменьшения объемов осадков сточных вод

Количество осадка первичного отстойника №3 составляло в среднем 1,86 м³/сут с влажностью 93%. Объем сырого осадка, удаляемого из первичного отстойника №4 в минерализатор, был равен в среднем 2,35 м³/сут (влажность 96%) (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Среднее суточное количество образующегося сырого осадка

Вариант опыта	Объем осадка, м³/сут	Масса по сухому веществу, кг/сут	Влажность, %
Пробиотик	1,86	130	93
Контроль	2,35	94	96

Учитывая, что уменьшение взвеси при отстаивании в отстойнике №4 составляло в среднем 104 мг/дм³, а в отстойнике №3 за счет работы пробиотика и интенсификации процесса отстаивания – 144 мг/дм³, объем образующегося сырого осадка при одинаковой влажности в отстойнике №3 должен быть больше, чем в отстойнике №4. Тем не менее, так как осадок в отстойнике №3 более плотный (влажность – 93%, что на 3% меньше по сравнению с осадком отстойника №4) его объем получался на 21% меньше, чем в линии №4. При этом количество осадка по сухому веществу было больше в линии с пробиотиком.

Наблюдения за приростом активного ила в аэротенках показали, что в аэротенке №3 скорость прироста биомассы более низкая, чем в аэротенке №4. Графики изменения концентрации АИ в аэротенках представлены на рисунках 4.2 (с 1 по 28 сутки) и 4.3 (с 28 по 56 сутки).



Рисунок 4.2 – График изменения концентрации активного ила в аэротенках с 1 по 28 сутки эксперимента

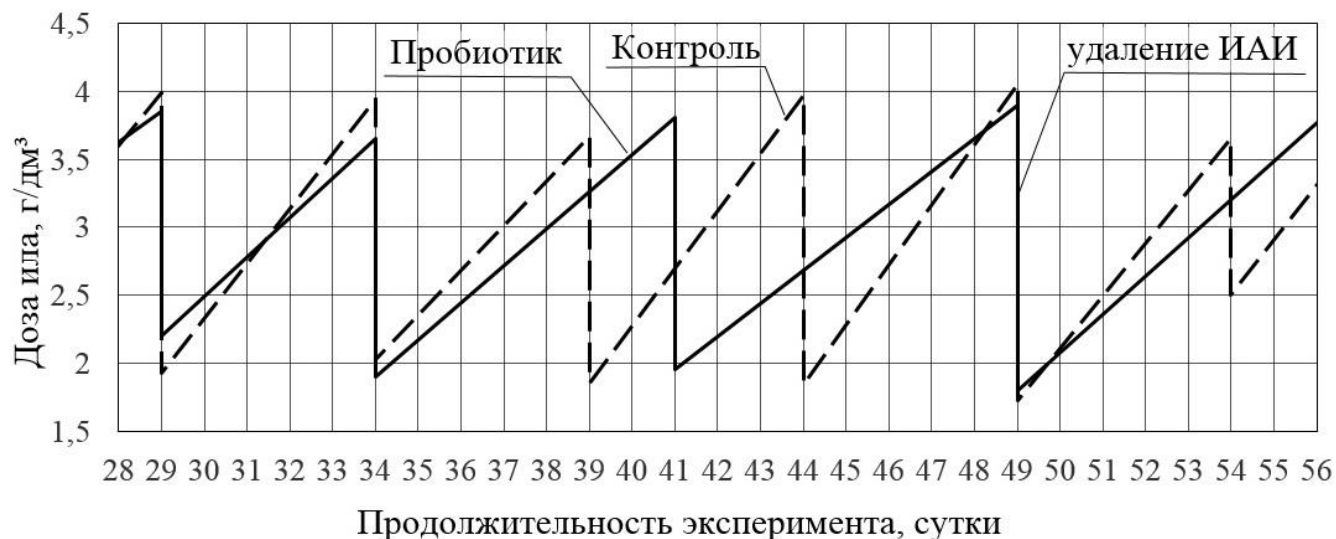


Рисунок 4.3 – График изменения концентрации активного ила в аэротенках с 28 по 56 сутки эксперимента

В среднем прирост активного ила P_i в аэротенке №3 составил 124 мг/дм^3 , в аэротенке №4 – 182 мг/дм^3 . Соответственно прирост ила был сокращен на: $((182 - 124)/182) \cdot 100\% = 32\%$.

Частично фактическое уменьшение прироста биомассы связано с более низкими значениями БПК_п (L_{en}) и взвешенных веществ (C_{cdp}) в СВ, поступающей в аэротенк №3, в результате интенсификации процесса первичного отстаивания, а частично с прямым воздействием пробиотического препарата на микробиологический процесс.

Обработка статистических данных изменения концентрации ила в аэротенке позволила получить уравнения прироста активного ила P_i , мг/дм³, в линии с пробиотиком

$$P_i = 0,62C_{cdp} + 0,20L_{en} - C_{взв.в-ва}, \quad (36)$$

и в контрольной линии

$$P_i = 0,75C_{cdp} + 0,29L_{en} - C_{взв.в-ва}, \quad (37)$$

где $C_{взв.в-ва}$ – концентрации взвесей в СВ на выходе из вторичного отстойника, мг/дм³.

При подстановке средних значений БПК_п (283 мгО₂/дм³) и ВВ (160 мг/дм³) на входе в аэротенки №3 и №4 и среднего значения выноса ВВ из вторичных отстойников №3 и №4 (28,5 мг/дм³) в оба уравнения получим:

$$P_i(\text{№3}) = 0,62 \cdot 160 + 0,20 \cdot 283 - 28,5 = 127 \text{ мг/дм}^3,$$

$$P_i(\text{№4}) = 0,76 \cdot 160 + 0,29 \cdot 283 - 28,5 = 175 \text{ мг/дм}^3.$$

В соответствии с полученными уравнениями, снижение прироста АИ в результате прямого воздействия пробиотического препарата составляет: $((175 - 127)/175) \cdot 100\% \approx 27\%$.

Кроме прямого воздействия пробиотика на прирост АИ, свою долю в снижение прироста биомассы опосредованно вкладывает интенсификация первичного отстаивания. Также немаловажную роль играет разница в содержании взвешенных веществ в СВ, выходящей из отстойников №3 и №4.

Средний объем образующегося за сутки избыточного АИ в аэротенке №3 составил около 7,47 м³ (влажность 98,5%), в аэротенке №4 — 16,4 м³ (влажность 99%). Как и в лабораторных опытах влажность избыточного ила с пробиотиком была снижена на 0,5% по сравнению с контролем (Таблица 4.5).

В результате уменьшения прироста ила по сухому веществу P_i и снижения его влажности сокращение объема образующегося избыточного ила составило 54%.

Таблица 4.5 – Среднее суточное количество образующегося ИАИ

Наименование линии	Объем осадка, м ³	Масса по сухому веществу, кг	Влажность, %
Линия с пробиотиком	7,47	112	98,5
Контрольная линия	16,4	164	99,0

Иловый индекс АИ в аэротенке №4 за время проведения эксперимента находился в пределах 105...122 мл/г. В аэротенке №3 индекс АИ перед экспериментом составлял 115...120 мл/г, а с начала подачи пробиотика начал постепенно снижаться и на 17-е сутки введения достиг отметки 74 мл/г. Далее до конца испытания он был стабильно снижен и колебался в пределах 65...73 мл/г (Рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – График изменения величины индекса активных илов за время проведения эксперимента

4.1.3 Оценка снижения бактериологической загрязненности и хлорпоглощаемости в сточной воде, прошедшей биологическую очистку

В начале испытаний коли-индекс во входящей СВ был равен $14 \cdot 10^7$ КОЕ/дм³. После вторичных отстойников коли-индекс составлял

$6 \cdot 10^6$ КОЕ/дм³ (линия №3), $4 \cdot 10^6$ КОЕ/дм³ (линия №4); коли-фаги – $2 \cdot 10^6$ БОЕ/дм³ и $5 \cdot 10^6$ БОЕ/дм³ соответственно. После хлорирования очищенных СВ гипохлоритом натрия коли-индекс и коли-фаги снижались до требуемых норм (коли-индекс – не более 1000 КОЕ/дм³, коли-фаги – не более 1000 БОЕ/дм³).

Содержание остаточного хлора составляло 1,6–1,5 мг/дм³. Доза активного хлора – 3,5 мг/дм³. Хлорпоглощаемость равнялась $3,5 - 1,5 = 2$ мг/дм³, что немного выше обычной хлорпоглощаемости биологически очищенных СВ. Это объясняется недостаточной степенью их очистки: повышенные концентрации органических веществ приводят к увеличению хлорпоглощаемости.

Согласно требованиям органов санитарного надзора содержание остаточного хлора после контактных резервуаров на КОС г. Новоазовска должно быть не менее 1,5 мг/дм³.

После подачи пробиотического средства содержание кишечной палочки и бактериофагов в сточной жидкости на выходе из вторичных отстойников начало снижаться. В течение первой недели введения раствора “Оксидола” во вторичном отстойнике №3 коли-индекс составлял $4 \cdot 10^4$ КОЕ/дм³, индекс коли-фагов – $2 \cdot 10^4$ БОЕ/дм³. Во вторичном отстойнике №4 значения указанных санитарно-гигиенических показателей были на 2 порядка выше. Обозначенный факт свидетельствует о проявлении пробиотическими бактериями антагонистической активности по отношению к патогенным микроорганизмам, что снижает уровень бактериальной опасности для персонала очистных сооружений.

Остаточный хлор в сточной жидкости после контактного резервуара №3 с момента введения “Оксидола” начал увеличиваться и через три дня введения составил 2,5 мг/дм³. Хлорпоглощаемость соответственно уменьшилась и стала равна: $3,5 - 2,5 = 1$ мг/дм³.

Вследствие указанного, дозу хлора, подаваемого на обеззараживание СВ в линию №3, уменьшили до 2,5 мг/дм³. Расход гипохлорита натрия был уменьшен на 29%.

После уменьшения дозы хлорреагента остаточный хлор в контактном резервуаре №3 снизился до 1,4–1,6 мг/дм³, то есть находился на уровне остаточного хлора в линии №4 и на уровне требований санитарных органов.

4.1.4 Гидробиологическая характеристика активных илов

Гидробиологический контроль за время исследований показал, что в АИ аэротенка №3 насчитывалось около 12–15 видов микроорганизмов. В основном присутствовали инфузории: *aspidiska costata*, *aspidiska turrika*, *vaginicola striata*, *litonotus lamille*, *vorticella convalaria*, *opercularia*, *epistulis*, *paramecium*, *euplotes*; коловратки: *cathupnaluna*, *notommata ansata*; черви: *allosoma*, *nematode*; раковинные амёбы: *arcella*, *euqlypha*, *centropyxis*.

Хлопки АИ линии №3 светлокорицевого цвета, крупные, быстро оседающие. Надиловая жидкость прозрачная и практически не содержит разрозненных мелких хлопьев.

В АИ аэротенка №4 стабильно насчитывалось около 6–10 видов микроорганизмов. В состав входили инфузории: *aspidiska costata*, *vaginicola striata*, *litonotus lamille*, *opercularia*, *epistulis*; коловратки: *cathupnaluna*; черви: *allosoma*, *nematode*; раковинные амёбы: *euqlypha*. Численность фиксируемых микроорганизмов и их подвижность (активность) стабильно ниже, чем в аэротенке №3. В аэротенке №4 хлопки ила светлокорицевые, средней крупности, оседают хорошо, но в надиловой жидкости остается много медленно оседающих мелких разрозненных хлопков.

Таким образом, введение “Оксидола” оказало благоприятное воздействие на микробиоценоз АИ и создало более оптимальные условия для жизнедеятельности его микроорганизмов.

Стоимость обработки 1 м³ СВ в начале эксперимента, когда был начат режим “насыщения” при дозе “Оксидола” 0,31 г/м³ была равна 0,91 грн/м³ или 2,53 руб./м³, после выхода в режим “поддержания” (доза пробиотика – 0,04 г/м³) стоимость обработки 1 м³ СВ составляла 0,12 грн/м³ или 0,33 руб./м³.

4.2 Исследование повышения окислительной способности активного ила

Для определения кинетических характеристик окисления органических загрязнений по БПК_п и азота аммонийного АИ аэротенка №3 (с пробиотиком) и №4 (без пробиотика) осуществлены дополнительные лабораторные эксперименты.

Ход опытов был следующим:

1. Из аэротенков отбирали иловую смесь в объеме 3 дм³, точка отбора – место подачи сточной воды в аэротенк, где концентрации загрязнений наибольшие.

2. Отобранные иловые смеси помещали в лабораторные емкости (W=2 дм³) и аэрировали заданный промежуток времени.

3. По истечении заданного времени прекращали аэрацию, отстаивали иловую смесь и проводили анализ очищенной воды.

Перед началом опытов часть отобранной иловой смеси анализировали на БПК_п и азот аммонийный. Перед отстаиванием отбирали часть иловой смеси для анализа на дозу ила по сухому веществу, зольность ила и растворенный кислород. После отстаивания очищенную воду анализировали на БПК_п и содержание азота аммонийного.

Время аэрации изменяли таким образом, чтобы получить значения во всех интервалах конечных значений L_{ex} и $N-NH_4$.

Температура иловой смеси во время проведения экспериментов составляла 19...22°C. Концентрации растворенного кислорода находились на уровне 2,5...4,0 мгО₂/дм³.

По результатам проведенных экспериментов получены уравнения регрессии скорости окисления органических веществ по БПК в зависимости от конечного БПК_п (L_{ex}) (Рисунок 4.5) и скорости снижения азота аммонийного в зависимости от его конечных концентраций C_{N-NH_4} (Рисунок 4.6).

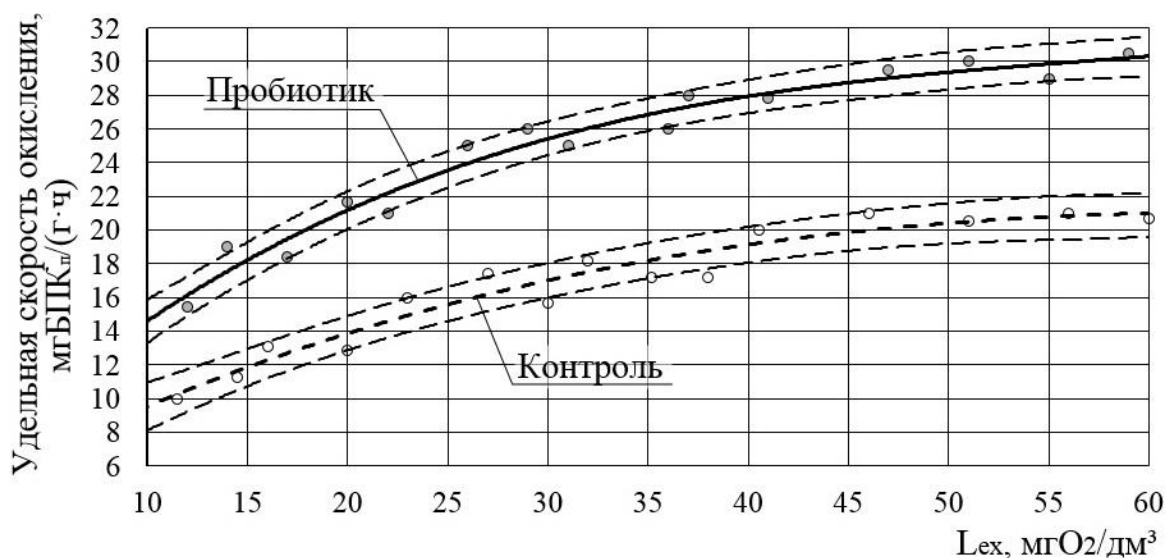


Рисунок 4.5 – Кинетические зависимости скорости окисления органических веществ по БПК_п

Уравнение регрессии скорости окисления органических веществ по БПК $\rho_{\text{БПК}}$, мгБПК_п/(г·ч), активным илом с введением “Оксидола”

$$\rho_{\text{БПК}} = 8,166 + 0,78 L_{\text{ex}} - 0,007 L_{\text{ex}}^2, \quad R^2 = 0,962. \quad (38)$$

Уравнение регрессии скорости окисления органических веществ по БПК активным илом без пробиотика

$$\rho_{\text{БПК}} = 4,705 + 0,548 L_{\text{ex}} - 0,005 L_{\text{ex}}^2, \quad R^2 = 0,934. \quad (39)$$

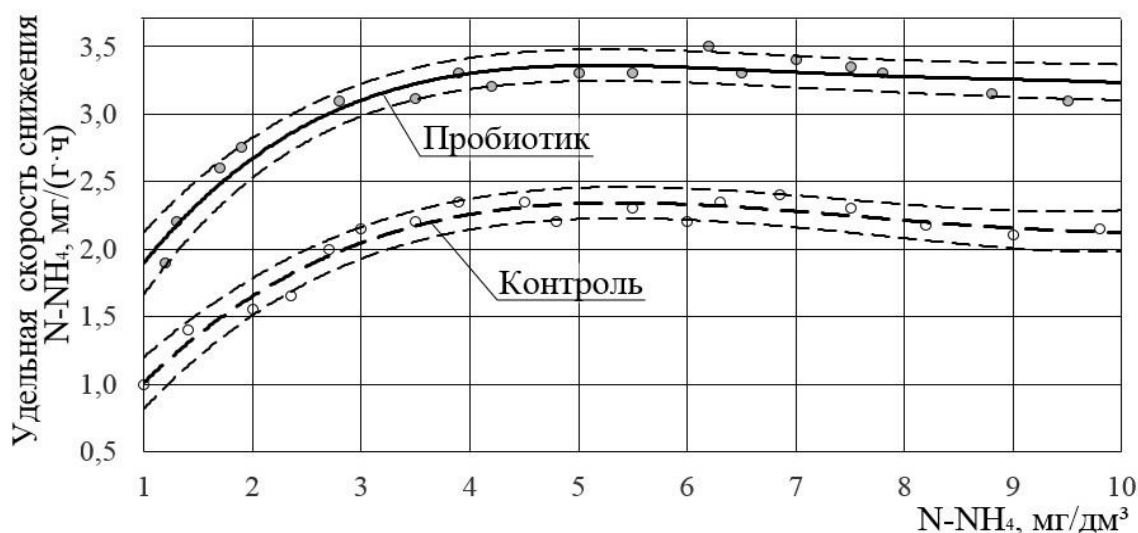


Рисунок 4.6 – Кинетические зависимости скорости снижения N-NH₄

Уравнение регрессии скорости снижения азота аммонийного $\rho_{\text{N-NH}_4}$, мгN/(г·ч), активным илом с введением “Оксидола”

$$\rho_{\text{NH}_4} = 1,02 + 1,11 C_{\text{N-NH}_4} - 0,166 C_{\text{N-NH}_4}^2 + 0,008 C_{\text{N-NH}_4}^3, \quad R^2 = 0,930. \quad (40)$$

Уравнение регрессии скорости снижения азота аммонийного активным илом без пробиотика

$$\rho_{\text{NH}_4} = 0,161 + 1,01 C_{\text{N-NH}_4} - 0,148 C_{\text{N-NH}_4}^2 + 0,007 C_{\text{N-NH}_4}^3, \quad R^2 = 0,949 \quad (41)$$

По полученным данным построены графики увеличения скоростей окисления органических веществ по БПК_п и снижения азота аммонийного в процентах в зависимости от конечных концентраций (Рисунки 4.7 и 4.8).

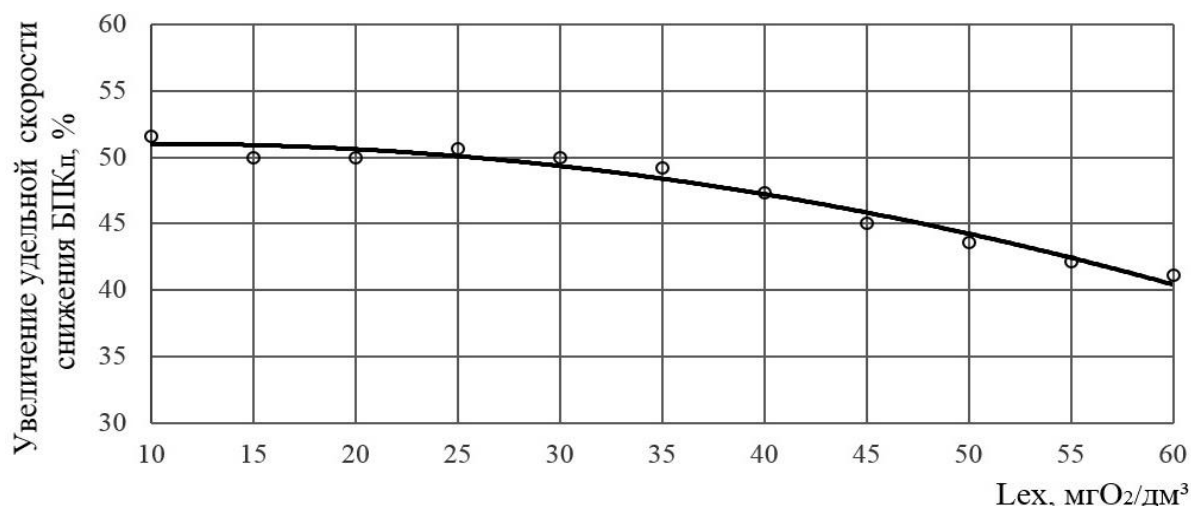


Рисунок 4.7 – Увеличение скорости окисления органических веществ по БПК $\Delta\rho_{\text{БПК}}$, %, в зависимости от конечных значений БПК_п (L_{ex})

$$\Delta\rho_{\text{БПК}} = 50,586 + 0,087 L_{\text{ex}} - 0,004 L_{\text{ex}}^2, \quad R^2 = 0,967. \quad (42)$$

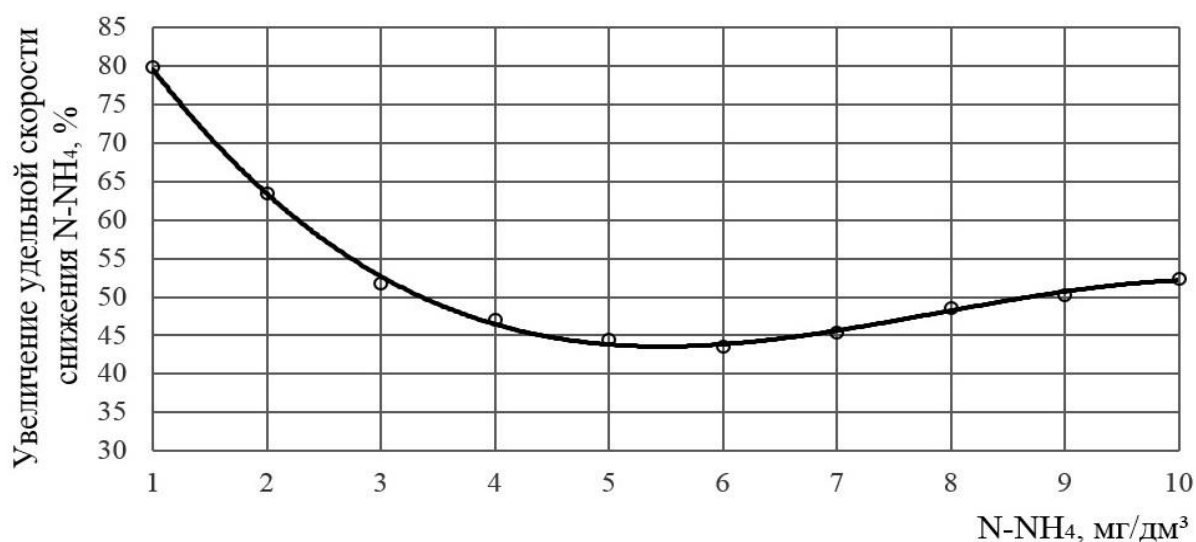


Рисунок 4.8 – Увеличение скорости снижения азота аммонийного $\Delta\rho_{\text{N-NH}_4}$, %, в зависимости от его конечных концентраций

$$\Delta\rho_{\text{N-NH}_4} = 102,17 - 26,042 C_{\text{N-NH}_4} + 3,646 C_{\text{N-NH}_4}^2 - 0,154 C_{\text{N-NH}_4}^3, \quad R^2 = 0,998. \quad (43)$$

Полученные результаты показывают, что скорость окисления органических загрязнений активным илом с добавлением “Оксидола” в наиболее “важном” диапазоне конечных значений БПК_п – 10...30 мгО₂/дм³ увеличиваются примерно в 1,5 раза по сравнению с базовым вариантом.

Скорость снижения азота аммонийного при его конечной концентрации 1 мг/дм³ увеличивается на 80% и составляет 1,8 мгN/(г·ч), при конечной концентрации – 2 мг/дм³ увеличение составляет 63%, скорость равна 2,7 мгN/(г·ч).

Таким образом, окислительная способность АИ, отобранного из аэротенка с добавлением пробиотика, значительно повышается по сравнению с илом контрольного варианта.

4.3 Технико-экономический расчет использования пробиотического препарата “Оксидол” на канализационной очистной станции г. Новоазовска

4.3.1 Снижение суммы оплаты налога за сброс загрязняющих веществ в сточных водах

Предприятия по очистке СВ согласно налоговому кодексу совершают плату за сброс загрязняющих веществ в сточных водах. Цена за единицу массы установлена постоянной и не зависит от степени очистки сточной жидкости. То есть оплата необходима даже в том случае, если конечные концентрации загрязнений не превышают норм ПДС. Чем меньше загрязнений в СВ, тем меньшие суммы необходимо отчислять водоканалам в виде налога.

Сточная вода, прошедшая очистку на канализационных очистных сооружениях г. Новоазовска, сбрасывается в водоем рыбохозяйственного значения ООО Агрофирма “Россия”.

При использовании пробиотика “Оксидол” концентрации органических веществ (БПК₅), взвешенных веществ и азота аммонийного в сбрасываемой СВ были снижены по сравнению с контрольной линией.

В таблице 4.6. посчитано на сколько уменьшился сброс загрязняющих веществ в линии №3 по сравнению с контролем и приведено снижение оплаты налога за сброс вредных примесей и компонентов в СВ за счет введения пробиотического средства с 06.07.15 г. по 30.08.15 г.

Таблица 4.6 – Снижение оплаты налога за сброс загрязняющих компонентов в линии №3 благодаря введению “Оксидола” за 56 суток

Название загрязняющих веществ	Средняя разница на выходе между линиями, г/м ³	Расход СВ за 56 суток, тыс. м ³	Снижение сброса компонента за счет введения пробиотика, тонн	Ставка налога (грн/тонну) согласно НК Украины от 1.04.2014	Снижение суммы уплаты налога, грн
Азот аммонийный	16,0	50,4	0,81	1020,6	826,69
БПК ₅	28,4		1,43	408,5	584,16
Взвешенные вещества	29,3		1,48	29,27	43,32

Общая сумма уменьшения налога составляет 1454,17 грн.

4.3.2 Отмена штрафа за сброс сточных вод с концентрациями загрязнений, превышающими установленные нормы

При превышении предельно-допустимых концентраций загрязнений в очищенной сточной воде органы экологического надзора взыскивают с предприятия по очистке воды штрафы в размере, предусмотренном “Методиками розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів” [189].

Расчет размеров возмещения ущерба, нанесенного водным объектам вследствие сбросов загрязняющих веществ с возвратными водами с превышением установленного норматива ПДС, осуществляется по формуле

$$З = K_{кат} \cdot K_P \cdot K_3 [(M_{i1} \cdot \gamma_{i1}) + (M_{i2} \cdot \gamma_{i2}) + \dots + (M_{in} \cdot \gamma_{in})], \text{ грн}, \quad (44)$$

где $K_{кат}$ — коэффициент, который учитывает категорию водного объекта, определяется согласно с приложением 2 [189], равен – 1,6. Если сброс

осуществляется в водный объект, находящийся в пределах населенного пункта, коэффициент увеличивается в 1,2 раза, если сброс происходит в непроточные водные объекты, то коэффициент увеличивается еще в 1,5 раза. Так как в нашем случае вода сбрасывается в ставок, находящийся, как и очистной комплекс, в границе г. Новоазовска, и являющийся непроточным водным объектом, – $K_{кат} = 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,88$;

K_p – региональный коэффициент дефицитности водных ресурсов поверхностных вод, который определяется согласно приложению 3 [189], для Донецкой области равен $-1,26$;

K_z – коэффициент пораженности водной экосистемы, равен 1,5;

M_i – масса сверхнормативного сброса i -го загрязняющего вещества в водный объект с возвратными водами, т;

γ_i – удельный экономический убыток от загрязнения водных ресурсов, отнесенный к 1 тонне условного загрязняющего вещества (грн/т), который определяется по формуле

$$\gamma_i = \gamma \cdot A_i, \quad (45)$$

где γ – проиндексированный удельный экономический убыток от загрязнения водных ресурсов в текущем году (грн/т), который определяется по формуле

$$\gamma = \gamma_n \cdot I / 100, \quad (46)$$

где γ_n – проиндексированный удельный экономической убыток от загрязнения водных ресурсов в предыдущем году (грн/т). Проиндексированный удельный экономический ущерб от загрязнения водных ресурсов γ в 2011 году составил 766,96 грн /т;

I – индекс инфляции среднегодовой по Украине за предыдущий год (%). В 2014 г. индекс инфляции в Украине составил 124,9% [190];

A_i – безразмерный показатель относительной опасности i -го загрязняющего вещества, который определяется из соотношения по формуле

$$A_i = 1 / ПДС_i, \quad (47)$$

где $ПДС_i$ – безразмерная величина численно равная ПДС i -го загрязняющего вещества в воде водного объекта соответствующей категории.

Как было упомянуто выше, благодаря использованию “Оксидола”, концентрации основных показателей очистки на выходе из линии №3 удалось снизить ниже норм ПДС. В линии №4 основные показатели превышали нормативные требования на сброс. В таблице 4.7 приведены количества загрязнений, превышающие нормы ПДС, которые были бы сброшены из линии №3, если бы в нее не вводился раствор пробиотического средства.

Таблица 4.7 – Расчет количества предотвращенного сброса сверхнормативных концентраций загрязнений в сточных водах

Нормируемые показатели	Средняя концентрация на выходе из линии №4, г/м³	ПДС, г/м³	Превышение ПДС, г/м³	Расход сточных вод за 56 суток, тыс. м³	Пресеченный сверхнормативный сброс загрязнений, тонн
Азот аммонийный	18	2	16	50,4	0,81
БПК ₅	41	15	26		1,31
Взвешенные вещества	43	15	28		1,41
ХПК	114	55	89		4,49

Согласно приказу “Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об’єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту)” установлены следующие гранично допустимые концентрации загрязняющих веществ в водоемах рыбохозяйственного значения [191]:

- БПК₅ – 3 мгО₂/дм³;
- ХПК – 62,5 мгО₂/дм³;
- взвешенных веществ – 25 мг/дм³;
- азота аммонийного – 0,5 мг/дм³.

Проиндексированный удельный экономический ущерб от загрязнения водных ресурсов (гамма) в 2014 году с учетом индексации предыдущих лет составил 769,25 грн /т.

Индекс инфляции среднегодовой по Украине за 2014 г равен 124,9% [190].

Значения γ_i для загрязняющих веществ составляют:

– БПК₅:

$$\gamma_{\text{БПК}_5} = \gamma \cdot A_{\text{БПК}_5} = \gamma_{\text{П}} \cdot \frac{I}{100} \cdot \frac{1}{\text{ПДС}_{\text{БПК}_5}} = 769,25 \cdot \frac{124,9}{100} \cdot \frac{1}{3} = 320,27 \text{ г/м}^3;$$

– ХПК:

$$\gamma_{\text{ХПК}} = \gamma \cdot A_{\text{ХПК}} = \gamma_{\text{П}} \cdot \frac{I}{100} \cdot \frac{1}{\text{ПДС}_{\text{ХПК}}} = 769,25 \cdot \frac{124,9}{100} \cdot \frac{1}{62,5} = 15,37 \text{ г/м}^3;$$

– взвешенных веществ:

$$\gamma_{\text{взв.в-ва}} = \gamma \cdot A_{\text{взв.в-ва}} = \gamma_{\text{П}} \cdot \frac{I}{100} \cdot \frac{1}{\text{ПДС}_{\text{взв.в-ва}}} = 769,25 \cdot \frac{124,9}{100} \cdot \frac{1}{25} = 38,43 \text{ г/м}^3;$$

– азота аммонийного:

$$\gamma_{\text{N-NH}_4} = \gamma \cdot A_{\text{N-NH}_4} = \gamma_{\text{П}} \cdot \frac{I}{100} \cdot \frac{1}{\text{ПДС}_{\text{N-NH}_4}} = 769,25 \cdot \frac{124,9}{100} \cdot \frac{1}{0,5} = 1921,59 \text{ г/м}^3.$$

Общая сумма предотвращенного штрафа составляет:

$$З = K_{\text{кат}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_3 \left[(M_{\text{БПК}_5} \cdot \gamma_{\text{БПК}_5}) + (M_{\text{ХПК}} \cdot \gamma_{\text{ХПК}}) + (M_{\text{взв.в-ва}} \cdot \gamma_{\text{взв.в-ва}}) + (M_{\text{N-NH}_4} \cdot \gamma_{\text{N-NH}_4}) \right] =$$

$$2,88 \cdot 1,26 \cdot 1,5 \cdot (1,31 \cdot 320,27 + 4,49 \cdot 15,37 + 1,41 \cdot 38,43 + 0,81 \cdot 1921,59) = 11426,58 \text{ грн.}$$

4.3.4 Снижение затрат на аэрацию сточной воды

Использование “Оксидола” через две недели с момента начала его введения значительно увеличило концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси аэротенка и позволило сократить расход воздуха на его аэрацию на 35% и расход электроэнергии на 8,6 кВт·час в час. То есть в течение шести оставшихся недель проведения эксперимента расход электроэнергии на аэрацию сточных вод был снижен. Общая экономия электроэнергии составила:

$$\Delta Q_{\text{эл.эн.}} = \Delta Q_{\text{эл.эн.}} \cdot 24 \cdot 42 = 8,6 \cdot 24 \cdot 42 = 8668,80 \text{ кВт·ч.}$$

Тариф на электроэнергию промышленным предприятиям 1-го класса напряжения составлял на время проведения эксперимента 1,83 грн/кВт·ч.

Экономия денежных средств за счет снижения расхода электроэнергии составила: $8668,80 \text{ кВт} \cdot 1,83 \text{ грн/кВт} \cdot \text{ч} = 15863,90 \text{ грн.}$

4.3.5 Снижение затрат на обеззараживание очищенных сточных вод

Благодаря введению пробиотика уменьшилось количество болезнетворных бактерий и вирусов на два порядка после вторичных отстойников, а также снизились концентрации органических загрязнений и азота аммонийных солей. Перечисленные факторы привели к уменьшению хлорпоглощаемости биологически очищенной СВ в линии №3, соответственно появилась возможность снизить дозу гипохлорита натрия (ГХН) на обеззараживание СВ в линии №3. Доза активного хлора была снижена на 1 г/м^3 со второй недели введения “Окидола”. То есть в течение семи недель доза хлорреагента была уменьшена.

Концентрация крепкого раствора гипохлорита составляет 17% (170 г хлора в 1 дм^3). Расход СВ, прошедший через линию №3 за семь недель, составляет: $7 \cdot 7 \cdot 900 = 44100 \text{ м}^3$. Расход активного хлора сокращен на $44100 \text{ м}^3 \cdot 1 \text{ г/м}^3 = 44100 \text{ г}$. Количество “сэкономленного” товарного раствора NaClO : $44100 \text{ г} / 170 \text{ г/дм}^3 \approx 260 \text{ дм}^3$. Стоимость 1 тонны ГХН равна 8580 грн. Плотность раствора гипохлорита натрия (17%) – $1,12 \text{ т/м}^3$. Стоимость 1 м^3 ГХН составляет $1,12 \text{ т} \cdot 8580 \text{ грн} = 9609,6 \text{ грн}$, $1 \text{ дм}^3 = 9,61 \text{ грн}$.

Сумма, “сэкономленная” на уменьшении дозы хлора, равна — $260 \text{ дм}^3 \cdot 9,61 \text{ грн/дм}^3 = 2498,60 \text{ грн}$.

4.3.6 Баланс расходов и затрат, связанных с подачей пробиотического средства “Оксидол” на канализационной очистной станции г. Новоазовска

Расход “Окидола” за время проведения эксперимента на очистной станции г. Новоазовска равен 3,87 кг. Стоимость 1 кг “Окидола” – 2931,60 грн. Общая стоимость обработки сточной воды пробиотиком составила $3,87 \text{ кг} \cdot 2931,60 \text{ грн/кг} = 11345,29 \text{ грн}$.

Перечень и стоимость оборудования для установки приготовления и дозирования пробиотика приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень и стоимость оборудования для установки приготовления и дозирования пробиотика

№ п/п	Оборудование	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, грн
1	Насос-дозатор Aqua HC 100 05-08	шт.	1	3920,00
2	Емкость полиэтиленовая 100 л	шт.	2	1040,00
3	Трубопровод полиэтиленовый Ø20	п.м.	10	56,40
4	Трубопровод полиэтиленовый Ø25	п.м.	50	305,70
5	Фасонные детали трубопроводов			60,20
6	Вентиль шаровый полиэтиленовый Ø 20	шт.	4	151,00
7	Вентиль прямоточный Ø 20	шт.	1	40,00
8	Нагревательный элемент с термостатом Juwel 200w	шт.	2	970,00
9	Компрессор двухканальный Atman AT-A7500	шт.	2	422,00
10	Распылитель L=50 см	шт.	2	114,00
Итого				7079,30

Эксплуатационные затраты на потребление электроэнергии при введении пробиотика приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Затраты на потребление электроэнергии

№ п/п	Оборудование	Расход электроэнергии, кВт·час
1	Работа насоса-дозатора	$0,013 \text{ кВт} \cdot 24 \cdot 56 = 17,50$
2	Работа микрокомпрессоров (2 шт.)	$0,0035 \text{ кВт} \cdot 2 \cdot 24 \cdot 56 = 9,40$
3	Работа электронагревателей (2 шт.)	$0,2 \text{ кВт} \cdot 2 \cdot 24 \cdot 56 = 537,60$
Итого		564,50

Затраты на потребление электроэнергии составляют $564,5 \cdot 1,83 = 1033,04$ грн.

Общие затраты на введение “Оксидола” состоят из стоимости пробиотика, стоимости установки, затрат на потребление электроэнергии и равны: $11345,29 + 7079,30 + 1033,04 = 19457,63$ грн.

Общая экономия финансов состоит из суммы уменьшения уплаты налога за сброс загрязняющих веществ в окружающую природную среду, отмены штрафа за сброс сточных вод с превышенными концентрациями, снижения затрат на аэрацию иловой смеси в аэротенке и уменьшения дозы хлорреагента на обеззараживание сточной воды:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}}=1454,17+11426,58+15863,90+2498,60=31243,25 \text{ грн.}$$

Экономическая выгода от введения “Оксидола” составляет разницу между суммой финансовой экономии и затратами на введение препарата и равна: 31243,25 грн – 19457,63 грн = 11785,62 грн.

Таким образом, суммарный экономический эффект от введения “Оксидола” в течение 2 месяцев в одну линию очистки составляет 11,8 тыс. грн.

4.3.7 Расчет экономической эффективности введения “Оксидола” в течение курортного сезона

Для определения экономической эффективности использования пробиотика на КОС г. Новоазовска на протяжении всего курортного сезона (половина мая, июнь, июль, август, половина сентября) в обе линии очистки осуществлены теоретические вычисления.

В таблице 4.10 приведены расчеты по уменьшению сброса загрязняющих веществ и соответственного снижения оплаты налога за счет введения “Оксидола” на протяжении курортного сезона.

Таблица 4.10 – Расчетное снижение оплаты налога за сброс загрязняющих компонентов при введении “Оксидола” за 4 месяца

Название загрязняющих веществ	Снижение концентрации загрязнений, г/м ³	Расход СВ за 120 суток, тыс. м ³	Снижение сброса компонента за счет введения пробиотика, тонн	Ставка налога (грн/тонну) согласно НК Украины от 1.04.2014.	Снижение уплаты налога за время введения пробиотика, грн
Азот аммонийный	16,0	216	3,46	1020,6	3531,28
БПК ₅	28,4		6,13	408,5	2504,11
Взвешенные вещества	29,3		6,33	29,27	185,28

Общая сумма уменьшения налога составляет 6220,67 грн.

В таблице 4.11 приведено теоретическое снижение сброса загрязняющих компонентов в очищенной сточной воде сверх норм ПДС при введении пробиотика в течение курортного сезона в обе линии.

Таблица 4.11 – Расчет количества предотвращенного сброса сверхнормативных концентраций загрязнений в сточных водах за счет введения “Оксидола” в течение курортного сезона

Нормируемые показатели	Превышение ПДС, г/м³	Расход СВ за 120 суток, тыс. м³	Снижение сброса компонента сверх норм ПДС за счет введения пробиотика, тонн
Азот аммонийный	16	216	3,46
БПК ₅	26		5,62
Взвешенные вещества	28		6,05
ХПК	89		19,22

Общая теоретическая сумма предотвращенного штрафа составляет

$$З = K_{кат} \cdot K_p \cdot K_3 \left[(M_{БПК5} \cdot \gamma_{БПК5}) + (M_{ХПК} \cdot \gamma_{ХПК}) + (M_{БЗВ} \cdot \gamma_{БЗВ}) + (M_{N-NH4} \cdot \gamma_{N-NH4}) \right] = 2,88 \cdot 1,26 \cdot 1,5 (5,62 \cdot 320,27 + 19,22 \cdot 15,37 + 6,05 \cdot 38,43 + 3,46 \cdot 1921,59) = 48862,70 \text{ грн}$$

При введении “Оксидола” через две недели увеличивается концентрация растворенного кислорода в иловой смеси. При подаче пробиотика в обе линии очистки на КОС г. Новоазовска теоретически расход электроэнергии сократится на 17,2 кВт·час в час. Общая экономия электроэнергии составит

$$\Delta Q_{эл.эн} = \Delta Q_{эл.эн} \cdot 24 \cdot 106 = 17,2 \cdot 24 \cdot 106 = 43756,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Экономия денежных средств за счет снижения расхода электроэнергии равна: $43756,8 \text{ кВт} \cdot 1,83 \text{ грн/кВт} \cdot \text{ч} = 80074,94 \text{ грн}$.

Расход хлорреагента на обеззараживание СВ снижается после одной недели введения пробиотика. Уменьшение хлорпоглощаемости составляет ориентировочно 1 г/м³. Тогда теоретическое снижение расхода хлора за время курортного сезона равно: $113 \cdot 1800 \cdot 1 = 203400 \text{ г}[\text{Cl}_2]$ или 1196 дм³ гипохлорита натрия. Сумма, “сэкономленная” на уменьшении дозы хлора: $1196 \text{ дм}^3 \cdot 9,61 \text{ грн/дм}^3 = 11493,56 \text{ грн}$.

Расход “Окидола” за 4 месяца введения на очистной станции г. Новоазовска составит 12,35 кг. Общая стоимость обработки воды пробиотиком будет равна $12,35 \text{ кг} \cdot 2931,60 \text{ грн/кг} = 36205,26 \text{ грн}$.

Стоимость оборудования для системы приготовления и дозирования – 7079,30 грн (таблица 4.9).

Эксплуатационные затраты на потребление электроэнергии при введении пробиотика в течение 4 месяцев приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Затраты на потребление электроэнергии за 4 месяца

№ п/п	Оборудование	Расход электроэнергии, кВт·час
1	Работа насоса-дозатора	$0,013 \text{ кВт} \cdot 24 \cdot 120 = 37,44$
2	Работа компрессоров (2 шт.)	$0,0035 \text{ кВт} \cdot 2 \cdot 24 \cdot 120 = 20,16$
3	Работа электронагревателей (2 шт.)	$0,2 \text{ кВт} \cdot 2 \cdot 24 \cdot 120 = 1152,00$
Итого		1209,60

Затраты на потребление электроэнергии составляют: $1209,60 \cdot 1,83 = 2213,57 \text{ грн}$.

Расчетный баланс расходов и затрат, связанных с подачей пробиотического средства “Оксидол” на КОС г. Новоазовска, за время курортного сезона представлен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Баланс расходов и затрат, связанных с подачей пробиотического средства “Оксидол” на КОС г. Новоазовска за 4 месяца

Доходы и расходы	Сумма, грн
Доходы:	
Снижение налога за сброс загрязняющих веществ в СВ	+6220,67
Отмена штрафа за сброс СВ с превышением норм ПДС	+48862,70
Снижение затрат электроэнергии на аэрацию СВ	+80074,94
Снижение затрат на обеззараживание СВ	+11493,56
Расходы:	
Стоимость пробиотика	–36205,26
Стоимость оборудования	–7079,30
Расход электроэнергии на приготовление и дозирование пробиотика	–2213,57
Итого	+101153,70

Таким образом, при введении пробиотического препарата “Оксидол” на КОС г. Новоазовска в две линии очистки на протяжении всего курортного сезона расчетный экономический эффект составляет 101153,70 грн. Согласно среднему курсу НБУ за 2015 г. (0,36 грн за 1 рос. руб., 21,80 грн за 1 долл. США) 101153,70 грн равны 280982,50 рос. руб. или 4640,08 долл. США.

4.4 Выводы по четвертому разделу

1. В ходе производственных исследований на очистной станции г. Новоазовска подтверждены ранее выявленные закономерности влияния препарата на процессы очистки СВ:

- интенсифицируются процессы первичного отстаивания (по ВВ – на 14,1%, по БПК₅ – на 13,2%) и биологической очистки (по ВВ – на 13,9%, по БПК₅ – на 11,0%, по ХПК – на 14,6%, по азоту аммонийному – на 34,3%);
- уровень запаха в первичном отстойнике снижается до 2–3 баллов;
- количество растворенного кислорода в иловой смеси увеличивается на 40%, что позволяет снизить расход воздуха на 35%;
- улучшаются седиментационные свойства АИ (иловый индекс снижается со 110...120 мл/г до 65...75 мл/г);
- уменьшается хлорпоглощаемость биологически очищенных СВ, что позволяет снизить расход хлорреагента на 29%.
- влажность сырого осадка после первичного отстаивания снижается на 3%, что приводит к уменьшению его объема на 21%;
- уменьшается прирост избыточного активного ила по сухому веществу на 32%, его влажность снижается на 0,5%, в следствие чего сокращение объема ИАИ составляет 54%;

2. Получена зависимость скорости прироста ила при введении “Оксидола”.

3. Получены кинетические зависимости снижения БПК и азота аммонийного при введении “Оксидола”. Установлено, что при введении пробиотика скорость окисления органических веществ в аэротенках

увеличивается в 1,5 раза в конечном диапазоне БПК_п 10...30 мгО₂/дм³, скорость снижения азота аммонийного возрастает на 80...63% в диапазоне его конечной концентрации 1...2 мг/дм³.

4. При введении пробиотического препарата “Оксидол” на КОС г. Новоазовска в две линии очистки на протяжении всего курортного сезона (четыре месяца) расчетный экономический эффект составляет 281 тыс. руб. или 4,64 тыс. долл. США.

РАЗДЕЛ 5 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВВЕДЕНИЯ ПРОБИОТИКА “ОКСИДОЛ” НА СТАНЦИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Разработанная методика содержит рекомендации по применению пробиотического препарата “Оксидол” в целях интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки СВ в аэротенках на существующих КОС.

Подачу пробиотического препарата следует осуществлять перед первичными отстойниками. В этом случае будет уменьшено количество сырого осадка и в значительной степени устранены запахи от отстаиваемой воды.

Расчет начальной дозы пробиотика, определение режима введения и количества образующих ОСВ осуществляются по следующему алгоритму:

1. Составляется блок-схема работы первичных отстойников и сооружений биологической очистки: аэротенков и вторичных отстойников с указанием концентраций загрязнений по БПК₅, ВВ, N-NH₄ по этапам очистки (Рисунок 5.1).

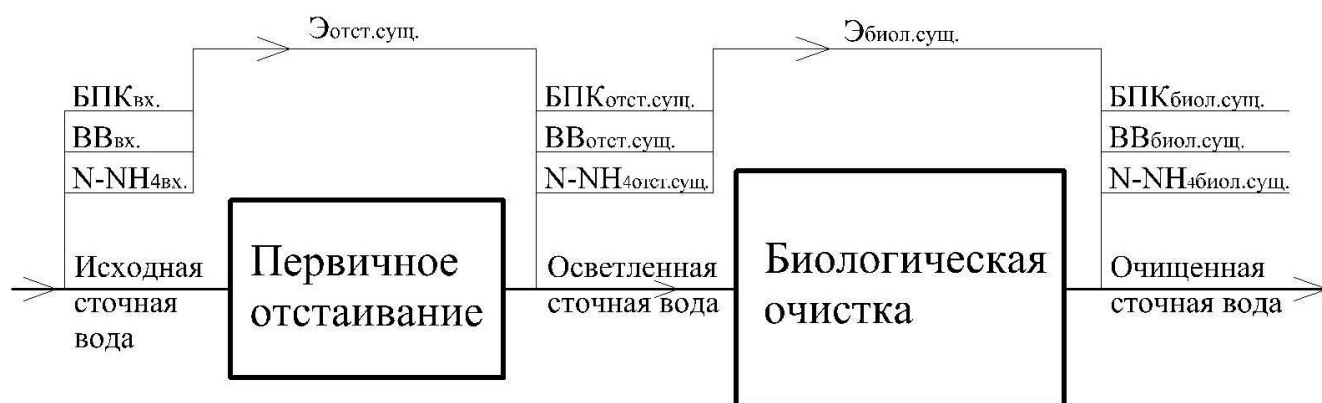


Рисунок 5.1 – Блок-схема работы первичных отстойников и сооружений биологической очистки

2. Рассчитывается существующий эффект очистки $\mathcal{E}_{\text{сущ.}(i)}$ в первичных отстойниках по БПК₅ и ВВ и в аэротенках, вторичных отстойниках по БПК₅, ВВ и N-NH₄.

3. На основании установленных ПДС определяется требуемый эффект биологической очистки $\mathcal{E}_{\text{треб}(i)}$, %, который необходим для достижения нормативных показателей по каждому загрязнению по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{треб.}(i)} = \frac{C_{\text{ex}} - C_{\text{ПДК}(i)}}{C_{\text{ex}}} \cdot 100. \quad (26)$$

4. Рассчитывается необходимая степень повышения эффекта биологической очистки $\Delta\mathcal{E}_{(i)}$, %, по БПК₅, ВВ, N-NH₄ по формуле:

$$\Delta\mathcal{E}_{(i)} = \mathcal{E}_{\text{треб.}(i)} - \mathcal{E}_{\text{сущ.}(i)}. \quad (27)$$

5. Определяется требуемая доза пробиотика для повышения эффекта биологической очистки:

– по БПК₅ по формуле:

$$d_{\text{БПК5}} = \frac{0,735 - \Delta\mathcal{E}_{\text{БПК5}} - 0,118t + 7,82q_{\text{БПК5}}}{0,4 - 1,5t}, \text{ г/м}^3; \quad (28)$$

– по взвешенным веществам по формуле:

$$d_{\text{ВВ}} = \frac{2,315 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ВВ}} - 0,136t + 8,7q_{\text{ВВ}}}{12,4 - 2,38t}, \text{ г/м}^3; \quad (29)$$

– по азоту аммонийному по формуле:

$$d_{\text{N-NH4}} = \frac{\Delta\mathcal{E}_{\text{N-NH4}} + 69,29 - 4,35t - 0,668q_{\text{N-NH4}} + 0,034tq_{\text{N-NH4}}}{42,6}, \text{ г/м}^3. \quad (30)$$

6. Из полученных значений доз пробиотического средства выбирается максимальное и принимается начальной дозой введения пробиотика $d_{\text{нач}}$ (г/м³).

7. Вычисляется расчетное повышение эффекта очистки в первичном отстойнике (отстойниках) $\Delta\mathcal{E}_{\text{отст.}(i)}$, %, и в сооружениях биологической очистки $\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(i)}$, %, за счет введения пробиотика с начальной дозы $d_{\text{нач}}$:

– первичного отстаивания по взвешенным веществам по формуле

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{отст.}(ВВ)} = -2,91 + 33,7d + 0,244t, \%; \quad (31)$$

– первичного отстаивания по БПК₅ по формуле

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{отст.}(БПК5)} = -6,13 + 35,7d + 0,358t, \%; \quad (32)$$

– биологической очистки по БПК₅ по формуле

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(БПК5)} = 0,735 - 0,4d - 0,118t + 7,82q_{\text{БПК5}} + 1,5dt, \%; \quad (33)$$

– биологической очистки по взвешенным веществам по формуле

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(ВВ)} = 2,315 - 12,4d - 0,136t + 8,7q_{\text{ВВ}} + 2,38dt, \%; \quad (34)$$

– биологической очистки по азоту аммонийному по формуле

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{биол.}(\text{NH}_4)} = -69,29 + 42,6d + 4,35t + 0,668q_{\text{N-NH}_4} - 0,034tq_{\text{N-NH}_4}, \% \quad (35)$$

8. Определяется расчетный увеличенный эффект первичного отстаивания $\mathcal{E}_{\text{отст.расч.}(i)}$, %, по БПК₅ и ВВ и биологической очистки $\mathcal{E}_{\text{биол.расч.}(i)}$, %, по БПК₅, ВВ и N-NH₄, как сумма существующего эффекта $\mathcal{E}_{\text{сущ.}(i)}$ и $\Delta\mathcal{E}_{\text{расч.}(i)}$

$$\mathcal{E}_{\text{расч.}(i)} = \mathcal{E}_{\text{сущ.}(i)} + \Delta\mathcal{E}_{\text{расч.}(i)} \quad (48)$$

9. По полученным значениям $\mathcal{E}_{\text{расч.}(i)}$ определяются расчетные концентрации загрязнений $C_{\text{расч.}}$ (БПК₅, ВВ и N-NH₄) после первичных и вторичных отстойников.

10. Полученные данные расчетных эффектов очистки и концентрации загрязнений заносятся на блок-схему (Рисунок 5.2).

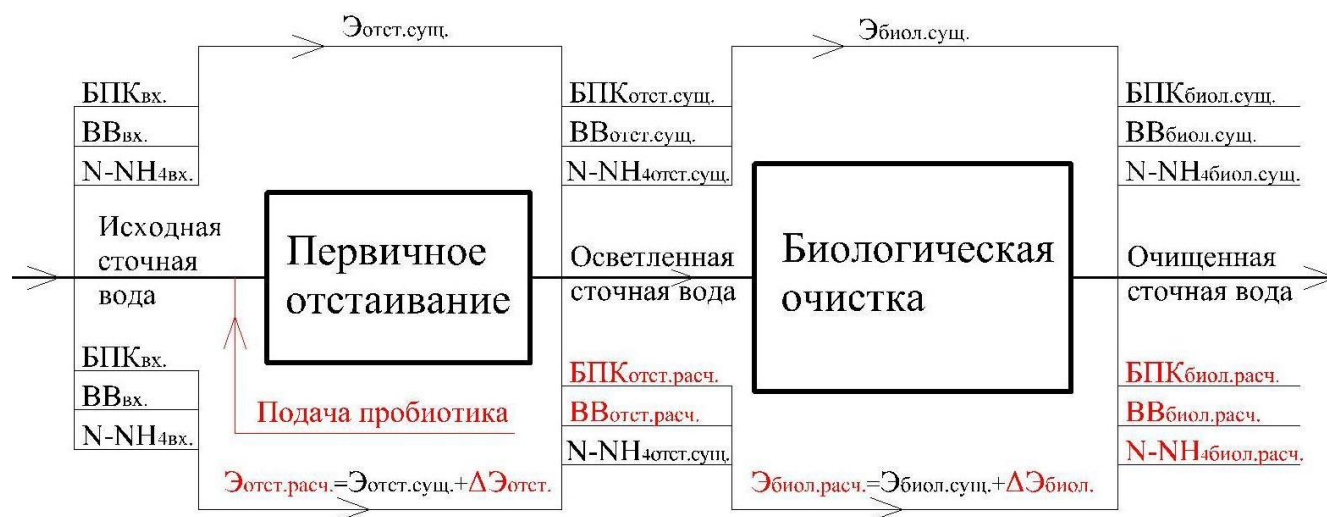


Рисунок 5.2 – Блок-схема интенсификации работы первичных отстойников и сооружений биологической очистки с помощью пробиотика "Оксидол"

11. После определения начальной дозы пробиотического препарата $d_{\text{нач}}$, рассчитывается график снижения дозировки по следующим параметрам:

- шаг снижения дозы пробиотика Δd – 20% от подаваемой;
- необходимая продолжительности подачи пробиотика одной дозой T_d – время равное 4-х кратной продолжительности прохождения СВ по сооружениям (первичным отстойникам, аэротенкам, вторичным отстойникам);
- минимальная доза "Оксидола" в режиме "поддержания" $d_{\text{min}} = 0,04 \text{ г/м}^3$.

12. Рассчитывается необходимое количество препарата на все время использования.

13. Определяется количество образующегося сырого осадка по формуле ДБН В.2.5-75:2013

$$Q_{mud} = \frac{q_w (C_{en} - C_{ex.расч.})}{(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} 10^4}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (49)$$

где q_w – расход СВ, $\text{м}^3/\text{ч}$;

C_{en} – концентрации ВВ в СВ до первичного отстаивания, $\text{мг}/\text{дм}^3$;

$C_{ex.расч.}$ – расчетная концентрации ВВ в СВ после первичного отстаивания с учетом повышения эффекта очистки за счет введения пробиотика, $\text{мг}/\text{дм}^3$;

P_{mud} – влажность осадка, %. Влажность определяется по факту анализом осадка, получаемого до введения пробиотика и при введении “Оксидола” принимается на 3% меньше;

γ_{mud} – плотность осадка, $\text{кг}/\text{дм}^3$.

14. Рассчитывается прирост избыточного АИ по формуле

$$P_i = 0,62 C_{cdp} + 0,20 L_{en} - C_{взв.в-ва}, \text{ мг}/\text{дм}^3. \quad (36)$$

15. Определяется суточный объем избыточного АИ по формуле

$$W = \frac{P_i \cdot Q_{сут} \cdot 100}{10^6 (100 - P_{a.и.})}, \text{ м}^3 / \text{сут}, \quad (50)$$

где $Q_{сут}$ – суточный расход СВ, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$P_{a.и.}$ – влажность избыточного АИ, %. Влажность определяется по факту анализом ИАИ, получаемого до введения пробиотика и при введении “Оксидола” принимается на 0,5 % меньше.

16. Ориентировочное снижение расхода воздуха на потребности аэрации в результате использования пробиотика составляет 30...35%.

Блок-схема последовательности расчета технологической схемы очистки сточных вод с применением “Оксидола” представлена на рисунке 5.3.

Для введения пробиотического препарата потребуется устройство узла приготовления и дозирования раствора пробиотика, состоящее из емкостей приготовления, компрессора для взмучивания раствора препарата и электрического нагревателя с термостатом. Электрический нагреватель необходим для подогрева раствора до температуры 37...40°C, при этой

температуре пробиотические микроорганизмы активизируются быстрее. Взмучивание раствора пробиотика можно осуществлять воздухом основных воздуходушных агрегатов.



Рисунок 5.3 – Последовательность расчета технологической схемы очистки СВ с применением пробиотического препарата “Оксидол”

Узел приготовления и дозирования раствора пробиотика можно обустроить в любых близлежащих зданиях от точки введения или в отдельностоящей блочной компактной установке. Точкой введения можно выбрать распредачу первичных отстойников или трубопровод, подающий СВ от песколовок до первичных отстойников.

В случае применения пробиотического препарата только в летнее время, емкости приготовления и дозирования пробиотика можно установить непосредственно на распредаче первичных отстойников или лотке от песколовок до первичных отстойников, смонтировав помост. При таком варианте подогрев воды в расходных баках и взмучивание воздухом обеспечивать необязательно.

Для дозирования раствора пробиотика необходима установка насоса-дозатора или, если позволяет перепад высот, можно осуществлять подачу в самотечном режиме, контролируя расход по истечению.

Приготавливать рабочий раствор “Оксидола” необходимо в предварительно отстоянной в течение суток воде. После добавления препарата полученный раствор требуется выдержать в течение суток, после чего раствор будет готов к применению. Желательно подогревать воду, в которой приготавливается раствор, до температуры 37...40 °С и держать на этом уровне.

Для работы узла целесообразно использовать минимум две емкости, которые будут работать попеременно. Объем каждой емкости необходимо рассчитать на сутки или двое. Одна емкость – рабочая, из которой осуществляется дозирование раствора пробиотика, вторая – резервная, для разведения и созревания раствора. При работе в режиме “поддержания” (подача минимальной дозы) и прекращении введения “Оксидола” на время до 2-х кратной продолжительности пребывания СВ в сооружениях для восстановления необходимой степени очистки потребуются начать подачу с дозы равной 50% от начальной $d_{нач}$. Если перерыв в подаче составил более 2-х кратной продолжительности пребывания СВ в сооружениях, для достижения необходимой степени очистки потребуются начать режим насыщения с “начальной” дозы.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально обосновано применение пробиотиков для интенсификации очистки СВ курортных населенных пунктов во время резкого увеличения нагрузки. Это позволяет не только интенсифицировать процесс очистки, но и снизить объемы ОСВ, затраты на аэрацию СВ и уровень образования неприятных запахов.

2. Теоретически установлено, что наиболее оптимальной схемой введения пробиотиков является подача перед первичным отстаиванием, которая приводит к комплексному воздействию: интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки, уменьшению объемов сырого осадка и снижению уровня запахов возле первичных отстойников.

3. Исследован процесс очистки СВ с помощью пяти пробиотических препаратов (PIP+Water, “Оксидол”, SCD Bio Klean, Microbes и “Водограй”), определен наиболее эффективный и экономически оптимальный препарат – “Оксидол”. Впервые получены математические модели увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки СВ при введении в схему очистки “Оксидола”. Определен оптимальный диапазон доз препарата – 0,2...0,4 г/м³. Наибольший прирост эффекта очистки получен при дозе “Оксидола” 0,4 г/м³, “летней” температуре СВ – 20°C и нагрузке на АИ 0,305 кгБПК₅/кг·сут: увеличение эффекта очистки при первичном отстаивании по ВВ и БПК₅ – 15...17%; при биологической очистке по ВВ – 16,8%, БПК₅ – 13,5% и N-NH₄ – 33,5%.

4. Определены рациональные параметры режима введения пробиотика “Оксидол”: оптимальный шаг снижения дозы – 20% от подаваемой; продолжительность подачи одной дозой – 4-х кратное время пребывания СВ в сооружениях очистки; минимальная доза, позволяющая сохранить достигнутый эффект, – 0,04 г/м³. Установлено, что при введении “Оксидола” уровень запаха в первичном отстойнике снижается с 5 до 2–3 баллов, сокращается объем сырого осадка на 27% за счет уменьшения его влажности и объем избыточного АИ на

52% за счет снижения его прироста по сухому веществу и влажности. Количество растворенного O_2 в иловой смеси увеличивается примерно на 40%, что обуславливает возможность снижения расхода воздуха на аэрацию на 35%.

5. Проведены производственные испытания “Оксидола” на КОС г. Новоазовска, в ходе которых подтверждены ранее выявленные закономерности, а также получена зависимость прироста АИ при введении пробиотика. Определены кинетические зависимости очистки СВ активным илом при использовании пробиотика. Скорость окисления органических веществ в аэротенках увеличивается в 1,5 раза в конечном диапазоне БПК_п 10...30 мг O_2 /дм³, скорость снижения азота аммонийного возрастает на 80...63% в диапазоне его конечной концентрации 1...2 мг/дм³. Экономический эффект от применения “Оксидола” на КОС г. Новоазовска за один курортный сезон составляет 281 тыс. руб. или 4,64 тыс. долл. США.

6. Впервые разработана методика расчета технологической схемы очистки СВ курортных населенных пунктов с применением пробиотика “Оксидол” для интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки СВ, позволяющая рассчитать необходимую дозу препарата для достижения заданного эффекта очистки и определить снижение количества ОСВ.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СВ – сточные воды

КОС – канализационные очистные сооружения

АИ – активный ил

ИАИ – избыточный активный ил

ОСВ – осадки сточных вод

ВВ – взвешенные вещества

ПДС – предельно-допустимые содержания

БПК – биохимическая потребность в кислороде

ХПК – химическая потребность в кислороде

Э – эффективность очистки

$\Delta Э$ – увеличение эффективности очистки

d – доза пробиотика

Δd – шаг снижения дозы пробиотика

d_{\min} – минимальная доза пробиотика

T_d – продолжительность подачи пробиотика одной дозой

q – нагрузка на активный ил

$t_{\text{отст}}$ – время отстаивания в лабораторном отстойнике

$T_{\text{отст}}$ – время отстаивания в производственном отстойнике

$t_{\text{аэр}}$ – время аэрации

h – рабочая высота лабораторного отстойника

H – рабочая высота производственного отстойника

ПФЭ – полнофакторный эксперимент

ρ – удельная скорость окисления

$\Delta \rho$ – увеличение удельной скорости окисления

L_{en} – биохимическая потребность в кислороде в сточной воде, поступающей на биологическую очистку

L_{ex} – биохимическая потребность в кислороде в биологически очищенной сточной воде

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайченко, Л. Г. Анализ реального водопотребления в жилищном фонде [Текст] / Л. Г. Зайченко, И. Б. Синежук // MOTROL. – Commission of motorization and energetic in agriculture : Polish Academy of sciences. – Lublin, 2012. – Vol. 14 – №1. – P. 54–57.
2. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами [Текст]: затв. постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. № 465. – Київ, 1999. – 5 с.
3. Дрозд, Г. Я. Технико-экологические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод [Текст] / Г. Я. Дрозд, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак. – Донецк ИЭП НАН Украины, 2001. – 340 с.
4. Эпоян, С. М. Совершенствование работы малогабаритных канализационных очистных сооружений поселка Малореченское в АР Крым [Текст] / С. М. Эпоян, И. Ю. Штонда, Ю. И. Штонда и др. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2010. – Вип. 60. – С. 271–274.
5. Пояснительная записка “Строительство канализационных очистных сооружений с применением новых технологий обработки, Республика Крым, г. Саки” [Электронный ресурс] / Официальный портал г. Саки, 2016. – 29 с. – Режим доступа: https://saki.rk.gov.ru/file/Stroitelstvo_kanalizacionnyh_ochistnyh_sooruzhenij_s_primeneniem_novyh_tehnologij_obrabotki_RK_Saki.pdf. – Загл. с экрана.
6. Конкурсная документация на выполнение проектно-изыскательских работ по объекту: “Проектирование и строительство канализационных очистных сооружений “Южные», г. Севастополь” [Электронный ресурс] / Правительство Севастополя, Официальный портал органов государственной власти, 2016. – 83 стр. – Режим доступа: <https://sevastopol.gov.ru/docs/251/23900>. – Загл. с экрана.

7. Васильев, Б. В. Обработка и утилизация осадков сточных вод в Санкт-Петербурге [Текст] / Васильев Б. В. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – №9(2). – С. 58–52.

8. Эпоян, С. М. Обезвоживание осадков городских сточных вод на иловых площадках коммунальных хозяйств городов [Текст] / С. М. Эпоян, В. Е. Сорокина, А. С. Карагяур и др. // Коммунальное хозяйство городов. – 2007. – Вып. 74. – С. 76–80.

9. Мовчан, С. И. Технология утилизации осадков гальванических производств [Текст] / С. И. Мовчан, Н. И. Бунин // Научно технический сборник 60, – Харьков, С. 148–151.

10. Туровский, И. С. Обработка осадков сточных вод [Текст] / И. С. Туровский // М.: Стройиздат, 1975. – 160 с.

11. Обработка и удаление осадков сточных вод [Текст]. В 2 т. Т.1. Обработка осадков / пер. с англ. Т. А. Карюхиной, И. Н. Чубаровой, И. Х. Заена — М.: Стройиздат, 1985. – 236 с.

12. Сучкова, Н. Г. Анализ состояния проблемы рекультивации иловых площадок очистных сооружений городов и перспективы для Харьковского региона [Текст] / Н. Г. Сучкова // Сб. докладов Международного конгресса «ЭТЭВК-2007» – Экология, технология, экономика водоснабжения и канализации. Ялта, 22–26 мая 2007 г. / Под ред. Кравченко Н. Д. – К.: НДКТУУМГ, 2007. – С. 279–284.

13. Эпоян, С. М. Направления повышения эффективности обезвоживания осадков городских сточных вод [Текст] / С. М. Эпоян, Е. Н. Орлова // Науковий вісник будівництва. – 2009. – Вип. 51. – С. 197–200.

14. Эпоян, С. М. Рентгеноструктурные исследования смеси осадков городских сточных вод [Текст] / С. М. Эпоян, Е. Н. Орлова, О. В. Степанов // Науковий вісник будівництва. – 2010. – Вип. 56. – С. 157–161.

15. Туровский И. С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание [Текст] / И. С. Туровский – М.: ДеЛи принт, 2008. – 375 с.

16. ДБН В. 2.5-75: 2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [Текст] / К.: Мінрегіон України, 2013. – 96 с.
17. Щетинин, А. И. Современное оборудование и сооружения для механической очистки сточных вод от грубодисперсных примесей [Текст] / А. И. Щетинин, Ю. Г. Марченко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 11. – С. 70–76.
18. Дайнеко, Ф. А. Совершенствование процеживающего оборудования для очистки сточных вод [Текст] / Ф. А. Дайнеко, В. А. Мухин, С. А. Стрельцов и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – №. 10. – С. 39–44.
19. Технология очистки сточных вод [Текст]: учебное пособие: самост. учеб. електрон. изд. / А. П. Карманов, И. Н. Полина; Сыкт. лесн. инт-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар: СЛИ, 2015. – 207 с.
20. Очистка городских сточных вод [Текст] : курс лекций / Б. Г. Мишуков, С. Ю. Игнатчик, В. С. Игнатчик. – СПб.: ГАСУ, 2014. – 196 с.
21. Журкин, Н. Н. Усовершенствование механической очистки сточных вод [Текст] / Н. Н. Журкин, С. Я. Алибеков // Вестник ПГТУ. Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – №1. – С. 92–97.
22. Слепцов, В. Г. Оборудование для реконструкции и строительства высокоэффективных песколовков (по материалам конференции) [Текст] / В. Г. Слепцов, А. А. Мартыненко, Е. С. Лисогор // Водоочистка. – 2015. – №7. – С. 62–67.
23. Воронов, Ю. В. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений [Текст] / Ю. В. Воронов, В. П. Саломеев, А. Л. Ивчатов и др.; под ред С. В. Яковлева. - М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
24. Синев, О. П. Расширение и реконструкция очистных сооружений [Текст] / О. П. Синев, А. И. Манцев, А. П. Игнатенко. – К.: Будівельник, 1981. – 44 с.
25. Проектирование и расчет сооружений и установок для механической очистки производственных сточных вод: учебное пособие [Текст] / Л. Ф. Долина. - Днепропетровск: Континент, 2003. – 93 с.

26. Головин, В. Л. Тонкослойные модули себя оправдывают [Текст] / В. Л. Головин // Вода Magazine. – 2008. – №1. – С. 14–19.
27. Яковлев, С.В. Механическая очистка сточных вод [Текст] / С. В. Яковлев, В. И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1972. – 199 с.
28. Калицун, В. И. О конструировании встроенных преаэраторов [Текст] / В. И. Калицун, В. Н. Николаев, Т. А. Гоголи // Экспресс-информация ВНИИИС. – 1984. – сер.9, №7.
29. Лихачев, Н. И. Канализация населенных мест и промышленных предприятий [Текст] / Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин и др.; под общ. ред. Самохина В. Н. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
30. Калицун, В. И. О применении преаэрации сточных вод с добавлением активного ила. В кн: Канализация и очистка сточных вод [Текст] / В. И. Калицун, В. Н. Николаев, А. А. Александров. – М.: МИСИ, 1977. – №143.
31. Калицун, В. И. Преаэрация сточных вод с активным илом [Текст] / В. И. Калицун, В. Н. Николаев, Т. А. Гоголи // Водоснабжение и санитарная техника. – 1984. – №12. – С. 20–21.
32. Ибадулаев, Ф. И. Флотационные методы и технологии очистки воды и опыт их применения [Текст] / Ф. И. Ибадулаев; Азерб. НИИ НТИ техн.-экон. исслед. Госплана АзССР. – Баку, 1990. – 24 с.
33. Абрамов, А. А. Флотационные методы обогащения [Текст] / А. А. Абрамов. – М.: «Недра», 1984. – 383 с.
34. Примеры расчетов канализационных сооружений [Текст]: учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ласков; 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ИД «Альянс», 2008. – 255 с.
35. Андреев, С. Ю. Использование приема предварительной коагуляционной обработки сточных вод для интенсификации их биологической очистки [Текст] / С. Ю. Андреев, Б. М. Гришин, В. В. Демидочкин и др. // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2012. – Т. 2. – С. 275–276.

36. Зотов, Н. И. К вопросу об использовании осадков бытовых сточных вод в сельском хозяйстве [Текст] / Н. И. Зотов, С. Р. Суслов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – № 3 (83). – С. 214–221.

37. Зотов, Н. И. Социальные и экологические пробелы в исследовании и решении проблемы хранения, обработки и использования осадков бытовых сточных вод [Текст] / Н. И. Зотов, С. Р. Суслов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2009. – №. 2 (76). – С. 154–157.

38. Харкин, С. В. Реконструкция очистных сооружений под технологии удаления азота и фосфора – мифы и реальность [Текст] / С. В. Харкин // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение.» – 2014. – №. 1. – С. 23-31.

39. Adham, S. Membrane Bioreactors for Water Reclamation – Phase II: desalination and Water Purification Research and Development Program Final Report No.60 [Text] / S. Adham, R. P. Merlo, P. Gagliardo. – San Diego: Technical Service Center of U.S. Bureau of Reclamation, 2000. – 162 p.

40. Simon, J. The status of membrane bioreactor technology [Text] / J. Simon // TRENDS in Biotechnology. – 26(2). – P. 109–116.

41. Карагяур, А. С. Исследования режимов промывки установки мембранной ультрафильтрации [Текст] / А. С. Карагяур, В. А. Сташук, А. В. Чунарев и др. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. – Вип. 69. – С. 291–295.

42. Душкин, С. С. Прогрессивные технологии в области очистки природных и сточных вод [Текст] / С. С. Душкин, Г. И. Благодарная // Коммунальное хозяйство городов. – 2010. – №. 93. – С. 3–11.

43. Fatone, F. Removal of nutrients and micropollutants treating low loaded wastewaters in a membrane bioreactor operating the automatic alternate-cycles process [Text] / F. Fatone, D. Bolzonella, P. Battistoni, F. Cecchi. // Desalination. – 2005. – 183. – P. 395–405.

44. Defrance, L. Contribution of various constituents of activated sludge to membrane bioreactor fouling [Text] / L. Defrance, Michel Y. Jaffrin, B. Gupta et al. // Bioresource Technology. – 73 – 2000. – P. 105–112.

45. Degremont. Технический справочник по обработке воды [Текст]. В 2 т. Т. 2 / под ред. М. И. Алексеева и др.; пер. с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 904 с.

46. Куликов, Н. И. Очистка сточных вод сообществами свободноплавающих и прикрепленных микроорганизмов и гидробионтов [Текст]: дисс. ... докт. технич. наук / Куликов Николай Иванович. – М.: ВНИИ ВОДГЕО. – 1988.

47. Куликов, Н. И. Теоретические основы очистки воды [Текст] / Куликов Н. И., А. Я Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев. – Макеевка: Изд-во «НОУЛИДЖ», Донецкое отделение, 2009. – 297 с.

48. Способ трехиловой биологической очистки сточных вод: патент 2264353 Рос. Федерация: С02F3/02 / Н. И. Куликов, Д. Н. Куликов, Е. Н. Куликова. – 2004102534/15; заявл. 28.01.2004; опубл. 20.11.2005, Бюл. № 13. – 2 с.

49. Куликов, Д. Н. Технология трехиловой биологической очистки городских сточных вод [Текст]: дисс. ... канд. технич. наук: 05.23.04 / Куликов Дмитрий Николаевич; Ростовский государственный строительный университет. – Ростов-на-Дону, 2009. – 150 с.

50. Гвоздяк, П. І. За принципом біоконвеєра. Біотехнологія охорони довкілля [Текст] / П. І. Гвоздяк // Вісник НАН України. – 2003. – № 3. – С. 29–36.

51. Глоба, Л. І. Біологічна деноксація хімічних патогенів у водному середовищі [Текст] / Л. І. Глоба, П. І. Гвоздяк // Медичні перспективи. – 2012. – Т. 17. – №. 4. – С. 21–25.

52. Гвоздяк, П. І. 50 запитань і 49 відповідей з нової біотехнології очистки води [Текст] / П. І. Гвоздяк. – К.: Знання, 1990. – 28 с.

53. Гвоздяк, П. И. Научное обоснование, разработка и внедрение в практику новых биотехнологий очистки воды [Текст] / П. И. Гвоздяк, Л. И. Глоба // Химия и технология воды. – 1998. – Т.20, №3. – С. 325–329.

54. Форстер, К. Ф. Экологическая биотехнология [Текст] / К. Ф. Форстер, Д. А. Дж. Вейз. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.

55. Нездойминов, В. И. Одноиловая нитрификация-денитрификация в биологических реакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации [Текст]:

автореф. ... докт. технич. наук: 05.23.04 / Нездойминов Виктор Иванович; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Донецк, 2013. – 37 с.

56. Юхневич, Г. Г. Оценка эффективности мутагенной обработки активного ила для биологической очистки городских сточных вод [Текст] / Г. Г. Юхневич, В. С. Савчук, Е. В. Чобитько // Актуальные проблемы экологии: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 2012 г.); В 2 ч. Ч. 2; Гродненский гос. ун-т им. Я. Купалы. – Гродно: ГрГУ, 2012. – С. 129–131.

57. Хабибуллина, Л. И. Исследование возможности применения Мелафена для интенсификации биологической очистки сточных вод от различных загрязнений [Текст] / Л. И. Хабибуллина, М. В. Шулаев, Е. О. Михайлова и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №. 7. – С. 192–198.

58. Ткачук, Н. Г. Интенсификация роста и ферментативной активности микроорганизмов ила для очистных сооружений электрическим током и ультразвуком [Текст]: дисс. ... канд. технич. наук: 05.18.11 / Ткачук Николай Григорьевич; Киевский ордена трудового красного знамени технологический институт пищевой промышленности. – Киев, 1983. – 154 с.

59. Ткачук, Н. Г. Применение ультразвука для интенсификации биологической очистки сточных вод [Текст] / Н. Г. Ткачук // Водоснабжение и санитарная техника. – 1994. – № 7. – С. 31–32.

60. Lilly, D. M. Probiotics: growth-promoting factors produced by microorganisms [Text] / D. M. Lilly, R. H. Stillwell // Science. – 1965. – 147(3659). – P. 747–748; doi:10.1126/science.147.3659.747

61. Ладодо, К. С. Использование продуктов про- и пребиотического действия в детском питании [Текст] / К. С. Ладодо, Т. Э. Боровик, В. А. Скворцова // Вопросы современной педиатрии. – 2006. – Т. 5, № 6. – С. 64–69.

62. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Evaluation of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food Including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria [Text] / Food and Agriculture Organization of the United Nations,

World Health Organization American Cordoba Park Hotel. – Cordoba, Argentina, 1–4 October 2001. – 34 p.

63. Сорокулова, И. Б. Рекомбинантные пробиотики: проблемы и перспективы использования в медицине и ветеринарии [Текст] / И. Б. Сорокулова, В. А. Белявская, В. А. Масычева и др. // Вестник РАМН. – 1997. – № 3. – С. 46–49.

64. Онищенко, Г. Г. Иммунобиологические препараты и перспективы их применения в инфектологии [Текст] / Г. Г. Онищенко, В. А. Алешкин, С. С. Афанасьев и др. – М., 2002. – 608 с.

65. Бондаренко, В. М. Пробиотики и механизмы их лечебного действия [Текст] / В. М. Бондаренко, Р. П. Чупринина, Ж. И. Аладышева и др. // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2004. – № 3. – С. 83–87.

66. Шендеров, Б. А. Пробиотики и функциональное питание [Текст] / Б. А. Шендеров, М. А. Манвелова, Ю. Б. Степанчук и др. // Антибиотики и химиотерапия. – 1997. – Т. 42, № 7. – С. 30–34.

67. Рыкова, Л. И. Основы микробиологического контроля консервного производства [Текст] / Л. И. Рыкова, М. И. Черняева. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 404 с.

68. Доронин, А. Ф. Функциональное питание [Текст] / А. Ф. Доронин, Б. А. Шендеров. – М.: Грант, 2002. – 296 с.

69. Коршунов, В. М. Характеристика биологических препаратов и пищевых добавок для функционального питания и коррекции микрофлоры кишечника [Текст] / В. М. Коршунов, Б. А. Ефимов, А. П. Пикина // Микробиология. – 2000. – № 3. – С. 86–91.

70. Floch, M. H. Probiotics and functional foods in gastrointestinal disorders [Text] / M. H. Floch, J. A. Hong-Curtiss // Current gastroenterology reports. – 2001. – 3(4). – P. 343–350.

71. Folwaczny, C. Probiotics for prevention of ulcerative colitis recurrence: alternative medicine added to standard treatment? [Text] / C. Folwaczny // Zeitschrift fur Gastroenterologie. – 2000. – 38(6). – P. 547–550.

72. Fuller, R. Probiotics: prospects of use in opportunistic infections [Text] / R. Fuller. – N.Y.: Greene J.D., 1995. – 248 p.
73. Ishibashi, N. Probiotics and safety [Text] / N. Ishibashi, S. Yamazaki // *Am J Clin Nutr.* – 2001. – 73(2). – P. 465–470.
74. Isolauri, E. Probiotics: effects on immunity [Text] / E. Isolauri, Y. Sutas, P. Kankaanpaa et al [Text] // *The American journal of clinical nutrition.* – 2001. – 73(2). – P. 444–450.
75. Shanahan, F. Probiotics in inflammatory bowel disease [Text] / F. Shanahan // *Gut.* – 2001. – 48(5). – P. 609–609.
76. Tannock, G. W. Probiotics. A Critical Review [Text] / G. W. Tannock // *Horizon Sci Press, Norfolk, England.* – 1999. – p. 160.
77. Мечников, И. И. Этюды оптимизма [Текст] / И. И. Мечников. – М: Наука, 1988. – 328 с.
78. Ng, S. C. Mechanisms of action of probiotics: recent advances [Text] / S. C. Ng, A. L. Hart, M. A. Kamm et al. [Text] // *Inflammatory bowel diseases.* – 2009. – 15(2). – P. 300–310; doi: 10.1002/ibd.20602.
79. Алешкин, В. А. Становление пробиотикотерапии в России [Текст] / В. А. Алешкин, С. С. Афанасьев, В. В. Поспелова и др. // *Вестник РАМН.* – 2005. – № 12. – С. 3–13.
80. Bermudez-Brito, M. Probiotic mechanisms of action / M. Bermudez-Brito, J. Plaza-Diaz, S. Munoz-Quezada et. al. [Text] // *Annals of Nutrition and Metabolism.* – 2012. – № 61 (2). – P. 160–174; doi: 10.1159/000342079.
81. Dongarra, M. L. Mucosal immunology and probiotics [Text] / M. L. Dongarra, V. Rizzello, L. Muccio et. al. // *Curr. Allergy Asthma Rep.* – 2013. – 13(1). – P. 19–26; doi: 10.1007/s11882-012-0313-0.
82. Hoffmann, D. E. Science and regulation. Probiotics: finding the right regulatory balance [Text] / D. E. Hoffmann, C. M. Fraser, F. B. Palumbo et. al. // *Science.* – 2013. – 342(6156). – P. 314–315; doi: 10.1126/science.1244656.
83. Landy, J. Commentary: the effects of probiotics on barrier function and mucosal pouch microbiota during maintenance treatment for severe pouchitis in patients

with ulcerative colitis [Text] / J. Landy, A. Hart // *Alimentary pharmacology & therapeutics*. – 2013. – 38(11–12). – P. 1405–1406; doi: 10.1111/apt.12517.

84. Гришель, А. И. Пробиотики и их роль в современной медицине [Текст] / А. И. Гришель, Е. П. Кишкурно // *Вестник фармации*. – 2009. – № 1(43). – С. 90–93.

85. Захарова, И. Н. Современные пробиотики для коррекции микробиоценоза кишечника у детей [Текст] / И. Н. Захарова, Л. Н. Мазанкова, Ю. А. Дмитриева // *Вопросы современной педиатрии*. – 2009. – Т. 8, № 2. – С. 109–113.

86. Кривущев, Б. И. Дисбактериоз и пробиотики [Текст] / Б. И. Кривущев // *Здоровье ребенка*. – 2010. – № 3 (24). – С. 75–79.

87. Урсова, Н. И. Пробиотики в комплексной коррекции дисбактериоза кишечника у детей [Текст] / Н. И. Урсова // *Лечащий врач: журнал для профессионалов в медицине*. – 2008. – № 1. – С. 12–14.

88. Учайкин, В. Ф. Пробиотики в педиатрии [Текст] / В. Ф. Учайкин // *Детские инфекции*. – 2008. – Т. 7, № 3. – С. 55–56.

89. Хавкин, А. И. Пробиотические продукты питания и естественная защитная система организма [Текст] / А. И. Хавкин // *Русский медицинский журнал: Независимое издание для практикующих врачей*. – 2009. – Т. 17, № 4. – С. 241–245.

90. Бондаренко, В. М. Дисбиотические состояния и лечебные мероприятия при них [Текст] / В. М. Бондаренко, Н. М. Грачева // *Вестник РАМН*. – 2005. – № 12. – С. 24–29.

91. Григорьев, П. Я. Диагностика и лечение органов пищеварения [Текст] / П. Я. Григорьев, Э. П. Яковенко. – СПб.: Сотис, 1997. – 180 с.

92. Гребенев, А. Л. Болезни кишечника [Текст] / А. Л. Гребенев, Л. П. Мягкова. – М.: Медицина, 1994. – 280 с.

93. Щербаков, П. Л. Вопросы педиатрической гастроэнтерологии [Текст] / П. Л. Щербаков // *Русский медицинский журнал*. – 2003. – Т. 11, № 3. – С. 107–113.

94. Воробьев, А. А. Микрoэкологические нарушения при клинической патологии и их коррекция бифидосодержащими пробиотиками [Текст] / А. А. Воробьев, В. М. Бондаренко, Е. А. Лыкова и др. // Вестник РАМН. – 2004. – №2. – С.13–17.

95. Drisko, J. A. Probiotics in health maintenance and disease prevention [Text] / J. A. Drisko, Ch. K. Giles, B. J. Bischoff // *Alternative Medicine Review*. – 2003. – Vol. 8, No. 2. – P. 143–155.

96. Klaenhammer, T. R. Probiotic bacteria: today and tomorrow [Text] / T. R. Klaenhammer // *The Journal of nutrition*. – 2000. – 130(2) – P. 415–416.

97. Landy, J. Commentary: the effects of probiotics on barrier function and mucosal pouch microbiota during maintenance treatment for severe pouchitis in patients with ulcerative colitis [Text] / J. Landy, A. Hart // *Alimentary pharmacology & therapeutics*. – 2013. – 38(11–12). – P. 1405-1406; doi: 10.1111/apt.12517.

98. Циммерман, Я. С. Антибиотикоассоциированная диарея и псевдомембранозный колит суть клинически манифестные формы кишечного дисбиоза [Текст] / Я. С. Циммерман, И. Я. Циммерман // *Клиническая медицина*. – 2005. – № 12. – С. 12–19.

99. Hooton, T. M. Recurrent urinary tract infection in women [Text] / T. M. Hooton // *International journal of antimicrobial agents*. – 2001. – 17(4). – P. 259–268.

100. Микробиология [Текст]: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. И. Нетрусов, И. Б. Котова. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 352 с.

101. Hamilton-Miller, J. M. T. Some insights into the derivation and early uses of the word “probiotic”[Text] / J. M. T. Hamilton-Miller, G. R. Gibson, W. Bruck // *British Journal of nutrition*. – 2003. – 90(04). – P. 845.

102. Silva, C. Effects of estrogen administration on the colonization capability of lactobacilli and escherichia coli in the urinary tracts of mice [Text] / C. Silva, R. Rey, M. E. Nader-Macias // *Public Health Microbiology: Methods and Protocols*. – 2004. – No 268. – P.387–399.

103. Антипов, В. А. Использование пробиотиков в животноводстве [Текст] / В. А. Антипов // Ветеринария. – 1991. – №4. – С. 55–58.

104. Белявская, Б. А. Пробиотики из рекомбинантных бацилл – новый класс лечебно-профилактических препаратов и способов доставки лекарственных белков в организм [Текст] / Б. А. Белявская // Сб. науч. тр. сотрудников НИКТИ БАВ. – Бердск, 1996. – С. 190–198.

105. Ноздрин, А. Г. Фармакологические аспекты применения пробиотиков новорожденным телятам [Текст]: Дис....канд. вет. наук.: 16.00.04. / А. Г. Ноздрин. – Троицк, 2000. – 142 с.

106. Ноздрин, Г. А. Пробиотики на основе *Vac.subtilis* и перспективы их применения [Текст] / Г. А. Ноздрин, А. Б. Иванова, А. Г. Ноздрин и др. // Актуальные вопросы ветеринарной медицины. Материалы Сиб. Междунар. вет. конгр. / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2005. – С. 6–11.

107. Ноздрин, Г. А. Состояние и перспективы применения пробиотиков на основе *Vac.subtilis* в Западно-Сибирском регионе / Г. А. Ноздрин // Материалы науч.-практ. конф. «Новые пробиотические и иммуностропные препараты в ветеринарии» Новосибирск, 2003. – С. 79.

108. Бондаренко, В. М. Пробиотики, пребиотики и синбиотики в терапии и профилактике кишечных дисбактериозов [Текст] / Бондаренко В. М., Грачева Н. М. // Фарматека. – 2003. – Т. 7. – С. 56–63.

109. Дисбактериозы кишечника, причины возникновения, диагностика, применение бактериальных биологических препаратов [Текст]: пособие для врачей и студентов / Н. М. Грачева, Н. Д. Ющук, Р. П. Чуприна и др. – М.: Медицина, 1999. – 44 с.

110. Григорьев, А. В. Разработка и клиническая оценка пробиотика “Бифидумбактерин форте” [Текст] / А. В. Григорьев, В. М. Бондаренко, А. Н. Абрамов и др. // ЖМЭИ. – 1997. – №3. – С. 92–96.

111. Madden, J. A. A review of the role of the gut microflora in irritable bowel syndrome and the effects of probiotics [Text] / J. A. Madden, J. O. Hunter // British Journal of Nutrition. – 2002. – 88(S1). – P. 67–72.

112. Perdigon, G. Lactic acid bacteria and their effect in the immune system [Text] / G. Perdigon, R. Fuller, R. Raya // Current issues in intestinal microbiology. – 2001. – 2(1). – P. 27–42.

113. Reid, G. Probiotics for urogenital health [Text] / G. Reid // Nutrition in Clinical Care. – 2002. – 5(1). – P. 3–8.

114. Salminen, S. Lactulose, lactic acid bacteria, intestinal microecology and mucosal protection [Text] / S. Salminen, E. Salminen // Scandinavian Journal of gastroenterology. – 1997. – 32(sup222). – P. 45–48.

115. Madigan, M. T. Biology of Microorganisms [Text] / M. T. Madigan et al.; 14th Edition. – Pearson, 2014. – 1032 p.

116. Bentley, R. Biosynthesis of vitamin K (menaquinone) in bacteria [Text] / R. Bentley, R. Meganathan // Microbiological Reviews. – 1982. – 46(3). – P. 241–280.

117. Hudault, S. Escherichia coli strains colonising the gastrointestinal tract protect germfree mice against Salmonella typhimurium infection [Text] / S. Hudault, J. Guignot, A. L. Servin // Gut. – 2001. – 49(1). – P. 47–55.

118. Reid, G. Can bacterial interference prevent infection? [Text] / G. Reid, J. Howard, B. S. Gan // Trends in microbiology. – 2001. – 9(9). – P. 424–428.

119. Мелентьев, А. И. Аэробные спорообразующие бактерии Bacillus Cohn в агроэкосистемах [Текст] / А. И. Мелентьев. – М.: Наука, 2007. – 148 с.

120. Смирнов, В. В. Споробразующие аэробные бактерии – продуценты биологически активных веществ [Text] / В. В. Смирнов, С. Р. Резник, И. А. Василевская. – К.: Наук. Думка, 1982. – 279 с.

121. Сорокулова, И. Б. Перспективы применения бактерий рода Bacillus для конструирования новых биопрепаратов [Текст] / И. Б. Сорокулова // Антибиотики и химиотерапия. – 1996. – Т.41, № 10. – С. 13–15.

122. Смирнов, В. В. Дискуссионные вопросы создания и применения бактериальных препаратов для коррекции микрофлоры теплокровных [Текст] / В. В. Смирнов, С. Р. Резник, И. Б. Сорокулова и др. // Микробиол. журн. – 1992. – Т. 54, №6. – С. 82–92.

123. Блинкова, Л. П. Антагонистическая активность свежевыделенных штаммов бактерий рода *Bacillus* [Текст] / Л. П. Блинкова, С. А. Семенов, Л. Г. Бутова и др. // ЖМЭИ. – 1994. – №5. – С. 71–72.
124. Амбулос, Н. Бациллы. Генетика и биотехнология [Текст] / Н. Амбулос, Р. Арчибальд, Т. Аткинсон и др.; под ред. К. Харвуда; перевод с англ. А. А. Прозорова и др. – М.: Мир, 1992. – 530 с.
125. Микробиология [Текст]: учебное пособие / В. В. Лысак. – Минск: БГУ, 2007. – 426 с.
126. Поспелова, В. В. Новые сферы применения микробных биопрепаратов для коррекции бактериоценоза организма человека [Текст] / В. В. Поспелова, Н. Г. Рахимова, М. П. Халенева и др. // Иммунобиол. препараты. – 1989. – С. 142–152.
127. Buchell, M. E. A physiological model for the control of erythromycin production in batch and cyclyc fed batch culture [Text] / M. E. Buchell, J. Smith, H. C. Lynch // Microbiology. – 1997. – 143(2). – P. 475–480.
128. Сорокулова, И. Б. Сравнительное изучение биологических свойств биоспорина и других коммерческих препаратов на основе бацилл [Текст] / И. Б. Сорокулова // Микробиол. журн. – 1997. – Т.69, №6. – С. 43–49.
129. Бойко, Н. В. Антагонистическое действие культур *Bacillus subtilis* на бактерии рода *Klebsiella* [Текст] / Н. В. Бойко, А. И. Туряница, Е. П. Попович и др. // Микробиол. журн. – 1989. – Т.51, №1. – С. 87–91.
130. Красноголовец, В. Н. Дисбактериоз кишечника [Текст] / В. Н. Красноголовец. – М.: Медицина, 1979. – 198 с.
131. Кудрявцев, В. А. Влияние живых культур *Bacillus subtilis* на неспецифическую резистентность организма [Текст] / В. А. Кудрявцев, Л. А. Сафронова, А. И. Осадчая и др. // Микробиол. журн. – 1996. – Т.58, №2. – С. 46–53.
132. Кузнецова, Н. И. Штамм *Bacillus thuringiensis*, токсичный для комнатной мухи [Текст] / Н. И. Кузнецова, Т. А. Смирнова, Т. Н. Шамшина и др. // Биотехнология. – 1995. – №3–4. – С. 11–14.

133. Митрохин, С. Д. Микробиологические и биохимические показатели изменения микробной экологии толстой кишки крыс под влиянием рифампицина [Текст] / С. Д. Митрохин, Б. А. Шендеров // Антибиотики и химиотерапия. – 1999. – Т.34, №6 – С. 448–452.

134. Панчишина, М. В. Дисбактериоз кишечника [Текст] / М. В. Панчишина, С. Ф. Олейник. – К.: Здоров'я, 1983. – 120 с.

135. Cromwick, A. M. Effects of pH and aeration on *y*-poly (glutamic acid) formation by *Bacillus licheniformis* in controlled batch fermentor cultures [Text] / A. M. Cromwick, G. A. Birrer, R. A. Gross // Biotechnology and Bioengineering. – 1996. – 50(2). – P. 222–227.

136. Glatz, B. A. Alteration of vascular permeability in rabbits by culture filtrates of *Bacillus cereus* and related species [Text] / B. A. Glatz, W. M. Spira, J. M. Goepfert // Infection and immunity. – 1974. – 10(2). – P. 299–303.

137. Lin, S.-C. Continuous production of the lipopeptide biosurfactant of *Bacillus licheniformis* JF-2 [Text] / S.-C. Lin, K. S. Carswell, M. M. Sharma et al. // Applied Microbiology and Biotechnology. – 1994. – 41(3). – P. 281–285.

138. PIP Plus Water Tests on structures “AK” Kyivvodokanal” [Электронный ресурс] / CHRISAL R&D – TEST FILE. Coordinator: Oleg Lysenko. – Режим доступа: www.chrisalasia.com/images/pdf/T_RUS%20PIP_Plus_Water_on_Kievvodokanal%20English.pdf. – Загл. с экрана.

139. Report on production testing probiotic agents PIP + WATER (INNOL-PROBIO) for sewage pumping stations [Электронный ресурс] / Report of industrial research of probiotic agent PIP+WATER on Kobelyaki's wastewater treatment plants of “Poltavavodokanal”. Project manager A. Nikolenko. – Режим доступа: www.chrisalasia.com/images/pdf/Water%20Treatment%20with%20Probiotics.pdf. – Загл. с экрана.

140. Ильин, С. Н. Наша миссия - сделать жизнь горожан качественной, а услуги доступными [Электронный ресурс] / С. Н. Ильин // Вода Magazine. – 2012. – №2(54). – Режим доступа: <http://www.watermagazine.ru/journal/izdanie/4247-2011-11-30-13-33-17>. – Загл. с экрана.

141. Отзыв о применении биорегенератора “Оксидол” производства компании Агранко на комплексе очистных сооружениях г. Череповец [Электронный ресурс] / Сайт ООО “Агранко-РУ”. – Режим доступа: [http://agranco-russia.com/download/ 6%20Otziv%20Cherepovets%20letter.pdf](http://agranco-russia.com/download/6%20Otziv%20Cherepovets%20letter.pdf). – Загл. с экрана.

142. Case Study Summary – Sludge reduction and cost savings in municipal wastewater treatment facility with SCD Odor Away™ in Kansas City, MO, USA [Электронный ресурс] / Site of company SCD probiotics. – Режим доступа: <http://www.scdprobiotics.com/v/vspfiles/assets/pdf/Kansas%20CityMissouriUSA.pdf>. – Загл. с экрана.

143. Case Study Summary – Improving the efficiency of urban wastewater treatment facility using SCD Bio Klean™ in Łowicz, Poland [Электронный ресурс] / Site of company SCD probiotics. – Режим доступа: www.scdprobiotics.com/v/vspfiles/assets/pdf/wastewater-lowicz-poland.pdf. – Загл. с экрана.

144. Case Study Summary – SCD Bio Klean™ used to improve the efficiency of urban wastewater treatment facility in Turek, Poland [Электронный ресурс] / Site of company SCDprobiotics. – Режим доступа: <https://www.scdprobiotics.com/v/vspfiles/assets/pdf/wastewater-turek-poland.pdf>. – Загл. с экрана.

145. Case Study Summary – SCD Probiotics® Technology used to save energy in the aeration process of the wastewater treatment facility in Mohali, India [Электронный ресурс] / Site of company SCD probiotics. – Режим доступа: <https://www.scdprobiotics.com/v/vspfiles/assets/pdf/wastewater-mohali-india.pdf>. – Загл. с экрана.

146. Case Study Summary – Treatment of Oil and Grease with SCD Bio Klean™ on a kitchen wastewater in Hong Kong [Электронный ресурс] / Site company SCD probiotics. – Режим доступа: <http://www.scdprobiotics.com/v/vspfiles/assets/pdf/scd-bioklean-kitchen-wastewater.pdf>. – Загл. с экрана.

147. Case Study Summary – SCD Probiotics® Technology used to control odor and improve water quality in the city sewage system of Cartagena, South America [Электронный ресурс] / Site of company SCD probiotics. – Режим доступа:

www.scdprobiotics.com/v/vspfiles/assets/pdf/sewage-cartagena-sa.pdf. – Загл. с экрана.

148. Miron, A. R. Use of micropan complex and eparcyl pro bioactivators for pharmaceutical wastewaters treatment [Text] / A. R. Miron et al. // U.P.B. Sci. Bull. – 2015. – Series B. – 77(3). – P. 175–184.

149. Информация о препарате Micropan [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.eurovix.us/images/product/pdf/mcomp.pdf>. – Загл. с экрана.

150. Информация о препарате Эпарсил [Электронный ресурс] / Сайт компании Eparcyl. – Режим доступа: <http://www.eparcyl.com>. – Загл. с экрана.

151. Борисова, В. Ю. Исследование биологической очистки сточных вод с использованием биопрепаратов [Текст] / В. Ю. Борисова, Н. С. Серпоккрылов, Е. В. Скибина // Вода: химия и экология. – 2013. – №4. – С. 32–37.

152. Борисова, В. Ю. Повышение эффективности работы сооружений биологической очистки сточных вод в течение суток [Текст]: автореф. ... канд. технич. наук: 05.23.04 / Борисова Вита Юрьевна; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Волгоград, 2013. – 18 с.

153. Саийд, М. Сравнительная оценка режима биологической очистки сточных вод с применением биопрепаратов и волнового воздействия [Текст] / М. Саийд, И. А. Ченский, Н. С. Серпоккрылов // Сб. докладов X Междунар. науч.-практ. конф. “Технологии очистки воды “Техновод-2017” (Астрахань, 5–6 октября 2017 г.). – Новочеркасск: Лик, – 2017. – С. 190–196.

154. Серпоккрылов, Н. С. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений [Электронный ресурс] / Н. С. Серпоккрылов, С. Е. Петренко, В. Ю. Борисова // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 25. – №2(25). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1602>

155. Молдагулова, Н. Б. Разработка биотехнологического способа очистки сточных вод в лабораторных условиях [Текст] / Н. Б. Молдагулова, Э. Ж. Хасенова, Ф. Ж. Алдынгурова и др. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 10-1. – С. 35–38.

156. Иванов, А. А. Биопрепарат для обезвреживания и очистки сточных вод [Текст] / А. А. Иванов, Л. Е. Матросова, М. Я. Тремасов // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №3. – С. 83–84.
157. Калюжный, С. В. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы [Текст] / С. В. Калюжный. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
158. Яковлев, С. В. Канализация [Текст] / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов – М.: Стройиздат, 1975. – 632 с.
159. Гудков, А. Г. Механическая очистка сточных вод [Текст] / А. Г. Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2003. – 152 с.
160. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
161. ГОСТ 9932-75. Реометры стеклянные лабораторные. Технические условия [Текст]. – Введ. 1977-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 21 с.
162. Швецов, В. Н. Нитрификация и денитрификация сточных вод [Текст] / В. Н. Швецов, К. М. Морозова, И. А. Нечаев. // Водоснабжение и санитарная техника. – 1995. – № 11. – С. 9–14.
163. КНД 211.1.4.030-95. Методика фотометрического определения аммоний-ионов с реактивом Неслера в сточных водах [Текст]: [утверждена Министерством охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины 25 апреля 1995 г.]. – К., 1995.
164. КНД 211.1.4.043-95. Методика фотометрического определения фосфатов в сточных водах [Текст]: [утверждена Министерством охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины 25 апреля 1995 г.]. – К., 1995.
165. КНД 211.1.4.024-95. Методика определения биохимического потребления кислорода после n дней (БПК) в природных и сточных водах [Текст]: [утверждена Министерством охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины 25 апреля 1995 г.]. – К., 1995.
166. МВВ № 081/12-0317-06. Методика выполнения измерений водородного

показателя (рН) электрометрическим методом [Текст]: [утверждена Министерством охраны окружающей природной среды Украины 2 февраля 2006 г.]. – К., 2006.

167. КНД 211.1.4.039-95. Методика гравиметрического определения взвешенных веществ в природных и сточных водах [Текст]: [утверждена Министерством охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины 25 апреля 1995 г.]. – К., 1995.

168. КНД 211.1.4.021-95. Методика определения химического потребления кислорода (ХПК) в поверхностных и сточных водах [Текст]: [утверждена Министерством охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины 25 апреля 1995 г.]. – К., 1995.

169. РНД 06-05-2002. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитратов [Текст]: [утверждена Государственным комитетом Украины по вопросам жилищно-коммунального хозяйства 28 мая 2004 г.]. – К., 2004.

170. РНД 07-05-2002. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитритов [Текст]: [утверждена Государственным комитетом Украины по вопросам жилищно-коммунального хозяйства 28 мая 2004 г.]. – К., 2004.

171. РНД 13-05-2002 Методика выполнения определения растворенного кислорода [Текст]: [утверждена Государственным комитетом Украины по вопросам жилищно-коммунального хозяйства 28 мая 2004 г.]. – К., 2004.

172. MBV 081 / 12-0311-06 Поверхностные, подземные и сточные воды. Методика выполнения измерений температуры (1,5-70°C) [Текст]: [утверждена Министерством охраны окружающей природной среды Украины 2 февраля 2006 г.]. – К., 2006.

173. Технология очистки сточных вод [Текст]: учебное пособие: самост. учеб. электрон. изд. / А. П. Карманов, И. Н. Полина; Сыкт. лесн. инт-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар: СЛИ, 2015. – 207 с.

174. ПНД Ф 12.16.1-10. Методические рекомендации. Определение температуры, запаха, окраски (цвета) и прозрачности в сточных водах, в том числе очищенных сточных, ливневых и талых [Текст] : [утверждено Федеральной службой по надзору в сфере природопользования 27 ноября 2015 г.] / М., 2015. – 12 с.
175. Кутикова, Л. А. Фауна аэротенков: (Атлас) [Текст] / Л. А. Кутикова. – Л.: Наука, 1984. – 264 с.
176. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов [Текст]: учебное пособие / Л. О. Штриплинг, Ф. П. Туренко. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 192 с.
177. Гудков, А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод [Текст] / А. Г. Гудков – Вологда: ВоГТУ, 2002. – 127 с.
178. Хаммер, М. Дж. Технология обработки природных и сточных вод [Текст] / М. Дж. Хаммер; пер. с англ. под ред. Карюхиной Т. А. – М.: Стройиздат, 1979. – 400 с.
179. Degremont. Технический справочник по обработке воды [Текст]. В 2 т. Т. 1 / под ред. М. И. Алексеева и др.; пер. с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 878 с.
180. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст] / Н. С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
181. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации [Текст] / М.: Стройиздат, 1979. – 299 с.
182. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика [Текст] / А. И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
183. Налимов, В. В. Планирование эксперимента [Текст] / В. В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
184. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 278 с.

185. Большев, Л. Н. Таблицы математической статистики [Текст] / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической науки, 1972. – 382 с.

186. ПНД 27-05-2002. Методика выполнения измерений санитарно-микробиологических показателей [Текст]: [утверждена Государственным комитетом Украины по вопросам жилищно-коммунального хозяйства 28 мая 2004 г.]. – К., 2004.

187. МУ 2285-81. Методические указания по санитарно-микробиологическому анализу воды поверхностных водоемов [Текст]: [утверждено начальником Главного санитарно-эпидемиологического управления Министерства здравоохранения СССР 19.01.1981 г.]. – М., 1981. – 43 с.

188. Унифицированные методы исследования качества вод [Текст]. В 2 ч. Ч. 1. Методы химического анализа вод. – М.: СЭВ, 1987. – 2217 с.

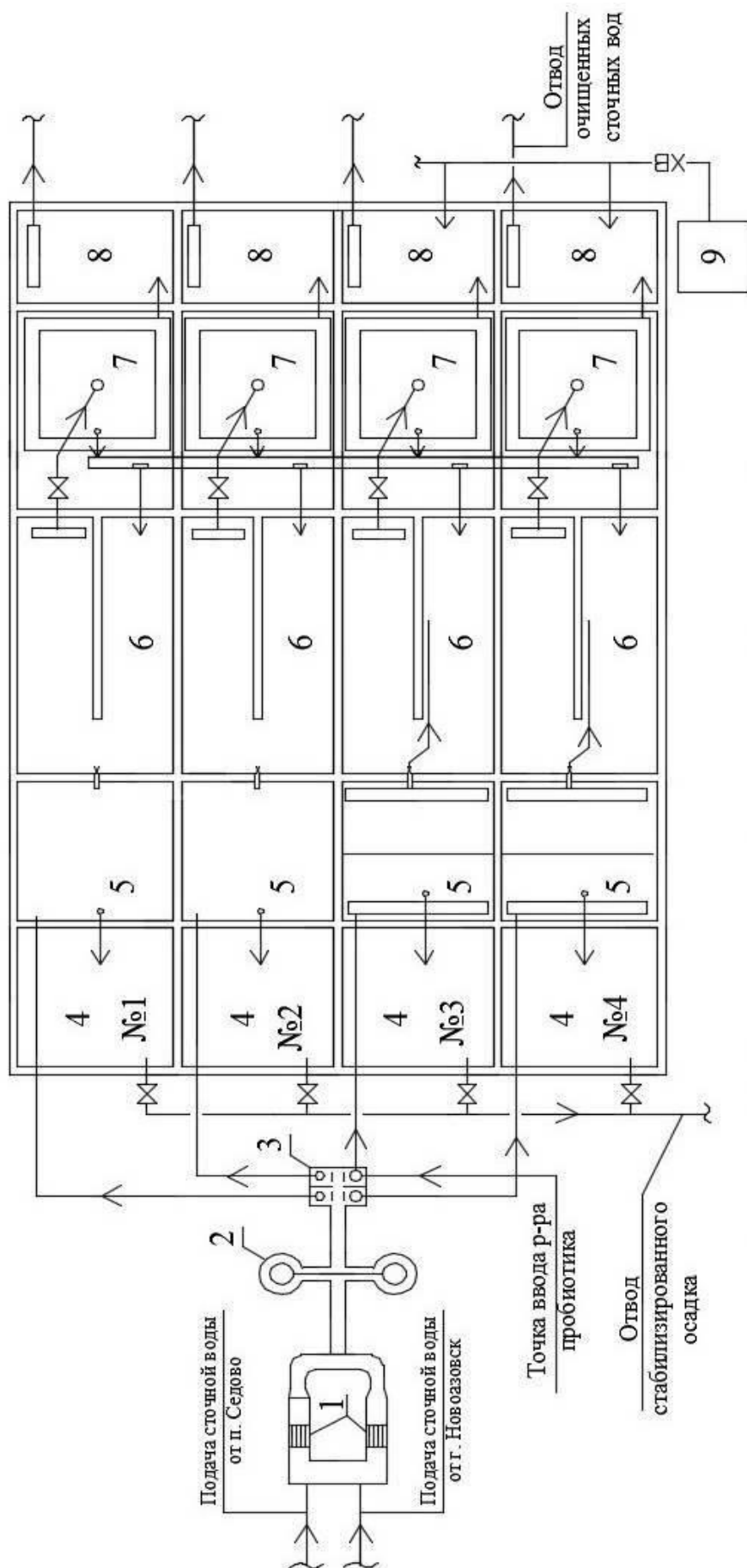
189. Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів [Текст]: [Наказ міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 20.07.2009 №389] / К., 2009.

190. Сайт министерства финансов Украины. Сводная таблица индексов потребительских цен в Украине с 2000 по 2017 годы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://index.minfin.com.ua/index/infl>. – Загл. с экрана.

191. Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту) [Текст]: [Наказ міністерство аграрної політики та продовольства України від 30.07.2012 № 471] / К., 2012.

Приложение А

Схема канализационной очистной станции г. Новоозовска



1 - решетки с ручным удалением загрязнений, 2 - песколовки горизонтальные с круговым движением жидкости, 3 - распредача, 4 - аэробные минерализаторы, 5 - первичные отстойники, 6 - двухкоридорные аэротенки, 7 - вторичные отстойники, 8 - контактные резервуары, 9 - блочная установка приготовления и дозирования привозного гипохлорита натрия, ХВ - трубопровод хлорной воды.

Приложение Б

Результаты исследования способности пробиотических препаратов
интенсифицировать процессы очистки СВ

Таблица Б.1 Результаты исследования интенсификации очистки СВ при
введении пробиотического средства PIP WATER PLUS

Показатели			Исходная сточная вода	После первичного отстаивания	После биологической очистки
Запах	Емкость №1 (пробиотик)		5	2	0
	Емкость №2 (контроль)			5	1
Ph	Линия №1 (пробиотик)		8,10...7,79	-	7,39...7,21
	Линия №2 (контроль)			-	7,49...7,78
БПК ₅	Емкость №1 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	291	189	12
		% снижения	-	35,1	93,7
	Емкость №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	291	235	41
		% снижения	-	19,3	82,6
	Разница с контролем, мгО ₂ /дм ³		-	46	29
	Увеличение эффекта очистки, %		-	15,8	11,1
Взвешенные вещества	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм ³	285	129	13
		% снижения	-	54,7	89,9
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм ³	285	178	39
		% снижения	-	37,5	78,1
	Разница с контролем, мг/дм ³		-	49	26
	Увеличение эффекта очистки, %		-	17,2	11,8
Азот аммонийный	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм ³	52	48	0,9
		% снижения	-	7,7	98,1
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм ³	52	49	15
		% снижения	-	5,8	69,4
	Разница с контролем, мг/дм ³		-	1	14,1
	Увеличение эффекта очистки, %		-	1,9	28,7
ХПК	Емкость №1 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	600	-	55
		% снижения	-	-	90,8
	Емкость №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	600	-	120
		% снижения	-	-	80,0
	Разница с контролем, мгО ₂ /дм ³		-	-	65
Увеличение эффекта очистки, %		-	-	10,8	
Нитриты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		-	-	0,6
	Емкость №2 (контроль)		-	-	2,3
Нитраты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		-	-	169
	Емкость №2 (контроль)		-	-	88
Фосфаты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		13	-	8
	Емкость №2 (контроль)		13	-	10

Таблица Б.2 Результаты исследования интенсификации очистки СВ при введении пробиотического средства SCD Bio Klean

Показатели			Исходная сточная вода	После первичного отстаивания	После биологической очистки
Запах	Емкость №1 (пробиотик)		5	2	1
	Емкость №2 (контроль)			5	1
Ph	Линия №1 (пробиотик)		7,95...7,68	-	7,45...7,18
	Линия №2 (контроль)			-	7,6...7,33
БПК ₅	Емкость №1 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	288	213	22
		% снижения	-	26,0	89,7
	Емкость №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	288	240	39
		% снижения	-	16,6	83,8
	Разница с контролем, мгО ₂ /дм ³		-	27	17
	Увеличение эффекта очистки, %		-	9,4	5,9
Взвешенные вещества	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм ³	296	158	27
		% снижения	-	46,6	82,9
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм ³	296	183	41
		% снижения	-	38,2	77,6
	Разница с контролем, мг/дм ³		-	25	14
	Увеличение эффекта очистки, %		-	8,4	5,3
Азот аммонийный	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм ³	58	54	12
		% снижения	-	6,9	77,8
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм ³	58	53	17
		% снижения	-	8,6	67,9
	Разница с контролем, мг/дм ³		-	-1	5
	Увеличение эффекта очистки, %		-	-1,7	9,9
ХПК	Емкость №1 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	620	-	75
		% снижения	-	-	87,9
	Емкость №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	620	-	110
		% снижения	-	-	82,3
	Разница с контролем, мгО ₂ /дм ³		-	-	35
Увеличение эффекта очистки, %		-	-	5,6	
Нитриты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		-	-	1,2
	Емкость №2 (контроль)		-	-	1,8
Нитраты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		-	-	138
	Емкость №2 (контроль)		-	-	98
Фосфаты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		12	-	7
	Емкость №2 (контроль)		12	-	9

Таблица Б.3 Результаты исследования интенсификации очистки СВ при введении пробиотического средства Microbes

Показатели			Исходная сточная вода	После первичного отстаивания	После биологической очистки
Запах	Емкость №1 (пробиотик)		5	3	1
	Емкость №2 (контроль)			5	1
Ph	Линия №1 (пробиотик)		7,98...7,71	-	6,58...7,31
	Линия №2 (контроль)			-	7,63...7,37
БПК ₅	Емкость №1 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	289	230	30
		% снижения	-	20,4	87,0
	Емкость №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	289	245	40
		% снижения	-	15,2	83,7
	Разница с контролем, мгО ₂ /дм ³		-	15	10
	Увеличение эффекта очистки, %		-	5,2	3,3
Взвешенные вещества	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм ³	285	168	30
		% снижения	-	41,0	82,1
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм ³	285	184	38
		% снижения	-	35,4	79,3
	Разница с контролем, мг/дм ³		-	16	8
	Увеличение эффекта очистки, %		-	5,6	2,8
Азот аммонийный	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм ³	53	47	13
		% снижения	-	11,3	72,4
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм ³	53	49	18
		% снижения	-	7,5	63,3
	Разница с контролем, мг/дм ³		-	2	5
	Увеличение эффекта очистки, %		-	3,8	9,1
ХПК	Емкость №1 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	605	-	100
		% снижения	-	-	83,4
	Емкость №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	605	-	125
		% снижения	-	-	79,3
	Разница с контролем, мгО ₂ /дм ³		-	-	25
Увеличение эффекта очистки, %		-	-	4,1	
Нитриты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		-	-	1,6
	Емкость №2 (контроль)		-	-	1,9
Нитраты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		-	-	91
	Емкость №2 (контроль)		-	-	76
Фосфаты, мг/дм ³	Емкость №1 (пробиотик)		13	-	11
	Емкость №2 (контроль)		13	-	11

Таблица Б.4 Результаты исследования интенсификации очистки СВ при введении пробиотического средства “Оксидол”

Показатели		Исходная сточная вода	После первичного отстаивания	После биологической очистки
Запах	Емкость №1 (пробиотик)	5	2	0
	Емкость №2 (контроль)		5	1
Ph	Линия №1 (пробиотик)	8,01...7,75	-	7,36...7,11
	Линия №2 (контроль)		-	7,45...7,71
БПК₅	Емкость №1 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	294	200
		% снижения	-	32,0
	Емкость №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	294	238
		% снижения	-	19,1
	Разница с контролем, мгО₂/дм³		38	27
	Увеличение эффекта очистки, %		12,9	10,2
Взвешенные вещества	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм ³	290	128
		% снижения	-	55,9
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм ³	290	168
		% снижения	-	42,1
	Разница с контролем, мг/дм³		40	26
	Увеличение эффекта очистки, %		13,8	12,5
Азот аммонийный	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм ³	55	52
		% снижения	-	5,5
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм ³	55	52
		% снижения	-	5,5
	Разница с контролем, мг/дм³		0	14,3
	Увеличение эффекта очистки, %		0,0	27,5
ХПК	Емкость №1 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	550	-
		% снижения	-	-
	Емкость №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	550	-
		% снижения	-	-
	Разница с контролем, мгО₂/дм³		-	55
	Увеличение эффекта очистки, %		-	10,0
Нитриты, мг/дм³	Емкость №1 (пробиотик)	-	-	0,4
	Емкость №2 (контроль)	-	-	1,5
Нитраты, мг/дм³	Емкость №1 (пробиотик)	-	-	176
	Емкость №2 (контроль)	-	-	96
Фосфаты, мг/дм³	Емкость №1 (пробиотик)	14	-	10
	Емкость №2 (контроль)	14	-	11

Таблица Б.5 Результаты исследования интенсификации очистки СВ при введении пробиотического средства “Водограй+ОС”

Показатели			Исходная сточная вода	После первичного отстаивания	После биологической очистки
Запах	Емкость №1 (пробиотик)		5	3	1
	Емкость №2 (контроль)			5	1
Ph	Линия №1 (пробиотик)		7,98...7,71	-	6,58...7,31
	Линия №2 (контроль)			-	7,63...7,37
БПК ₅	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм³	285	226	27
		% снижения	-	20,7	88,1
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм³	285	246	38
		% снижения	-	13,7	84,6
	Разница с контролем, мгО ₂ /дм³		-	20	11
	Увеличение эффекта очистки, %		-	7,0	3,5
Взвешенные вещества	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм³	291	155	28
		% снижения	-	46,7	81,9
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм³	291	171	41
		% снижения	-	41,2	76,0
	Разница с контролем, мг/дм³		-	16	13
	Увеличение эффекта очистки, %		-	5,5	5,9
Азот аммонийный	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм³	57	55	15
		% снижения	-	3,5	72,7
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм³	57	54	19
		% снижения	-	5,3	64,8
	Разница с контролем, мг/дм³		-	-1	4
	Увеличение эффекта очистки, %		-	-1,8	7,9
ХПК	Емкость №1 (пробиотик)	мг/дм³	590	-	95
		% снижения	-	-	83,9
	Емкость №2 (контроль)	мг/дм³	590	-	110
		% снижения	-	-	81,4
	Разница с контролем, мгО ₂ /дм³		-	-	15
Увеличение эффекта очистки, %		-	-	2,5	
Нитриты, мг/дм³	Емкость №1 (пробиотик)		-	-	2,1
	Емкость №2 (контроль)		-	-	1,7
Нитраты, мг/дм³	Емкость №1 (пробиотик)		-	-	112
	Емкость №2 (контроль)		-	-	92
Фосфаты, мг/дм³	Емкость №1 (пробиотик)		14	-	12
	Емкость №2 (контроль)		14	-	11

Приложение В

Определение доверительных интервалов результатов изучения интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки СВ при введении пробиотических препаратов

Для определения доверительных интервалов увеличения эффективности первичного отстаивания и биологической очистки СВ при введении пробиотических препаратов произведены расчеты в следующей последовательности:

1. Определены средние значения интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки по каждому показателю из пяти опытов

$$\Delta\mathcal{E}_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta\mathcal{E}_i), \quad (\text{B.1})$$

где n – количество опытов с каждым пробиотиком,
 i – номер опыта.

2. Вычислены значения дисперсии

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2 \quad (\text{B.2})$$

3. Получена величина среднего квадратичного отклонения

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2} \quad (\text{B.3})$$

4. Определены верхняя и нижняя доверительные границы

$$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{верхн.}} = \Delta\mathcal{E}_{cp} + \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (\text{B.4})$$

$$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{нижн.}} = \Delta\mathcal{E}_{cp} - \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (\text{B.5})$$

где t – коэффициент распределения Стьюдента для доверительной вероятности $\alpha = 0,95$, при количестве измерений $n=5$.

Расчет границ доверительных интервалов увеличения эффективности очистки при введении пробиотиков приведен в таблицах В.1–В.5.

Таблица В.1 Результаты расчета доверительных интервалов увеличения эффективности первичного отстаивания по БПК₅ при введении пробиотиков

Величины и их характеристики	Пробиотические препараты				
	PIP+WATER	SCD Bio Klean	Microbec	Оксидол	Водограй
$\Delta\mathcal{E}_1, \%$	16,7	8,7	5,7	13,7	6
$\Delta\mathcal{E}_2, \%$	14,9	8,9	4,9	13,1	6,5
$\Delta\mathcal{E}_3, \%$	15,8	9,7	5,9	12	7,2
$\Delta\mathcal{E}_4, \%$	15	9,7	4,4	12	7,7
$\Delta\mathcal{E}_5, \%$	16,7	9,9	4,9	13,6	7,7
$\Delta\mathcal{E}_{cp}, \%$	15,82	9,38	5,16	12,88	7,02
$(\Delta\mathcal{E}_1 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,7744	0,4624	0,2916	0,6724	1,0404
$(\Delta\mathcal{E}_2 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,8464	0,2304	0,0676	0,0484	0,2704
$(\Delta\mathcal{E}_3 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,0004	0,1024	0,5476	0,7744	0,0324
$(\Delta\mathcal{E}_4 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,6724	0,10	0,5776	0,7744	0,4624
$(\Delta\mathcal{E}_5 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,7744	0,2704	0,0676	0,5184	0,4624
$\Sigma(\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	3,068	1,168	1,552	2,788	2,268
σ^2	0,767	0,292	0,388	0,697	0,567
σ	0,8758	0,540	0,623	0,835	0,753
$t_{0,95}$	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	0,8349	0,5152	0,5939	0,7959	0,7179
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{верхн}}$	16,7	9,9	5,8	13,7	7,7
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{нижн}}$	15,0	8,9	4,6	12,1	6,3

Таблица В.2 Результаты расчета доверительных интервалов увеличения эффективности первичного отстаивания по ВВ при введении пробиотиков

Величины и их характеристики	Пробиотические препараты				
	PIP+WATER	SCD Bio Klean	Microbec	Оксидол	Водограй
$\Delta\mathcal{E}_1, \%$	18,1	7,7	5,3	12,7	4,6
$\Delta\mathcal{E}_2, \%$	17,7	9,3	6,4	13,9	4,5
$\Delta\mathcal{E}_3, \%$	17,2	8,4	5,5	12,8	5,6
$\Delta\mathcal{E}_4, \%$	16,8	9,4	5	14,7	6,2
$\Delta\mathcal{E}_5, \%$	16,4	7,4	5,6	15	6,5
$\Delta\mathcal{E}_{cp}, \%$	17,24	8,44	5,56	13,82	5,48
$(\Delta\mathcal{E}_1 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,7396	0,5476	0,0676	1,2544	0,7744
$(\Delta\mathcal{E}_2 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,2116	0,7396	0,7056	0,0064	0,9604
$(\Delta\mathcal{E}_3 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,0016	0,0016	0,0036	1,0404	0,0144
$(\Delta\mathcal{E}_4 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,1936	0,92	0,3136	0,7744	0,5184
$(\Delta\mathcal{E}_5 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,7056	1,0816	0,0016	1,3924	1,0404
$\Sigma(\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	1,852	3,292	1,092	4,468	3,308
σ^2	0,463	0,823	0,273	1,117	0,827
σ	0,6804	0,907	0,522	1,057	0,909
$t_{0,95}$	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	0,6487	0,8649	0,4981	1,0076	0,8670
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{верхн}}$	17,9	9,3	6,1	14,8	6,3
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{нижн}}$	16,6	7,6	5,1	12,8	4,6

Таблица В.3 Результаты расчета доверительных интервалов увеличения эффективности биологической очистки по БПК₅ при введении пробиотиков

Величины и их характеристики	Пробиотические препараты				
	PIP+WATER	SCD Bio Klean	Microbec	Оксидол	Водограй
$\Delta\mathcal{E}_1, \%$	10,3	6,2	3,5	9,9	3,8
$\Delta\mathcal{E}_2, \%$	10,9	5,5	3,6	10,7	3
$\Delta\mathcal{E}_3, \%$	11,6	5,2	3,7	9,8	3,8
$\Delta\mathcal{E}_4, \%$	12,1	6,6	2,8	11	3,4
$\Delta\mathcal{E}_5, \%$	10,7	5,9	2,9	9,6	3,6
$\Delta\mathcal{E}_{\text{ср}}, \%$	11,12	5,88	3,30	10,20	3,52
$(\Delta\mathcal{E}_1 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,6724	0,1024	0,04	0,09	0,0784
$(\Delta\mathcal{E}_2 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,0484	0,1444	0,09	0,25	0,2704
$(\Delta\mathcal{E}_3 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,2304	0,4624	0,16	0,16	0,0784
$(\Delta\mathcal{E}_4 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,9604	0,52	0,25	0,64	0,0144
$(\Delta\mathcal{E}_5 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,1764	0,0004	0,16	0,36	0,0064
$\Sigma(\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	2,088	1,228	0,7	1,5	0,448
σ^2	0,522	0,307	0,175	0,375	0,112
σ	0,7225	0,554	0,418	0,612	0,335
$t_{0,95}$	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	0,6888	0,5282	0,3988	0,5838	0,3191
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{верхн}}$	11,8	6,4	3,7	10,8	3,8
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{нижн}}$	10,4	5,4	2,9	9,6	3,2

Таблица В.4 Результаты расчета доверительных интервалов увеличения эффективности биологической очистки по ВВ при введении пробиотиков

Величины и их характеристики	Пробиотические препараты				
	PIP+WATER	SCD Bio Klean	Microbec	Оксидол	Водограй
$\Delta\mathcal{E}_1, \%$	12,3	5,4	2,8	13,2	5,7
$\Delta\mathcal{E}_2, \%$	12,3	5,7	2,6	12,7	6,4
$\Delta\mathcal{E}_3, \%$	12	5,9	3,3	11,9	6,6
$\Delta\mathcal{E}_4, \%$	11,4	4,6	2,7	11,5	5,5
$\Delta\mathcal{E}_5, \%$	10,8	4,9	2,5	13	5,2
$\Delta\mathcal{E}_{\text{ср}}, \%$	11,76	5,30	2,78	12,46	5,88
$(\Delta\mathcal{E}_1 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,2916	0,01	0,0004	0,5476	0,0324
$(\Delta\mathcal{E}_2 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,2916	0,16	0,0324	0,0576	0,2704
$(\Delta\mathcal{E}_3 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,0576	0,36	0,2704	0,3136	0,5184
$(\Delta\mathcal{E}_4 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,1296	0,49	0,0064	0,9216	0,1444
$(\Delta\mathcal{E}_5 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	0,9216	0,16	0,0784	0,2916	0,4624
$\Sigma(\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	1,692	1,18	0,388	2,132	1,428
σ^2	0,423	0,295	0,097	0,533	0,357
σ	0,6504	0,543	0,311	0,730	0,597
$t_{0,95}$	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	0,6201	0,5178	0,2969	0,6960	0,5696
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{верхн}}$	12,4	5,8	3,1	13,2	6,4
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{нижн}}$	11,1	4,8	2,5	11,8	5,3

Таблица В.5 Результаты расчета доверительных интервалов увеличения эффективности биологической очистки по $N-NH_4$ при введении пробиотиков

Величины и их характеристики	Пробиотические препараты				
	PIP+WATER	SCD Bio Klean	Microbes	Оксидол	Водограй
$\Delta\mathcal{E}_1, \%$	27,2	9	8	28,7	6,6
$\Delta\mathcal{E}_2, \%$	27	8,9	8,6	28,4	8,3
$\Delta\mathcal{E}_3, \%$	29,1	9,4	8,8	25,4	6,9
$\Delta\mathcal{E}_4, \%$	30,4	11,2	10	29,1	9
$\Delta\mathcal{E}_5, \%$	29,7	11	10,2	26	8,9
$\Delta\mathcal{E}_{cp}, \%$	28,68	9,90	9,12	27,52	7,94
$(\Delta\mathcal{E}_1 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	2,1904	0,81	1,2544	1,3924	1,7956
$(\Delta\mathcal{E}_2 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	2,8224	1	0,2704	0,7744	0,1296
$(\Delta\mathcal{E}_3 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,1764	0,25	0,1024	4,4944	1,0816
$(\Delta\mathcal{E}_4 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	2,9584	1,69	0,7744	2,4964	1,1236
$(\Delta\mathcal{E}_5 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	1,0404	1,21	1,1664	2,3104	0,9216
$\Sigma(\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	9,188	4,96	3,568	11,468	5,052
σ^2	2,297	1,24	0,892	2,867	1,263
σ	1,5156	1,114	0,944	1,693	1,124
$t_{0,95}$	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	1,4449	1,0616	0,9004	1,6143	1,0714
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{верхн}}$	30,1	11,0	10,0	29,1	9,0
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{нижн}}$	27,2	8,8	8,2	25,9	6,9

Таблица В.6 Результаты расчета доверительных интервалов увеличения эффективности биологической очистки по ХПК при введении пробиотиков

Величины и их характеристики	Пробиотические препараты				
	PIP+WATER	SCD Bio Klean	Microbes	Оксидол	Водограй
$\Delta\mathcal{E}_1, \%$	14,7	8,3	5,7	13,2	4,5
$\Delta\mathcal{E}_2, \%$	14,2	9,2	5,9	13,1	4,7
$\Delta\mathcal{E}_3, \%$	13,8	7,9	7	14,2	4,6
$\Delta\mathcal{E}_4, \%$	15,6	9,5	6,8	14,5	3,7
$\Delta\mathcal{E}_5, \%$	15,9	9	7	15	4,1
$\Delta\mathcal{E}_{cp}, \%$	14,84	8,78	6,48	14,00	4,32
$(\Delta\mathcal{E}_1 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,0196	0,2304	0,6084	0,64	0,0324
$(\Delta\mathcal{E}_2 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,4096	0,1764	0,3364	0,81	0,1444
$(\Delta\mathcal{E}_3 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	1,0816	0,7744	0,2704	0,04	0,0784
$(\Delta\mathcal{E}_4 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	0,5776	0,52	0,1024	0,25	0,3844
$(\Delta\mathcal{E}_5 - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	1,1236	0,0484	0,2704	1	0,0484
$\Sigma(\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{cp})^2, \%$	3,212	1,748	1,588	2,74	0,688
σ^2	0,803	0,437	0,397	0,685	0,172
σ	0,8961	0,661	0,630	0,828	0,415
$t_{0,95}$	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318	2,1318
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	0,8543	0,6302	0,6007	0,7891	0,3954
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{верхн}}$	15,7	9,4	7,1	14,8	4,7
$[\Delta\mathcal{E}]_{\text{нижн}}$	14,0	8,1	5,9	13,2	3,9

Приложение Г

Результаты ПФЭ исследования интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки СВ при введении пробиотика “Оксидол”

Таблица Г.1 Исследование повышения эффективности очистки СВ при введении "Оксидола" дозой $d=0,4$ г/м³, при температуре СВ 20°С и времени аэрации 9 часов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	ΔЭ первичного отстаивания, мг/дм ³	ΔЭ первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	ΔЭ биологической очистки, мг/дм ³	ΔЭ биологической очистки, %
1	ВВ	275	120	56,4	45	16,4	8	93,4	31	17,0
	БПК ₅	278	176	36,7	44	15,8	7	96,0	32	13,8
	N-NH ₄	57	50	12,3	2	3,5	0,7	98,6	17,3	33,2
Контроль	ВВ	275	165	40,0	-	-	39	76,4	-	-
	БПК ₅	278	220	20,9	-	-	39	82,2	-	-
	N-NH ₄	57	52	8,8	-	-	18	65,4	-	-
2	ВВ	281	125	55,5	45	16,0	7	94,4	33	17,9
	БПК ₅	285	174	38,9	51	17,9	9	94,8	33	13,5
	N-NH ₄	59	53	10,2	2	3,4	0,8	98,5	17,2	31,2
Контроль	ВВ	281	170	39,5	-	-	40	76,5	-	-
	БПК ₅	285	225	21,0	-	-	42	81,3	-	-
	N-NH ₄	59	55	6,8	-	-	18	67,3	-	-
3	ВВ	292	130	55,5	42	14,4	8	93,9	29	15,4
	БПК ₅	290	190	34,5	40	13,8	8	95,8	32	13,2
	N-NH ₄	55	51	7,3	-1	-1,8	1	98,0	18	36,0
Контроль	ВВ	292	172	41,1	-	-	37	78,5	-	-
	БПК ₅	290	230	20,7	-	-	40	82,6	-	-
	N-NH ₄	55	50	9,1	-	-	19	62,0	-	-
Среднее значение (1-3)	ВВ	283	125	55,8	44	15,6	8,0	93,9	31	16,8
	БПК ₅	284	180	36,7	45	15,8	8,0	95,6	32	13,5
	N-NH ₄	57	51	9,9	1	1,7	0,8	98,4	17,2	33,5
Среднее значение (контроль)	ВВ	283	169	40,2	-	-	39	77,1	-	-
	БПК ₅	284	225	20,9	-	-	40	82,1	-	-
	N-NH ₄	57	52	8,2	-	-	18	64,9	-	-

Таблица Г.2 Исследование повышения эффективности очистки СВ при введении "Оксидола" дозой $d=0,2$ г/м³, при температуре СВ 20°C и времени аэрации 9 часов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	Δ Э первичного отстаивания, мг/дм ³	Δ Э первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	Δ Э биологической очистки, мг/дм ³	Δ Э биологической очистки, %
1	ВВ	274	141	48,5	22	8,0	20	85,8	18	9,1
	БПК ₅	272	194	28,7	21	7,7	21	89,2	16	6,4
	N-NH ₄	59	52	11,9	1	1,7	6	88,4	11	20,5
Контроль	ВВ	274	163	40,5	-	-	38	76,7	-	-
	БПК ₅	272	215	21,0	-	-	37	82,8	-	-
	N-NH ₄	59	53	10,2	-	-	17	67,9	-	-
2	ВВ	294	155	47,3	23	7,8	19	87,8	20	9,7
	БПК ₅	293	216	26,3	14	4,8	18	91,7	19	7,8
	N-NH ₄	61	56	8,2	0	0,0	7	87,5	13	23,2
Контроль	ВВ	294	178	39,5	-	-	39	78,1	-	-
	БПК ₅	293	230	21,5	-	-	37	83,9	-	-
	N-NH ₄	61	56	8,2	-	-	20	64,3	-	-
3	ВВ	283	148	47,7	24	8,5	22	85,1	15	6,6
	БПК ₅	280	188	32,8	30	10,7	23	87,8	15	5,2
	N-NH ₄	58	55	5,2	-2	-3,4	6	89,1	12	23,1
Контроль	ВВ	283	172	39,2	-	-	37	78,5	-	-
	БПК ₅	280	218	22,1	-	-	38	82,6	-	-
	N-NH ₄	58	53	8,6	-	-	18	66,0	-	-
Среднее значение (1-3)	ВВ	284	148	47,8	23	8,1	20	86,3	18	8,5
	БПК ₅	282	199	29,2	22	7,7	21	89,5	16	6,4
	N-NH ₄	59	54	8,5	0	0,0	6	88,4	12	22,3
Среднее значение (контроль)	ВВ	284	171	39,7	-	-	38	77,8	-	-
	БПК ₅	282	221	21,5	-	-	37	83,1	-	-
	N-NH ₄	59	54	8,5	-	-	18	66,1	-	-

Таблица Г.3 Исследование повышения эффективности очистки СВ при введении "Оксидола" дозой $d=0,4$ г/м³, при температуре СВ 10°C и времени аэрации 9 часов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	ΔЭ первичного отстаивания, мг/дм ³	ΔЭ первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	ΔЭ биологической очистки, мг/дм ³	ΔЭ биологической очистки, %
1	ВВ	278	160	42,5	30	10,8	26	83,8	19	7,4
	БПК ₅	270	195	27,8	38	14,1	23	88,2	21	7,1
	N-NH ₄	57	53	7,0	-1	-1,8	13	75,5	10	19,7
Контроль	ВВ	278	190	31,7	-	-	45	76,4	-	-
	БПК ₅	270	233	13,7	-	-	44	81,1	-	-
	N-NH ₄	57	52	8,8	-	-	23	55,8	-	-
2	ВВ	286	156	45,5	44	15,4	23	85,3	20	6,8
	БПК ₅	283	207	26,8	25	8,8	27	87,0	18	6,4
	N-NH ₄	63	54	14,3	3	4,8	12	77,8	12	19,9
Контроль	ВВ	286	200	30,1	-	-	43	78,5	-	-
	БПК ₅	283	232	18,0	-	-	45	80,6	-	-
	N-NH ₄	63	57	9,5	-	-	24	57,9	-	-
3	ВВ	290	162	44,1	38	13,1	23	85,8	20	7,3
	БПК ₅	288	210	27,1	26	9,0	24	88,6	23	8,5
	N-NH ₄	57	50	12,3	0	0,0	13	74,0	9	18,0
Контроль	ВВ	290	200	31,0	-	-	43	78,5	-	-
	БПК ₅	288	236	18,1	-	-	47	80,1	-	-
	N-NH ₄	57	50	12,3	-	-	22	56,0	-	-
Среднее значение (1-3)	ВВ	285	159	44,0	38	13,1	24	84,9	20	7,2
	БПК ₅	280	204	27,2	30	10,6	25	87,9	20	7,3
	N-NH ₄	59	52	11,9	1	1,7	13	75,7	10	19,2
Среднее значение (контроль)	ВВ	285	197	30,9	-	-	44	77,7	-	-
	БПК ₅	280	234	16,6	-	-	45	80,6	-	-
	N-NH ₄	59	53	10,2	-	-	23	56,5	-	-

Таблица Г.4 Исследование повышения эффективности очистки СВ при введении "Оксидола" дозой $d=0,2$ г/м³, при температуре СВ 10°C и времени аэрации 9 часов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	Δ Э первичного отстаивания, мг/дм ³	Δ Э первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	Δ Э биологической очистки, мг/дм ³	Δ Э биологической очистки, %
1	ВВ	285	170	40,5	24	8,4	28	83,5	16	6,2
	БПК ₅	283	224	20,8	10	3,5	30	86,6	13	5,0
	N-NH ₄	58	51	12,1	1	1,7	18	64,7	7	12,8
Контроль	ВВ	285	194	31,9	-	-	44	77,3	-	-
	БПК ₅	283	234	17,3	-	-	43	81,6	-	-
	N-NH ₄	58	52	10,4	-	-	25	51,9	-	-
2	ВВ	274	173	36,9	18	6,6	34	80,3	11	3,9
	БПК ₅	279	217	22,2	14	5,0	32	85,3	12	4,3
	N-NH ₄	60	57	5,0	-3	-5,0	17	70,2	5	10,9
Контроль	ВВ	274	191	30,3	-	-	45	76,4	-	-
	БПК ₅	279	231	17,2	-	-	44	81,0	-	-
	N-NH ₄	60	54	10,0	-	-	22	59,3	-	-
3	ВВ	286	185	35,3	14	4,9	30	83,8	13	5,4
	БПК ₅	286	217	24,1	20	7,0	29	86,6	14	4,8
	N-NH ₄	60	50	16,7	2	3,3	18	64,0	5	8,2
Контроль	ВВ	286	199	30,4	-	-	43	78,4	-	-
	БПК ₅	286	237	17,1	-	-	43	81,8	-	-
	N-NH ₄	60	52	13,4	-	-	23	55,8	-	-
Среднее значение (1-3)	ВВ	282	176	37,5	19	6,6	31	82,6	13	5,2
	БПК ₅	283	219	22,4	15	5,2	30	86,2	13	4,7
	N-NH ₄	59	53	11,2	0	0,0	18	66,3	5	10,6
Среднее значение (контроль)	ВВ	282	195	30,9	-	-	44	77,4	-	-
	БПК ₅	283	234	17,2	-	-	43	81,5	-	-
	N-NH ₄	59	53	11,2	-	-	23	55,7	-	-

Таблица Г.5 Исследование повышения эффективности очистки СВ при введении "Оксидола" дозой $d=0,4$ г/м³, при температуре СВ 10°C и времени аэрации 6 часов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	Δ Э первичного отстаивания, мг/дм ³	Δ Э первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	Δ Э биологической очистки, мг/дм ³	Δ Э биологической очистки, %
1	ВВ	281	173	38,4	23	8,2	28	83,8	22	9,3
	БПК ₅	283	209	26,1	23	8,1	26	87,6	25	9,5
	N-NH ₄	58	53	8,6	0	0,0	15	71,7	12	22,6
Контроль	ВВ	281	196	30,2	-	-	50	74,5	-	-
	БПК ₅	283	232	18,0	-	-	51	78,1	-	-
	N-NH ₄	58	53	8,6	-	-	27	49,1	-	-
2	ВВ	285	152	46,6	42	14,7	27	82,2	25	9,0
	БПК ₅	281	191	32,0	41	14,6	26	86,3	24	7,9
	N-NH ₄	62	54	12,9	3	4,8	17	68,5	11	17,6
Контроль	ВВ	285	194	31,9	-	-	52	73,2	-	-
	БПК ₅	281	232	17,4	-	-	50	78,4	-	-
	N-NH ₄	62	57	8,1	-	-	28	50,9	-	-
3	ВВ	295	169	42,7	34	11,5	27	84,0	24	9,1
	БПК ₅	290	204	29,7	32	11,0	23	88,8	29	10,8
	N-NH ₄	63	45	28,6	0	0,0	15	66,7	13	28,9
Контроль	ВВ	295	203	31,2	-	-	51	74,9	-	-
	БПК ₅	290	236	18,7	-	-	52	78,0	-	-
	N-NH ₄	63	45	28,6	-	-	28	37,8	-	-
Среднее значение (1-3)	ВВ	287	165	42,6	33	11,5	27	83,4	24	9,2
	БПК ₅	285	201	29,3	32	11,3	25	87,5	26	9,4
	N-NH ₄	61	51	16,7	1	1,6	16	69,0	12	23,1
Среднее значение (контроль)	ВВ	287	198	31,1	-	-	51	74,2	-	-
	БПК ₅	285	233	18,0	-	-	51	78,1	-	-
	N-NH ₄	61	52	15,1	-	-	28	45,9	-	-

Таблица Г.6 Исследование повышения эффективности очистки СВ при введении "Оксидола" дозой $d=0,2$ г/м³, при температуре СВ 10°C и времени аэрации 6 часов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	ΔЭ первичного отстаивания, мг/дм ³	ΔЭ первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	ΔЭ биологической очистки, мг/дм ³	ΔЭ биологической очистки, %
1	ВВ	292	179	38,7	21	7,2	37	79,3	16	5,8
	БПК ₅	295	215	27,1	23	7,8	33	84,7	18	6,1
	N-NH ₄	63	57	9,5	-1	-1,6	21	63,1	8	14,9
Контроль	ВВ	292	200	31,5	-	-	53	73,5	-	-
	БПК ₅	295	238	19,3	-	-	51	78,6	-	-
	N-NH ₄	63	56	11,1	-	-	29	48,2	-	-
2	ВВ	276	165	40,2	26	9,4	37	77,6	18	6,4
	БПК ₅	279	213	23,7	15	5,4	40	81,2	14	4,9
	N-NH ₄	59	56	5,1	1	1,7	20	64,3	8	13,4
Контроль	ВВ	276	191	30,8	-	-	55	71,2	-	-
	БПК ₅	279	228	18,3	-	-	54	76,3	-	-
	N-NH ₄	59	57	3,4	-	-	28	50,9	-	-
3	ВВ	283	183	35,3	15	5,3	34	81,4	18	7,7
	БПК ₅	281	220	21,7	10	3,6	35	84,1	19	7,6
	N-NH ₄	58	52	10,4	-1	-1,7	21	59,6	10	20,4
Контроль	ВВ	283	198	30,0	-	-	52	73,7	-	-
	БПК ₅	281	230	18,1	-	-	54	76,5	-	-
	N-NH ₄	58	51	12,1	-	-	31	39,2	-	-
Среднее значение (1-3)	ВВ	284	176	38,1	20	7,3	36	79,4	17	6,6
	БПК ₅	285	216	24,2	16	5,6	36	83,3	17	6,2
	N-NH ₄	60	55	8,3	0	0,0	21	62,4	8	16,3
Среднее значение (контроль)	ВВ	284	196	30,8	-	-	53	72,8	-	-
	БПК ₅	285	232	18,6	-	-	53	77,1	-	-
	N-NH ₄	60	55	8,3	-	-	29	46,1	-	-

Таблица Г.7 Исследование повышения эффективности очистки СВ при введении "Оксидола" дозой $d=0,4$ г/м³, при температуре СВ 20°C и времени аэрации 6 часов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	Δ Э первичного отстаивания, мг/дм ³	Δ Э первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	Δ Э биологической очистки, мг/дм ³	Δ Э биологической очистки, %
1	ВВ	287	110	61,7	53	18,5	15	86,4	33	15,8
	БПК ₅	289	181	37,4	42	14,5	15	91,7	35	14,1
	N-NH ₄	59	54	8,5	0	0,0	4	92,6	20	37,0
Контроль	ВВ	287	163	43,2	-	-	48	70,6	-	-
	БПК ₅	289	223	22,9	-	-	50	77,6	-	-
	N-NH ₄	59	54	8,5	-	-	24	55,6	-	-
2	ВВ	285	125	56,1	40	14,0	16	87,2	32	16,3
	БПК ₅	281	166	40,9	52	18,5	14	91,6	30	11,7
	N-NH ₄	57	53	7,0	2	3,5	5	90,6	18	32,4
Контроль	ВВ	285	165	42,1	-	-	48	70,9	-	-
	БПК ₅	281	218	22,4	-	-	44	79,9	-	-
	N-NH ₄	57	55	3,5	-	-	23	58,2	-	-
3	ВВ	295	116	60,7	52	17,6	15	87,1	33	15,6
	БПК ₅	293	178	39,2	47	16,0	16	91,0	32	12,3
	N-NH ₄	62	45	27,4	0	0,0	4	91,1	19	42,2
Контроль	ВВ	295	168	43,1	-	-	48	71,5	-	-
	БПК ₅	293	225	23,2	-	-	48	78,7	-	-
	N-NH ₄	62	45	27,4	-	-	23	48,9	-	-
Среднее значение (1-3)	ВВ	289	117	59,5	48	16,7	15	86,9	33	15,9
	БПК ₅	288	175	39,2	47	16,4	15	91,4	32	12,7
	N-NH ₄	59	51	13,6	1	1,7	4	91,4	19	37,2
Среднее значение (контроль)	ВВ	289	165	42,8	-	-	48	71,0	-	-
	БПК ₅	288	222	22,8	-	-	47	78,7	-	-
	N-NH ₄	59	50	15,3	-	-	23	54,2	-	-

Таблица Г.8 Исследование повышения эффективности очистки СВ при введении "Оксидола" дозой $d=0,2$ г/м³, при температуре СВ 20°C и времени аэрации 6 часов

№ опыта	Показатель очистки	Начальная концентрация, мг/дм ³	После отстаивания, мг/дм ³	Эффект (Э) первичного отстаивания, %	Δ Э первичного отстаивания, мг/дм ³	Δ Э первичного отстаивания, %	После биологической очистки, мг/дм ³	Эффект (Э) биологической очистки, %	Δ Э биологической очистки, мг/дм ³	Δ Э биологической очистки, %
1	ВВ	278	154	44,6	15	5,4	27	82,5	21	10,9
	БПК ₅	275	197	28,4	13	4,7	28	85,8	19	8,2
	N-NH ₄	55	53	3,6	-2	-3,6	10	81,1	14	28,2
Контроль	ВВ	278	169	39,2	-	-	48	71,6	-	-
	БПК ₅	275	210	23,7	-	-	47	77,6	-	-
	N-NH ₄	55	51	7,2	-	-	24	52,9	-	-
2	ВВ	290	143	50,7	32	10,2	24	83,2	22	9,5
	БПК ₅	292	199	31,8	28	9,3	26	86,9	21	7,6
	N-NH ₄	63	56	11,1	0	0,0	10	82,1	12	21,4
Контроль	ВВ	294	175	40,5	-	-	46	73,7	-	-
	БПК ₅	293	227	22,5	-	-	47	79,3	-	-
	N-NH ₄	63	56	11,1	-	-	22	60,7	-	-
3	ВВ	285	150	47,4	23	8,1	25	83,3	21	9,9
	БПК ₅	282	200	29,1	20	7,1	25	87,5	21	8,4
	N-NH ₄	58	55	5,2	-2	-3,4	9	83,6	15	28,9
Контроль	ВВ	285	173	39,3	-	-	46	73,4	-	-
	БПК ₅	282	220	22,0	-	-	46	79,1	-	-
	N-NH ₄	58	53	8,6	-	-	24	54,7	-	-
Среднее значение (1-3)	ВВ	284	149	47,6	23	7,9	25	83,0	22	10,1
	БПК ₅	283	199	29,7	20	7,0	26	86,8	21	8,1
	N-NH ₄	59	55	6,6	2	-2,4	10	82,3	13	26,2
Среднее значение (контроль)	ВВ	286	172	39,7	-	-	47	72,9	-	-
	БПК ₅	283	219	22,7	-	-	47	78,7	-	-
	N-NH ₄	59	53	9,0	-	-	23	56,1	-	-

Приложение Д

Показатели работы лабораторных установок в исследованиях по определению рациональных параметров режима введения пробиотика “Оксидол”

Таблица Д.1 Показатели работы лабораторных установок за 10.03.–20.04.2015 г.

Этап отбора СВ	рН		Взвешенные вещества						Азот аммонийный					
	Установка №1	Установка №2	Установка №1		Установка №2		Разница		Установка №1		Установка №2		Разница	
			мг/дм³	% очистки	мг/дм³	% очистки	в мг/дм³	в %	мг/дм³	% очистки	мг/дм³	% очистки	в мг/дм³	в %
10.03.2015 г. d=0,36 г/м³ (снижение дозы на 10%)														
Исходная СВ	7,82		285	-	285	-	-	-	54	-	54	-	-	-
Биологически очищ. вода	7,43	7,52	17	94,0	37	87,0	20	7,0	4	92,6	17	68,5	13	24,1
11-12.03.2015 г. d=0,4 г/м³														
Исходная СВ	7,78		291	-	291	-	-	-	53	-	53	-	-	-
Биологически очищ. вода	7,15	7,49	10	96,6	39	86,6	29	10,0	1,1	97,9	18	66,0	16,9	31,9
13-14.03.2015 г. d=0,36 г/м³ (снижение дозы на 10%).														
Исходная СВ	7,85		289	-	289	-	-	-	51	-	51	-	-	-
Биологически очищ. вода	7,16	7,47	9	96,9	38	86,9	29	10,0	1,3	97,5	18	64,7	16,7	32,7
15-16.03.2015 г. d=0,3 г/м³ (снижение дозы на 15%).														
Исходная СВ	7,88		280	-	280	-	-	-	58	-	58	-	-	-
Биологически очищ. вода	7,23	7,53	8	97,1	37	86,8	29	10,4	1,0	98,3	19	67,2	18,0	31,0
17-18.03.2015 г. d=0,24 г/м³ (снижение дозы на 20%).														
Исходная СВ	7,92		288	-	288	-	-	-	53	-	53	-	-	-
Биологически очищ. вода	7,22	7,58	10	96,5	38	86,8	28	9,7	1,1	97,9	20	62,3	18,9	35,7
19-20.03.2015 г. d=0,18 г/м³ (снижение дозы на 25%).														
Исходная СВ	7,82		293	-	293	-	-	-	55	-	55	-	-	-
Биологически очищ. вода	7,35	7,48	21	92,8	42	85,7	21	7,2	7,0	87,3	16	70,9	9	16,4
21-22.03.2015 г. d=0,4 г/м³.														
Исходная СВ	7,72		295	-	295	-	-	-	51	-	51	-	-	-
Биологически очищ. вода	7,04	7,38	10	96,6	40	86,4	30	10,2	0,9	98,2	17	66,7	16,1	31,6
23-24.03.2015 г. d=0,32 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,65		289	-	289	-	-	-	53	-	53	-	-	-
Биологически очищ. вода	6,98	7,33	9	96,9	38	86,9	29	10,0	1,1	97,9	18	66,0	16,9	31,9
25-26.03.2015 г. d=0,26 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,77		283	-	283	-	-	-	50	-	50	-	-	-
Биологически очищ. вода	7,15	7,47	8	97,2	37	86,9	29	10,2	0,8	98,4	19	62,0	18,2	36,4

Продолжение таблицы Д.1

Этап отбора СВ	рН		Взвешенные вещества						Азот аммонийный					
	Установка №1	Установка №2	Установка №1		Установка №2		Разница		Установка №1		Установка №2		Разница	
			мг/дм³	% очистки	мг/дм³	% очистки	в мг/дм³	в %	мг/дм³	% очистки	мг/дм³	% очистки	в мг/дм³	в %
27-28.03.2015 г. d=0,21 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,83		278	-	278	-	-	-	57	-	57	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,16	7,50	10	96,4	39	86,0	29	10,4	0,9	98,4	16	71,9	15,1	26,5
29-30.03.2015 г. d=0,17 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,90		291	-	291	-	-	-	55	-	55	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,21	7,58	11	96,2	40	86,3	29	10,0	1,1	98,0	20	63,6	18,9	34,4
31.03-1.04.2015 г. d=0,14 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,68		286	-	286	-	-	-	50	-	50	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,23	7,53	8	97,2	42	85,3	34	11,9	0,8	98,4	17	66,0	16,2	32,4
2-3.04.2015 г. d=0,11 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,91		275	-	275	-	-	-	52	-	52	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,32	7,53	8	97,1	40	85,5	32	11,6	1,3	97,5	18	65,4	16,7	32,1
4-5.04.2015 г. d=0,09 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,74		293	-	293	-	-	-	55	-	55	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,15	7,61	10	96,6	38	87,0	28	9,6	0,9	98,4	19	65,5	18,1	32,9
6-7.04.2015 г. d=0,07 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,69		285	-	285	-	-	-	58	-	58	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,10	7,41	11	96,1	39	86,3	28	9,8	1,3	97,8	20	65,5	18,7	32,2
8-9.04.2015 г. d=0,06 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,71		281	-	281	-	-	-	57	-	57	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,01	7,46	9	96,8	38	86,5	29	10,3	0,8	98,6	21	63,2	20,2	35,4
10-11.04.2015 г. d=0,05 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,67		278	-	278	-	-	-	56	-	56	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,07	7,38	11	96,0	42	84,9	31	11,2	0,9	98,4	17	69,6	16,1	28,8
12-13.04.2015 г. d=0,04 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,69		281	-	281	-	-	-	55	-	55	-	-	-
Биологич. очищ. вода	6,57	7,43	8	97,2	39	86,1	31	11,0	1,0	98,2	18	67,3	17	30,9

Продолжение таблицы Д.1

Этап отбора СВ	рН		Взвешенные вещества						Азот аммонийный					
	Установка №1	Установка №2	Установка №1		Установка №2		Разница		Установка №1		Установка №2		Разница	
			мг/дм³	%	снижения	мг/дм³	%	снижения	мг/дм³	%	снижения	мг/дм³	%	снижения
14-15.04.2015 г. d=0,03 г/м³ (снижение на 20%)														
Исходная СВ	7,83		285	-	285	-	-	-	52	-	52	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,35	7,53	22	92,3	36	87,4	14	4,9	6,0	88,5	16	69,2	10	19,2
16-17.04.2015 г. d=0,2 г/м³														
Исходная СВ	7,76		292	-	292	-	-	-	54	-	54	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,11	7,44	12	95,9	38	87,0	26	8,9	1,5	97,2	19	64,8	17,5	32,4
18.04.2015 г. без введения раствора "Оксидола"														
Исходная СВ	7,71		288	-	288	-	-	-	58	-	58	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,20	7,36	21	92,7	40	86,1	19	6,6	8,0	86,2	18	69,0	10	17,2
19-20.04.2015 г. d=0,2 г/м³														
Исходная СВ	7,75		293	-	293	-	-	-	51	-	51	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,08	7,45	11	96,2	42	85,7	31	10,6	1,2	97,6	20	60,8	18,8	36,9
21-22.04.2015 г. без введения раствора "Оксидола"														
Исходная СВ	7,81		288	-	288	-	-	-	57	-	57	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,41	7,52	29	91,7	41	85,8	17	5,9	12,0	78,9	18	68,4	6	10,5
23-24.04.2015 г. d=0,2 г/м³														
Исходная СВ	7,68		291	-	291	-	-	-	54	-	54	-	-	-
Биологич. очищ. вода	7,21	7,34	19	93,5	39	86,6	20	6,9	8,0	85,2	17	68,5	9	16,7

Таблица Д.2 Параметры работы модельных аэротенков за время проведения испытаний

Доза ила, %		Доза ила, г/дм ³		Иловый индекс, мл/г		Растворенный О ₂ , мг/дм ³		Уд. расход воздуха, дм ³ /дм ³	
Установ-ка №1	Установ-ка №2	Установ-ка №1	Установ-ка №2	Установ-ка №1	Установ-ка №2	Установ-ка №1	Установ-ка №2	Установ-ка №1	Установ-ка №2
Работа установки до подачи пробиотика 2-8.03.2015 г.									
25	24	2,21	2,29	113	105	3,5	3,7	15	15
9.03.2015 г. d=0,4 г/м³									
25	29	2,37	2,58	105	112	3,9	3,7	15	15
10.03.2015 г. d=0,36 г/м³ (снижение на 10%)									
29	31	2,67	2,86	109	108	3,7	3,8	15	15
11-12.03.2015 г. d=0,4 г/м³									
31	39	3,06	3,42	101	114	3,6	3,7	15	15
13-14.03.2015 г. d=0,36 г/м³ (снижение на 10%)									
33	43	3,47	4,00	95	108	3,5	3,7	15	15

Продолжение таблицы Д.2

Доза ила, %		Доза ила, г/дм ³		Иловый индекс, мл/г		Растворенный О ₂ , мг/дм ³		Удельный расход воздуха, дм ³ /дм ³	
Установ-ка №1	Установ-ка №2	Установ-ка №1	Установ-ка №2	Установ-ка №1	Установ-ка №2	Установ-ка №1	Установ-ка №2	Установ-ка №1	Установ-ка №2
15-16.03.2015 г. d=0,31 г/м³ (снижение на 15%)									
24	31	2,56	2,79	94	111	3,4	3,5	15	15
17-18.03.2015 г. d=0,25 г/м³ (снижение на 20%)									
27	40	2,95	3,37	92	119	3,8	3,7	15	15
19-20.03.2015 г. d=0,19 г/м³ (снижение на 25%)									
35	47	3,38	4,05	104	116	3,7	3,6	15	15
21-22.03.2015 г. d=0,4 г/м³									
30	31	2,47	2,63	121	118	3,6	3,7	15	15
23-24.03.2015 г. d=0,32 г/м³ (снижение на 20%)									
31	38	2,91	3,30	107	115	3,7	3,5	15	15
25-26.03.2015 г. d=0,26 г/м³ (снижение на 20%)									
32	42	3,23	3,82	99	110	3,8	3,6	15	15
27-28.03.2015 г. d=0,21 г/м³ (снижение на 20%)									
24	33	2,59	2,83	93	117	4,1	3,8	15	15
29-30.03.2015 г. d=0,17 г/м³ (снижение на 20%)									
26	36	2,92	3,36	89	107	4,5	3,5	15	15
31.03-1.04.2015 г. d=0,14 г/м³ (снижение на 20%)									
28	46	3,36	3,98	83	116	5,1	3,7	15	15
2-3.04.2015 г. d=0,11 г/м³ (снижение на 20%)									
20	33	2,63	2,91	76	113	4,5	3,3	12	15
4-5.04.2015 г. d=0,09 г/м³ (снижение на 20%)									
22	40	3,02	3,43	73	117	3,5	3,7	10	15
6-7.04.2015 г. d=0,07 г/м³ (снижение на 20%)									
24	49	3,49	4,08	69	120	3,6	3,5	10	15
8-9.04.2015 г. d=0,06 г/м³ (снижение на 20%)									
20	34	2,67	2,94	75	116	3,5	3,3	10	15
10-11.04.2015 г. d=0,05 г/м³ (снижение на 20%)									
22	39	3,10	3,42	71	114	3,6	3,6	10	15
12-13.04.2015 г. d=0,04 г/м³ (снижение на 20%)									
24	48	3,42	3,96	70	121	3,5	3,7	10	15
14-15.04.2015 г. d=0,03 г/м³ (снижение на 20%)									
20	30	2,35	2,46	85	122	3,0	3,6	10	15
16-17.04.2015 г. d=0,2 г/м³									
23	33	2,76	3,09	83	107	3,4	3,2	10	15
18.04.2015 г. без введения раствора "Оксидола"									
28	37	3,01	3,36	93	110	2,8	3,4	10	15
19-20.04.2015 г. d=0,2 г/м³									
30	45	3,42	3,95	88	114	3,3	3,5	10	15
21-22.04.2015 г. без введения раствора "Оксидола"									
27	34	2,80	2,70	96	126	3,5	3,6	15	15
23-24.04.2015 г. d=0,2 г/м³									
35	39	3,42	3,33	102	117	3,7	3,7	15	15

Таблица Д.3 Контрольные анализы сточной воды после первичного отстаивания

Показатели			Исходная СВ	СВ после первичного отстаивания	СВ после биолог. очистки
25-26.03.2015 г. d=0,26 г/м³					
Взвешенные вещества	Установка №1 (с пробиотиком)	мг/дм³	283	131	8,0
		% снижения	-	53,7	93,9
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	283	175	37
		% снижения	-	38,2	78,9
	Разница между линиями, мг/дм³		-	44	29
	Разница между линиями, %		-	15,5	15,0
БПК₅	Установка №1 (с пробиотиком)	мгО₂/дм³	275	175	10,0
		% снижения	-	36,4	94,3
	Установка №2 (контроль)	мгО₂/дм³	275	216	40
		% снижения	-	21,5	81,5
	Разница между линиями, мгО₂/дм³		-	41	30
	Разница между линиями, %		-	14,9	12,8
Азот аммонийный	Установка №1 (с пробиотиком)	мг/дм³	50	48	0,8
		% снижения	-	4,0	98,3
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	50	47	20
		% снижения	-	6,0	59,6
	Разница между линиями, мг/дм³		-	-1,0	18,2
	Разница между линиями, %		-	-2,0	38,8
2-3.04.2015 г. d=0,11 г/м³					
Взвешенные вещества	Установка №1 (с пробиотиком)	мг/дм³	275	128	8,0
		% снижения	-	53,5	93,8
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	275	167	40
		% снижения	-	39,3	76,0
	Разница между линиями, мг/дм³		-	39	32
	Разница между линиями, %		-	14,2	17,8
БПК₅	Установка №1 (с пробиотиком)	мгО₂/дм³	290	179	10,0
		% снижения	-	38,3	94,4
	Установка №2 (контроль)	мгО₂/дм³	290	225	37
		% снижения	-	22,4	83,5
	Разница между линиями, мгО₂/дм³		-	46	27
	Разница между линиями, %		-	15,9	10,9
Азот аммонийный	Установка №1 (с пробиотиком)	мг/дм³	52	48	1,3
		% снижения	-	7,7	97,3
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	52	48	18
		% снижения	-	7,7	62,5
	Разница между линиями, мг/дм³		-	0,0	16,7
	Разница между линиями, %		-	0,0	34,8
8-9.04.2015 г. d=0,06 г/м³					
Взвешенные вещества	Установка №1 (с пробиотиком)	мг/дм³	281	128	9,0
		% снижения	-	54,4	93,0
	Установка №2 (контроль)	мг/дм³	281	167	38
		% снижения	-	40,6	77,2
	Разница между линиями, мг О₂/дм³		-	39	29
	Разница между линиями, %		-	13,8	15,8

Продолжение таблицы Д.3

БПК ₅	Установка №1 (с пробиотиком)	мгО ₂ /дм ³	282	177	8,0
		% снижения	-	37,2	95,5
	Установка №2 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	282	220	42
		% снижения	-	22,0	80,9
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	43	34
	Разница между линиями, %		-	15,2	14,6
Азот аммонийный	Установка №1 (с пробиотиком)	мг/дм ³	57	51	0,8
		% снижения	-	10,5	98,4
	Установка №2 (контроль)	мг/дм ³	57	52	21
		% снижения	-	8,7	59,6
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	1,0	20,2
	Разница между линиями, %		-	1,8	38,8

Приложение Е

Результаты производственных испытаний “Оксидола” на КОС г. Новоазовска

Таблица Е.1 Режим снижения дозы “Оксидола”

Время введения	Доза, г/м ³	Расход стоков за двое стуок, м ³	Расход пробиотика, кг
6-7.07.15	0,31	1800	0,558
8-9.07.15	0,25	1800	0,450
10-11.07.15	0,20	1800	0,360
12-13.07.15	0,16	1800	0,288
14-15.07.15	0,13	1800	0,234
16-17.07.15	0,11	1800	0,198
18-19.07.15	0,09	1800	0,162
20-21.07.15	0,07	1800	0,126
22-23.07.15	0,06	1800	0,108
24-25.07.15	0,05	1800	0,090
26-27.07.15	0,04	1800	0,072
28-29.07.15	0,04	1800	0,072
30-31.07.15	0,04	1800	0,072
01-02.08.15	0,04	1800	0,072
03-04.08.15	0,04	1800	0,072
05-06.08.15	0,04	1800	0,072
07-08.08.15	0,04	1800	0,072
09-10.08.15	0,04	1800	0,072
11-12.08.15	0,04	1800	0,072
13-14.08.15.	0,04	1800	0,072
15-16.08.15	0,04	1800	0,072
17-18.08.15	0,04	1800	0,072
19-20.08.15	0,04	1800	0,072
21-22.08.15	0,04	1800	0,072
23-24.08.15	0,04	1800	0,072
25-26.08.15	0,04	1800	0,072
27-28.08.15	0,04	1800	0,072
29-30.08.15	0,04	1800	0,072
			Σ=3,870кг

Таблица Е.2 Показатели работы КОС г. Новоазовска во время введения
“Оксидола” 06-12.07.2015г

Показатели			После решеток	После первичн. отст-ков	Аэротен- ки	После вторичн. отст-ков	После контакт. резер-ров
Температура воды, °С			21,0	-	21,7	21,3	-
рН	Линия №3 (пробиотик)		7,98	-	-	7,31	-
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,63	-
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	289	189	-	14	-
		% снижения	-	34,6	-	92,6	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	289	224	-	40	-
		% снижения	-	22,5	-	82,2	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	35	-	26	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	12,1	-	10,4	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	12,5	-	9,7	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-0,3	-	0,7	-
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	285	140	-	15	-
		% снижения	-	50,9	-	89,3	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	285	175	-	43	-
		% снижения	-	38,6	-	75,4	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	35	-	28	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	12,3	-	13,9	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	12,7	-	12,7	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-0,4	-	1,1	-
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	51	47	-	2,2	-
		% снижения	-	7,8	-	95,3	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	51	46	-	17	-
		% снижения	-	9,8	-	63,0	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	-1	-	14,8	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-2,0	-	32,3	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	32,0	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	0,3	-
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	440	-	-	55	-
		% снижения	-	-	-	87,5	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	440	-	-	125	-
		% снижения	-	-	-	71,6	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	70	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-	-	15,9	-
NO ₂ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	0,8	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	1,7	-
NO ₃ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	159	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	74	-
PO ₄ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		15	-	-	10	-
	Линия №4 (контроль)		15	-	-	11	-
Доза ила по объему, %,	Линия №3 (пробиотик)		-	-	33	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	33	-	-
Доза ила по весу, г/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	2,85	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	2,75	-	-
Иловый индекс, мл/г	Линия №3 (пробиотик)		-	-	116	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	120	-	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	4,2	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	3,7	-	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		11·10 ⁷	-	-	4·10 ⁴	500
	Линия №4 (контроль)		11·10 ⁷	-	-	6·10 ⁶	1100
Коли-фаги, БОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	2·10 ⁴	600
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	4·10 ⁶	900
Ост. хлор, мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-	2,5
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	-	1,5

Таблица Е.3 Показатели работы КОС г. Новоазовска во время введения
“Оксидола” 13-19.07.2015г

Показатели			После решеток	После первичн. отст-ков	Аэротен- ки	После вторичн. отст-ков	После контакт. резер-ров
Температура воды, °С			22,5	-	22,3	22,0	-
рН	Линия №3 (пробиотик)		8,07	-	-	7,39	-
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,68	-
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	293	196	-	14	-
		% снижения	-	33,1	-	92,9	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	293	235	-	42	-
		% снижения	-	19,8	-	82,1	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	39	-	28	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	13,3	-	10,7	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	13,0	-	10,4	-
(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	0,3	-	0,3	-	
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	285	144	-	13	-
		% снижения	-	49,4	-	91,0	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	285	184	-	42	-
		% снижения	-	35,4	-	77,2	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	40	-	29	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	14,0	-	13,8	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	13,0	-	13,7	-
(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	1,0	-	0,1	-	
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	50	45	-	1,7	-
		% снижения	-	10,0	-	96,2	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	50	47	-	18	-
		% снижения	-	6,0	-	61,7	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	2	-	16,3	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	4,0	-	34,5	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	35,1	-
(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	-0,6	-	
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	465	-	-	45	-
		% снижения	-	-	-	90,3	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	465	-	-	110	-
		% снижения	-	-	-	76,3	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	65	-
Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-	-	14,0	-	
NO ₂ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	0,6	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	1,0	-
NO ₃ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	154	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	70	-
PO ₄ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		14	-	-	9	-
	Линия №4 (контроль)		14	-	-	12	-
Доза ила по объему, %,	Линия №3 (пробиотик)		-	-	27	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	34	-	-
Доза ила по весу, г/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	2,80	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	3,00	-	-
Иловый индекс, мл/г	Линия №3 (пробиотик)		-	-	96	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	113	-	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	5,2	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	4,0	-	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		13·10 ⁸	-	-	5·10 ⁴	600
	Линия №4 (контроль)		13·10 ⁸	-	-	6·10 ⁶	1000
Коли-фаги, БОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	4·10 ⁴	700
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	2·10 ⁶	900
Ост. хлор, мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-	1,6
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	-	1,5

Таблица Е.4 Показатели работы КОС г. Новоазовска во время введения
“Оксидола” 20-26.07.2015г

Показатели			После решеток	После первичн. отст-ков	Аэротен- ки	После вторичн. отст-ков	После контакт. резер-ров
Температура воды, °С			23,6	-	23,4	23,2	-
рН	Линия №3 (пробиотик)		8,04	-	-	7,36	-
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,65	-
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	290	197	-	12	-
		% снижения	-	32,0	-	93,9	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	290	236	-	41	-
		% снижения	-	18,7	-	82,6	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	39	-	29	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	13,3	-	11,3	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	13,4	-	10,8	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	0,1	-	0,5	-
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	286	140	-	12	-
		% снижения	-	51,0	-	91,4	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	286	179	-	42	-
		% снижения	-	37,4	-	76,5	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	39	-	30	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	13,6	-	14,9	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	13,3	-	14,3	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	0,3	-	0,6	-
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	53	45	-	1,6	-
		% снижения	-	15,1	-	96,5	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	53	47	-	19	-
		% снижения	-	11,3	-	59,6	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	2	-	17,4	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	3,8	-	36,9	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	37,4	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	-0,5	-
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	445	-	-	50	-
		% снижения	-	-	-	88,8	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	445	-	-	115	-
		% снижения	-	-	-	74,2	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	65	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-	-	14,6	-
NO ₂ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	1,2	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	2,0	-
NO ₃ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	152	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	65	-
PO ₄ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		13	-	-	9	-
	Линия №4 (контроль)		13	-	-	11	-
Доза ила по объему, %,	Линия №3 (пробиотик)		-	-	21	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	32	-	-
Доза ила по весу, г/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	2,83	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	2,81	-	-
Иловый индекс, мл/г	Линия №3 (пробиотик)		-	-	74	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	114	-	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	4,0	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	3,8	-	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		14·10 ⁷	-	-	6·10 ⁴	600
	Линия №4 (контроль)		14·10 ⁷	-	-	3·10 ⁶	950
Коли-фаги, БОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	3·10 ⁴	500
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	2·10 ⁶	900
Ост. хлор, мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-	1,5
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	-	1,6

Таблица Е.5 Показатели работы КОС г. Новоазовска во время введения
“Оксидола” 27.07-2.08.2015г

Показатели			После решеток	После первичн. отст-ков	Аэротен- ки	После вторичн. отст-ков	После контакт. резер-ров
Температура воды, °С			22,1	-	21,8	21,6	-
рН	Линия №3 (пробиотик)		8,11	-	-	7,39	-
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,78	-
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	295	195	-	13	-
		% снижения	-	33,9	-	93,4	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	295	235	-	40	-
		% снижения	-	20,3	-	83,0	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	40	-	27	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	13,6	-	10,4	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	12,8	-	10,4	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	0,7	-	0,0	-
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	279	140	-	14	-
		% снижения	-	49,8	-	90,0	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	279	182	-	44	-
		% снижения	-	34,8	-	75,8	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	42	-	30	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	15,0	-	14,2	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	12,9	-	13,6	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	2,1	-	0,6	-
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	49	47	-	1,3	-
		% снижения	-	4,1	-	97,2	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	49	46	-	16	-
		% снижения	-	6,1	-	65,2	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	-1	-	14,7	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-2,0	-	32,0	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	33,6	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	-1,6	-
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	460	-	-	50	-
		% снижения	-	-	-	89,1	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	460	-	-	120	-
		% снижения	-	-	-	73,9	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	70	-
Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-	-	15,2	-	
NO ₂ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	0,3	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	0,7	-
NO ₃ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	169	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	74	-
PO ₄ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		14	-	-	8	-
	Линия №4 (контроль)		14	-	-	11	-
Доза ила по объему, %,	Линия №3 (пробиотик)		-	-	19	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	35	-	-
Доза ила по весу, г/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	2,6	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	3,2	-	-
Иловый индекс, мл/г	Линия №3 (пробиотик)		-	-	73	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	109	-	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	3,8	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	3,7	-	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		8·10 ⁸	-	-	4·10 ⁴	900
	Линия №4 (контроль)		9·10 ⁸	-	-	5·10 ⁶	950
Коли-фаги, БОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	3·10 ⁴	800
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	5·10 ⁶	1000
Ост. хлор, мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-	1,5
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	-	1,4

Таблица Е.6 Показатели работы КОС г. Новоазовска во время введения
“Оксидола” 3-9.08.2015г

Показатели			После решеток	После первичн. отст-ков	Аэротен- ки	После вторичн. отст-ков	После контакт. резер-ров
Температура воды, °С			20,8	-	20,6	20,2	-
рН	Линия №3 (пробиотик)		7,98	-	-	7,29	-
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,60	-
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	284	190	-	14	-
		% снижения	-	33,1	-	92,6	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	284	230	-	42	-
		% снижения	-	19,0	-	81,7	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	40	-	28	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	14,1	-	10,9	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	12,4	-	9,6	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	1,7	-	1,3	-
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	287	136	-	12	-
		% снижения	-	52,6	-	91,2	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	287	177	-	39	-
		% снижения	-	38,3	-	78,0	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	41	-	27	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	14,3	-	13,2	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	12,6	-	12,5	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	1,7	-	0,7	-
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	52	46	-	1,5	-
		% снижения	-	11,5	-	96,8	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	52	48	-	17	-
		% снижения	-	7,7	-	64,6	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	2	-	15,5	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	3,8	-	32,2	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	31,9	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	0,3	-
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	450	-	-	45	-
		% снижения	-	-	-	90,0	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	450	-	-	105	-
		% снижения	-	-	-	76,7	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	60	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-	-	13,3	-
NO ₂ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	0,8	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	0,4	-
NO ₃ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	165	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	80	-
PO ₄ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		15	-	-	8	-
	Линия №4 (контроль)		15	-	-	12	-
Доза ила по объему, %,	Линия №3 (пробиотик)		-	-	21	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	35	-	-
Доза ила по весу, г/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	3,10	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	2,95	-	-
Иловый индекс, мл/г	Линия №3 (пробиотик)		-	-	68	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	119	-	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	3,7	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	3,9	-	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		12·10 ⁷	-	-	4·10 ⁴	700
	Линия №4 (контроль)		12·10 ⁷	-	-	6·10 ⁶	1000
Коли-фаги, БОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	4·10 ⁴	800
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	5·10 ⁶	1100
Ост. хлор, мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-	1,6
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	-	1,5

Таблица Е.7 Показатели работы КОС г. Новоазовска во время введения
“Оксидола” 10-16.08.2015г

Показатели			После решеток	После первичн. отст-ков	Аэротен- ки	После вторичн. отст-ков	После контакт. резер-ров
Температура воды, °С			23	-	22,7	21,5	-
рН	Линия №3 (пробиотик)		8,09	-	-	7,41	-
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,74	-
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	292	202	-	11	-
		% снижения	-	30,8	-	94,6	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	292	240	-	38	-
		% снижения	-	17,8	-	84,2	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	38	-	27	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	13,0	-	10,4	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	13,2	-	10,7	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-0,2	-	-0,4	-
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	285	144	-	14	-
		% снижения	-	49,4	-	90,2	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	285	184	-	44	-
		% снижения	-	35,4	-	76,1	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	40	-	30	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	14,0	-	14,1	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	13,1	-	14,1	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	0,9	-	0,0	-
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	49	44	-	2,5	-
		% снижения	-	10,2	-	94,3	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	49	45	-	19	-
		% снижения	-	8,2	-	57,8	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	1	-	16,5	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	2,0	-	36,5	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	35,8	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	0,8	-
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	445	-	-	45	-
		% снижения	-	-	-	89,9	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	445	-	-	115	-
		% снижения	-	-	-	74,2	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	70	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-	-	15,7	-
NO ₂ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	2,1	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	1,5	-
NO ₃ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	140	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	58	-
PO ₄ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		15	-	-	9	-
	Линия №4 (контроль)		15	-	-	12	-
Доза ила по объему, %,	Линия №3 (пробиотик)		-	-	19	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	31	-	-
Доза ила по весу, г/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	2,62	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	2,78	-	-
Иловый индекс, мл/г	Линия №3 (пробиотик)		-	-	73	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	112	-	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	3,8	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	4,0	-	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		10·10 ⁸	-	-	3·10 ⁴	800
	Линия №4 (контроль)		10·10 ⁸	-	-	5·10 ⁶	1000
Коли-фаги, БОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	4·10 ⁴	700
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	6·10 ⁶	1000
Ост. хлор, мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-	1,5
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	-	1,4

Таблица Е.8 Показатели работы КОС г. Новоазовска во время введения “Оксидола” 17-23.08.2015г.

Показатели			После решеток	После первичн. отст-ков	Аэротен- ки	После вторичн. отст-ков	После контакт. резер-ров	
Температура воды, °С			20,5	-	20,2	20	-	
рН	Линия №3 (пробиотик)		8,12	-	-	7,43	-	
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,72	-	
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	286	189	-	12	-	
		% снижения	-	33,9	-	93,7	-	
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	286	225	-	43	-	
		% снижения	-	21,3	-	80,9	-	
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	36	-	31	-	
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	12,6	-	12,8	-	
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	12,3	-	9,5	-	
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	0,3	-	3,2	-	
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	280	140	-	15	-	
		% снижения	-	50,0	-	89,3	-	
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	280	180	-	45	-	
		% снижения	-	35,7	-	75,0	-	
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	40	-	30	-	
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	14,3	-	14,3	-	
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	12,6	-	12,4	-	
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	1,7	-	1,9	-	
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	50	45	-	1,9	-	
		% снижения	-	10,0	-	95,7	-	
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	50	47	-	17	-	
		% снижения	-	6,0	-	63,8	-	
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	2	-	15,1	-	
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	4,0	-	31,9	-	
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	31,2	-	
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	0,8	-	
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	455	-	-	40	-	
		% снижения	-	-	-	91,2	-	
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	455	-	-	105	-	
		% снижения	-	-	-	76,9	-	
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	65	-	
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-	-	14,3	-	
NO ₂ , мг/дм ³		Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	1,5	-
		Линия №4 (контроль)		-	-	-	0,8	-
NO ₃ , мг/дм ³		Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	151	-
		Линия №4 (контроль)		-	-	-	78	-
PO ₄ , мг/дм ³		Линия №3 (пробиотик)		14	-	-	8	-
		Линия №4 (контроль)		14	-	-	10	-
Доза ила по объему, %,		Линия №3 (пробиотик)		-	-	20	-	-
		Линия №4 (контроль)		-	-	35	-	-
Доза ила по весу, г/дм ³		Линия №3 (пробиотик)		-	-	2,95	-	-
		Линия №4 (контроль)		-	-	3,00	-	-
Иловый индекс, мл/г		Линия №3 (пробиотик)		-	-	68	-	-
		Линия №4 (контроль)		-	-	117	-	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³		Линия №3 (пробиотик)		-	-	4,1	-	-
		Линия №4 (контроль)		-	-	3,9	-	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³		Линия №3 (пробиотик)		13·10 ⁷	-	-	4·10 ⁴	800
		Линия №4 (контроль)		13·10 ⁷	-	-	6·10 ⁶	1000
Коли-фаги, БОЕ/дм ³		Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	5·10 ⁴	900
		Линия №4 (контроль)		-	-	-	7·10 ⁶	900
Ост. хлор, мг/дм ³		Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-	1,6
		Линия №4 (контроль)		-	-	-	-	1,6

Таблица Е.9 Показатели работы КОС г. Новоазовска во время введения
“Оксидола” 24-30.08.2015г

Показатели			После решеток	После первичн. отст-ков	Аэротен- ки	После вторичн. отст-ков	После контакт. резер-ров
Температура воды, °С			22,5	-	22,1	20,8	-
рН	Линия №3 (пробиотик)		8,05	-	-	7,37	-
	Линия №4 (контроль)			-	-	7,66	-
БПК ₅	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	284	192	-	11	-
		% снижения	-	32,4	-	94,3	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	284	229	-	42	-
		% снижения	-	19,4	-	81,7	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	37	-	31	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	13,0	-	12,6	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	13,0	-	10,3	-
	(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	0,0	-	2,3	-
Взвешенные вещества	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	288	138	-	13	-
		% снижения	-	52,1	-	90,6	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	288	180	-	43	-
		% снижения	-	37,5	-	76,1	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	42	-	30	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	14,6	-	14,5	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	13,0	-	13,7	-
(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	1,6	-	0,8	-	
N-NH ₄	Линия №3 (пробиотик)	мг/дм ³	52	44	-	1,5	-
		% снижения	-	15,4	-	96,6	-
	Линия №4 (контроль)	мг/дм ³	52	47	-	18	-
		% снижения	-	9,6	-	61,7	-
	Разница между линиями, мг/дм ³		-	3	-	16,5	-
	Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	5,8	-	34,9	-
	Расчет. увел. эффекта (ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	35,4	-
(ΔЭ _{факт} – ΔЭ _{расч}), %		-	-	-	-0,5	-	
ХПК	Линия №3 (пробиотик)	мгО ₂ /дм ³	440	-	-	50	-
		% снижения	-	-	-	88,6	-
	Линия №4 (контроль)	мгО ₂ /дм ³	440	-	-	120	-
		% снижения	-	-	-	72,7	-
	Разница между линиями, мгО ₂ /дм ³		-	-	-	70	-
Фактич. увел. эффекта (ΔЭ _{факт}), %		-	-	-	15,9	-	
NO ₂ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	1,8	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	1,2	-
NO ₃ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	146	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	72	-
PO ₄ , мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		16	-	-	10	-
	Линия №4 (контроль)		16	-	-	12	-
Доза ила по объему, %,	Линия №3 (пробиотик)		-	-	20	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	31	-	-
Доза ила по весу, г/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	2,85	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	2,88	-	-
Иловый индекс, мл/г	Линия №3 (пробиотик)		-	-	70	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	108	-	-
O ₂ , мгО ₂ /дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	3,8	-	-
	Линия №4 (контроль)		-	-	3,6	-	-
Коли-индекс, КОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		16·10 ⁸	-	-	7·10 ⁴	900
	Линия №4 (контроль)		16·10 ⁸	-	-	8·10 ⁵	1100
Коли-фаги, БОЕ/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	5·10 ⁴	800
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	7·10 ⁵	1000
Ост. хлор, мг/дм ³	Линия №3 (пробиотик)		-	-	-	-	1,5
	Линия №4 (контроль)		-	-	-	-	1,6

Таблица Е.10 Расхождения между расчетными и фактическими приростами эффективности очистки при введении “Оксидола” на КОС г. Новоазовска

Показатель очистки		Первичное отстаивание (БПК ₅)	Первичное отстаивание (взвешенные вещества)	Биологическая очистка (БПК ₅)	Биологическая очистка (взвешенные вещества)	Биологическая очистка (N-NH ₄)
Разница $\Delta \mathcal{E}_{\text{факт}} - \Delta \mathcal{E}_{\text{расч}}$ по неделям, %	6.07.15-12.07.15	-0,34	-0,38	0,71	1,15	0,26
	13.07.15-19.07.15	0,32	1,01	0,34	0,07	-0,59
	20.07.15-26.07.15	0,06	0,34	0,52	0,57	-0,55
	27.07.15-31.07.15	0,71	2,12	-0,05	0,58	-1,57
	3.08.15-9.08.15	1,70	1,67	1,32	0,73	0,25
	10.08.15-16.08.15	-0,16	0,89	-0,35	0,05	0,78
	17.08.15-23.08.15	0,31	1,75	3,25	1,89	0,75
	24.08.15-28.08.15	0,04	1,56	2,31	0,81	-0,48
Мах $ \Delta \mathcal{E}_{\text{факт}} - \Delta \mathcal{E}_{\text{расч}} $, %		1,70	2,12	3,25	1,89	0,25
Среднее значение $ \Delta \mathcal{E}_{\text{факт}} - \Delta \mathcal{E}_{\text{расч}} $, %		0,46	1,21	1,11	0,73	0,65

Приложение Ж
Акт внедрения Тельмановское ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса»



**КОММУНАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ „КОМПАНИЯ
„ВОДА ДОНБАССА”
ТЕЛЬМАНОВСКОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА**

ул. Ленина, 65, пгт. Тельманово, Донецкая область, 87100
тел. (06279) 5-22-49, факс (06279) 5-22-49, диспетчер (06279)5-24-94
код ЕГРПОУ 39710003

E-mail: telm_puvkh@donvoda.com

Веб-сайт: <http://www.donvoda.com>

25. 10. 2014 № 02/614-01

Диссертационный совет Д 01.005.01 при
ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»

На № від

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
Маркина Вячеслава Владимировича на тему «Интенсификация работы
канализационных очистных сооружений курортных населенных пунктов с помощью
пробиотических средств», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.23.04 – водоснабжение, канализация,
строительные системы охраны водных ресурсов

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационных исследований Маркина Вячеслава Владимировича, в частности методика расчета технологической схемы очистки сточных вод с применением пробиотического препарата «Оксидол» и способ повышения эффективности и экономичности работы очистных сооружений курортных населенных пунктов с помощью пробиотических средств, внедрены на канализационной очистной станции г. Новоазовска.

Разработанная методика позволяет увеличить эффективность работы очистных сооружений во время пиковых нагрузок и улучшить качество очистки, а также снизить объемы образующихся осадков сточных вод и расход электроэнергии на аэрацию сточной воды. Расчетная экономическая эффективность применения пробиотика составляет 101,2 тыс. грн или 4,640 тыс. долл. США за один курортный сезон (четыре месяца).

На основании опыта внедрения можно сделать вывод о том, что материалы диссертационной работы Маркина В. В. представляют научный и практический интерес и относятся к технологиям, повышающим эффективность, надежность и экономичность работы канализационных очистных станций.

Директор Тельмановского ПУВКХ
КП «Компания «Вода Донбасса»



С. Н. Мелашук

Акт внедрения ЦКИПІВЛ КП «Компанія «Вода Донбасса»



**ДОНЕЦЬКА ОБЛАСНА РАДА
КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО „КОМПАНІЯ „ВОДА ДОНБАСУ”
ЦЕНТРАЛЬНА КОНТРОЛЬНО-ДОСЛІДНИЦЬКА ТА
ПРОЕКТНО-ВИШУКУВАЛЬНА ВОДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

вул. Університетська, 13, м. Слов'янськ, Донецька область, 84112

тел. (06262) 3-56-08, факс (06262) 2-79-04

п/р 26004455027722 у АТ «ОТП Банк»,

МФО 300528, код ЄДРПОУ 35397888

E-mail: tskipivl@donvoda.com

Веб-сайт: <http://www.donvoda.com>

19.10.19. № 06-3125

Диссертационный совет Д 01.005.01 при
ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»

На №

від

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
Маркина Вячеслава Владимировича на тему «Интенсификация работы
канализационных очистных сооружений курортных населенных пунктов с
помощью пробиотических средств», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 – водоснабжение,
канализация, строительные системы охраны водных ресурсов

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационных
исследований Маркина Вячеслава Владимировича, а именно методика расчета
технологической схемы очистки сточных вод с применением пробиотического
препарата «Оксидол» и способ повышения эффективности и экологической
безопасности работы канализационных очистных сооружений с помощью
пробиотических средств, используются в проектной и эксплуатационной практике
ЦКИПІВЛ КП «Компанія «Вода Донбасса» (очистные сооружения
г. Новоазовска и г. Лиман).

Материалы диссертационной работы Маркина В. В. представляют научный
и практический интерес. Внедрение разработанной методики позволяет
интенсифицировать работу очистных комплексов курортных населенных пунктов
в условиях повышенных нагрузок, а также снижать объемы осадков сточных вод
и затраты на аэрацию иловой смеси.

Директор ЦКИПІВЛ
КП «Компанія «Вода Донбасса»



Е. А. Широкоступ

Акт внедрения

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Диссертационный совет Д 01.005.01 при
ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»,
д.т.н., профессор

И. М. Зайченко
« 07 » * 11 * 2017 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
аспиранта кафедры «Городское строительство и хозяйство»

Маркина Вячеслава Владимировича на тему «Интенсификация работы
канализационных очистных сооружений курортных населенных пунктов с
помощью пробиотических средств», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 – водоснабжение,
канализация, строительные системы охраны водных ресурсов, в учебный процесс
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Результаты диссертационных исследований Маркина Вячеслава Владимировича «Интенсификация работы канализационных очистных сооружений курортных населенных пунктов с помощью пробиотических средств», а именно методика расчета технологической схемы очистки сточных вод с применением пробиотического препарата «Оксидол» и способ повышения эффективности и экономичности работы очистных станций с помощью пробиотических средств, использованы при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство» по профилю «Городское строительство и хозяйство» в курсе дисциплин «Городские инженерные сети» и «Обеспечение экологической безопасности систем городского строительства и хозяйства».

Начальник учебного отдела
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»,
канд. наук гос. упр., доцент



А. А. Сухина

Заведующий кафедрой
«Городское строительство и хозяйство»
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»,
к.т.н., доцент



К. А. Яковенко