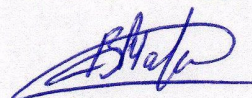


В печать
22.01.18 г. В.В.

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Макеевка – 2017

Работа выполнена на кафедре городского строительства и хозяйства ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры”, г. Макеевка.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Насонкина Надежда Геннадиевна,
ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры”,
профессор кафедры городского строительства и хозяйства.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Серпокрылов Николай Сергеевич,
ФГБОУ ВО “Донской государственный технический университет”, профессор
кафедры водоснабжения и водоотведения,
г. Ростов-на-Дону, РФ;

кандидат технических наук
Кулик Иван Анатольевич,
инженер-технолог ООО “Акватрат”,
г. Ростов-на-Дону, РФ.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Волгоградский государственный технический университет”, г. Волгоград, РФ.

Защита состоится «___» _____ 2018 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 01.005.01 при ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры” по адресу: 86123, г. Макеевка, ул. Державина 2, зал ученого совета. Тел. факс: +38(0623) 22-77-19, e-mail: d01.005.01@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия строительства и архитектуры” по адресу: 86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 01.005.01



Удовиченко Злата Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Спецификой работы канализационных очистных сооружений (КОС) курортных населенных пунктов является значительное изменение нагрузки во время курортного сезона как по количеству сточной воды (СВ), так и по ее загрязненности. Увеличение нагрузки вызывает необходимость применения интенсифицирующих технологий, способных обеспечить высокий эффект очистки в сезон массового приезда отдыхающих. Одним из современных методов повышения эффективности работы КОС является применение пробиотических средств.

Еще одной спецификой КОС курортных городов и поселков является строгий контроль выбросов в окружающую среду. Сброс недостаточно очищенных сточных вод, осадки сточных вод (ОСВ), размещаемые на иловых площадках, выделяющиеся токсичные зловонные газы приводят к загрязнению окружающей природной среды и часто вызывают жалобы отдыхающих. Особенно велико отрицательное воздействие иловых площадок, загрязняющих воздух, почву, грунтовые воды. Методы обработки ОСВ в искусственных условиях весьма дорогостоящие и сложные в эксплуатации. В этой связи актуально применение технологий, позволяющих сократить количество образующихся ОСВ и, тем самым, уменьшить затраты на их обработку, а также снизить выбросы в окружающую среду.

Важное направление во всех сферах технической деятельности человека – внедрение энергоэффективных и экономичных технологий. Наиболее энергозатратная статья в работе очистных комплексов канализации – потребление электроэнергии воздушодувными машинами. Внедрение технологий, позволяющих сократить потребность воздуха на аэрацию СВ, весьма актуально, особенно для очистных сооружений курортных городов, на которых устанавливаются “жесткие” лимиты на потребление электроэнергии.

Решения перечисленных проблем также можно достичь с помощью применения пробиотических препаратов.

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., Эпомяна 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 для интенсификации очистки СВ, 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.

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 ЦКИПИВЛ 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 изданий, утвержденный МОН Украины; 1 – в издании, индексируемом в базе данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования); 1 – в зарубежном издании; 6 публикаций 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описана актуальность темы исследований, показана необходимость применения технологий интенсификации очистки СВ на КОС курортных населенных пунктов, уменьшения количества образующихся ОСВ, устранения запахов, а также снижения расхода электроэнергии на очистку, сформулированы цель и задачи исследования.

В первом разделе выполнен анализ работы КОС курортных населенных пунктов, приведен литературный обзор методов интенсификации очистки СВ, а также общая информация о пробиотических препаратах и их применении на КОС.

Особенностью работы КОС курортных городов и поселков является значительное резкое увеличение расхода СВ во время курортного сезона. Количество поступающей СВ может увеличиваться в 1,5–3 раза по сравнению с остальным временем года. Значительное увеличение нагрузки на КОС приводит к недостаточной степени очистки СВ, что вызывает необходимость применения технологий интенсификации работы очистных сооружений.

Анализ современных технологий очистки СВ показывает, что наиболее рациональным методом интенсификации работы КОС курортных населенных пунктов являются технологии с применением пробиотиков.

Опыт применения пробиотиков свидетельствует об эффективности их использования для интенсификации механической и биологической очистки СВ, снижения образования токсичных “зловонных” газов и уменьшения бактериальной загрязненности СВ, а также для сокращения количества образующихся ОСВ и снижения расхода воздуха на аэрацию.

Пробиотические препараты (пробиотики) состоят из пробиотических бактерий и ферментов и не содержат химических и минеральных загрязнителей. По способу применения пробиотики можно условно отнести к классу реагентов, с той поправкой, что благодаря своей экологичности, они не оказывают отрицательное

влияние на качество осадков. Пробиотические бактерии по определению являются непатогенными, нетоксичными, обладают высокой адгезивной и антагонистической способностью к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам.

Большинство пробиотиков содержат в своем составе, как правило, факультативно анаэробные бактерии (в основном родов *Bifidobacterium* и *Lactobacillus*) и спорообразующие аэробные бактерии рода *Bacillus* (*Bacillus subtilis*, *Bacillus subtilis* var. *amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus megaterium* и др.). Первая группа бактерий воздействует на стадии механической очистки СВ при анаэробии, вторая группа – в процессе аэробной биологической очистки.

Выработка молочнокислыми бактериями *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* органических кислот, а также большого количества биологически активных компонентов (антибиотиков, бактериоцинов, лизоцима, перекиси водорода), как и конкуренция за питательные ингредиенты и сайты адгезии, подавляет рост и вытесняет из питательной ниши патогенные микроорганизмы, а также гнилостные бактерии, что приводит к торможению процессов анаэробного гниения. Поэтому при подаче пробиотиков в схеме биологической очистки стоков перед первичным отстаиванием в отстойниках снижаются гнилостные процессы и уменьшается выделение токсичных “зловонных” газов, а также происходит частичное обеззараживание среды от патогенов. Снижение газообразования в отстойниках улучшает режим осаждения примесей и интенсифицирует процесс очистки, а также приводит к снижению влажности сырого осадка.

Жизнедеятельность бактерий рода *Lactobacillus* приводит к образованию в рабочей среде пероксида водорода. Накопленный в процессе первичного отстаивания H_2O_2 далее поступает в аэротенки. В аэробных условиях перекись водорода под действием ферментов – каталазы и пероксидазы, имеющих у аэробных и факультативно анаэробных бактерий, разлагается на воду и кислород, а также используется непосредственно для окисления органического субстрата. Указанные процессы приводят к повышению концентрации растворенного кислорода в иловой смеси аэротенков.

Интенсификация процесса биологической очистки СВ осуществляется за счет деятельности аэробных бактерий, а также готовых ферментов, содержащихся в препаратах. Аэробные бактерии рода *Bacillus* вырабатывают большой спектр ферментов: оксидоредуктаз, трансфераз, гидролаз (липаз, протеаз, амилаз, целлюлаз, фитаз, пектиназ, лизоцима), лиаз. Большое количество продуцируемых ферментов обуславливает способность пробиотиков быстро разрушать органические вещества, включая высокомолекулярные трудноразлагаемые. 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 процессов биологической очистки.

Существует три основных варианта введения пробиотиков: перед песколовками, перед первичными отстойниками, перед аэротенками. Подача препаратов перед песколовками приведет к осаждению вместе с минеральными примесями части пробиотических бактерий, что нежелательно. Введение

пробиотиков перед аэротенками интенсифицирует биологическую очистку, но не окажет воздействие на процесс первичного отстаивания. Наиболее выгодной является подача пробиотика перед первичным отстаиванием, так как в этом случае происходит воздействие не только на биологическую очистку, но и на механическую: интенсифицируется процесс первичного отстаивания, снижается объем сырого осадка, уменьшаются процессы гниения в первичном отстойнике.

Учитывая комплексное влияние пробиотиков на процессы очистки СВ, а также экологическую безвредность, их применение на КОС курортных городов более целесообразно по сравнению с методами, требующими значительной реконструкции и существенных капитальных затрат, или реагентной интенсификацией, приводящей к загрязнению осадков. Однако, широкому применению пробиотических препаратов препятствует недостаточная изученность направления: отсутствует научная и научно-практическая база, сравнительные исследования различных пробиотиков, методики расчета необходимых доз пробиотиков для получения заданного эффекта очистки и т. д.

Во втором разделе рассмотрены объекты, материалы и методы исследования. Лабораторные эксперименты осуществлялись на сточной воде и активном иле, отобранных на КОС г. Селидово Донецкой области после песколовок. Концентрации загрязнений в СВ составляли: взвешенные вещества (ВВ) и БПК₅ в пределах 270...300 мг/дм³, ХПК – 430...470 мгО₂/дм³, азот аммонийный (N-NH₄) – 50...65 мг/дм³. Исследовался вариант введения пробиотиков перед первичным отстаиванием. Эксперименты проводились в статическом и динамическом (проточном) режимах.

Исследования в статическом режиме проводились в цилиндрических емкостях с конусным дном, в которых последовательно осуществляли первичное отстаивание сточной воды и биологическую очистку с активным илом. Для определения увеличения эффекта очистки все опыты проводились с контрольным вариантом (без добавления пробиотика). Время отстаивания в емкостях соответствовало полуторачасовому времени отстаивания в реальном отстойнике с H_p=3м. Доза активного ила составляла 2,5...3,0 г/дм³, концентрация растворенного кислорода – 2,5...3,5 мгО₂/дм³.

Исследования в динамическом режиме проводились на двух идентичных проточных лабораторных установках (№1 – с подачей пробиотика, №2 – контрольная). Каждая установка состояла из первичного вертикального отстойника и аэротенка с илоотделителем. Время первичного отстаивания соответствовало времени отстаивания в реальном отстойнике (H_p=3м) – 2,7 часа. Время аэрации – 9 часов. Время пребывания в илоотделителе равнозначно 2,5 часам отстаивания в реальном илоотделителе. Схема установки №1 с подачей раствора пробиотика представлена на рисунке 1.

Показатели загрязненности сточной воды и контролируемые параметры процесса биологической очистки определялись по стандартным методикам на поверенных и аттестованных приборах в Донбасском Региональном Испытательном Центре Воды ЦКИПИВЛ КП “Компания “Вода Донбасса” (свидетельство о гос. аттестации №065445324/3 ГОМС).

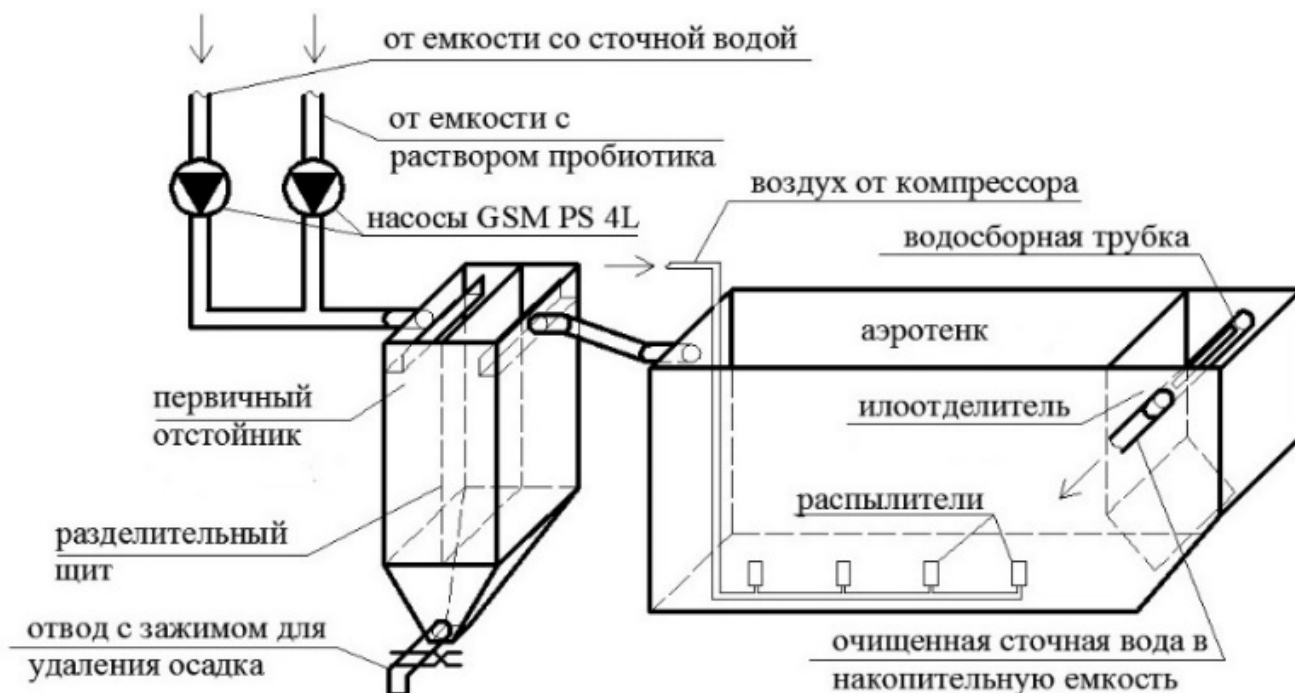


Рисунок 1 – Схема лабораторной проточной установки №1

В третьем разделе приведены результаты лабораторных исследований пробиотических препаратов.

В сравнительных испытаниях тестировались пять пробиотиков: PIP+WATER (Chrizal, Бельгия), SCD Bio Klean (SCD Probiotics, США), Microbec (Bros Sp., Польша), “Оксидол” (Agranco corp., США), “Водограй” (Biosystems Europe, Великобритания). Эксперименты проводились в статическом режиме при времени аэрации 8 часов. Температура СВ поддерживалась на уровне $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Усредненные значения увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки ($\Delta\text{Э}$, %) при введении пробиотиков с указанием верхних и нижних границ доверительных интервалов ($\alpha=0,05$) приведены на диаграммах (Рисунки 2-4).

Наиболее эффективными пробиотиками оказались PIP+Water и “Оксидол”. Введение указанных пробиотических препаратов значительно интенсифицирует процесс первичного отстаивания по ВВ и БПК₅ и биологической очистки по ВВ, БПК₅ и NH₄.

Существенного влияния на процесс удаления фосфатов ни один из испытанных видов пробиотиков не оказывает.

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

Дозы пробиотических препаратов и стоимости обработки 1 м³ СВ составляют: PIP+WATER – 40 мл/м³ (41,67 руб./м³), SCD Bio Klean – 30 мл/м³ (19,17 руб./м³), Microbec – 9 г/м³ (14,50 руб./м³), “Оксидол” – 0,3 г/м³ (2,44 руб./м³), “Водограй” – 20 г/м³ (124,72 руб./м³).

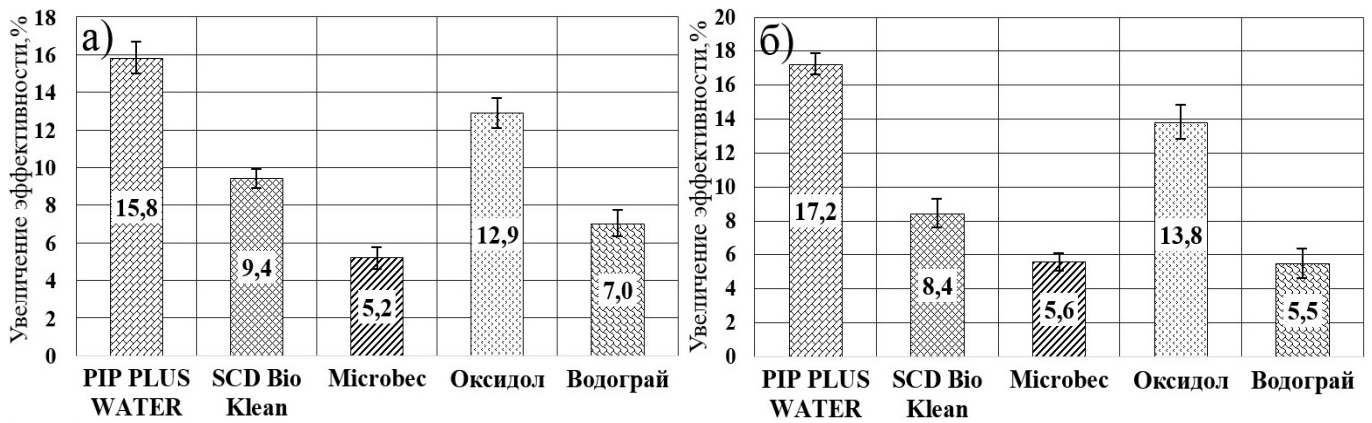


Рисунок 2 – Увеличение эффективности очистки ДЭ по BPK₅ (а) и по взвешенным веществам (б) при первичном отстаивании

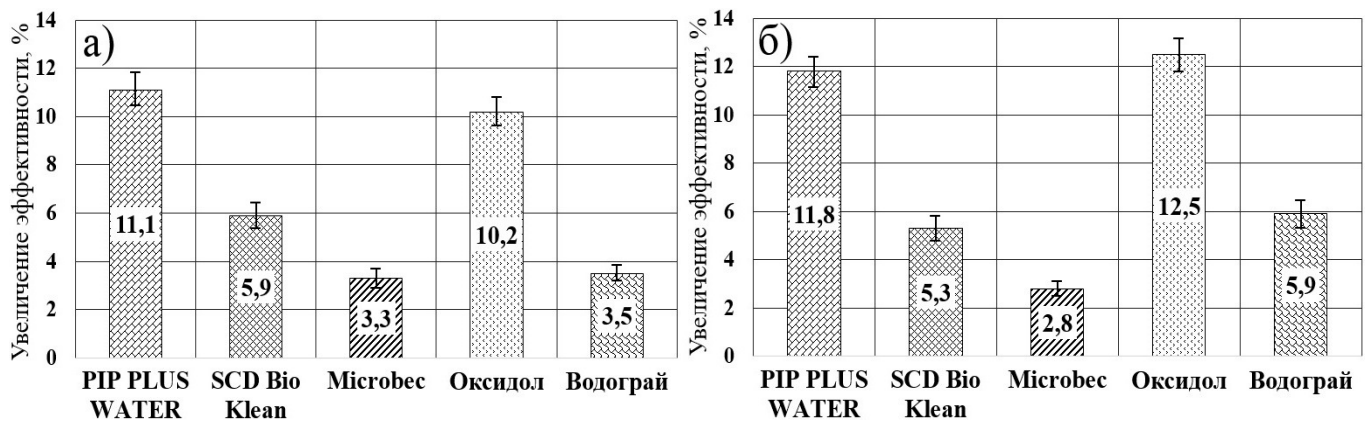


Рисунок 3 – Увеличение эффективности биологической очистки ДЭ по BPK₅ (а) и по взвешенным веществам (б)

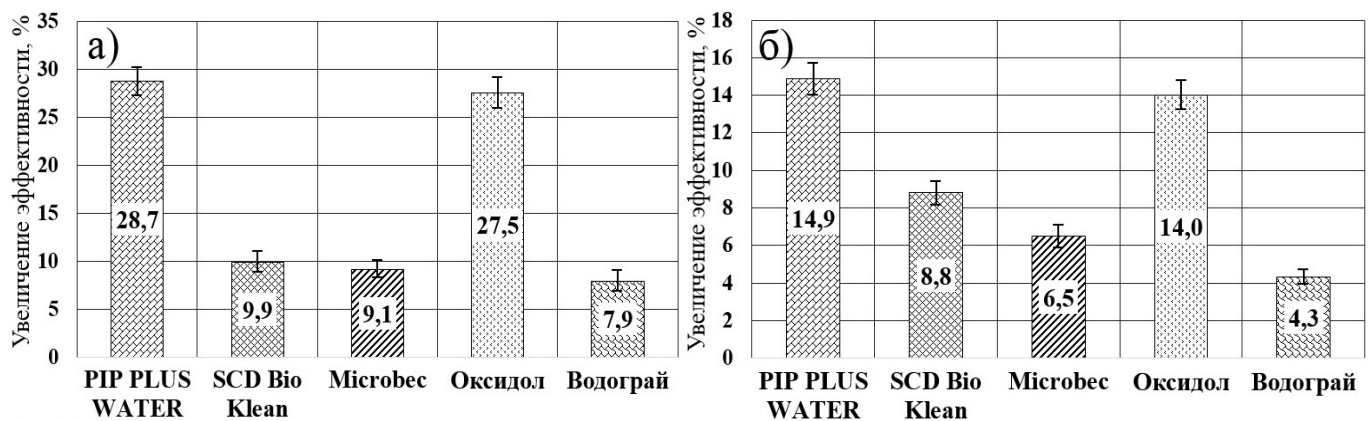


Рисунок 4 – Увеличение эффективности биологической очистки ДЭ по азоту аммонийному (а) и по ХПК (б)

Таким образом, хотя из всех испытанных препаратов наиболее эффективными оказались PIP+Water и “Оксидол”, учитывая значительно меньшую себестоимость последнего, именно “Оксидол” является оптимальным вариантом.

Определение оптимального диапазона доз “Оксидола” проводилось при времени аэрации – 9 часов. Усредненные результаты опытов отображены на графиках (Рисунки 5–7). Математические зависимости построены с помощью программного пакета STATISTICA, доверительные зоны уравнений регрессии вычислены с уровнем доверительной вероятности 0,95.

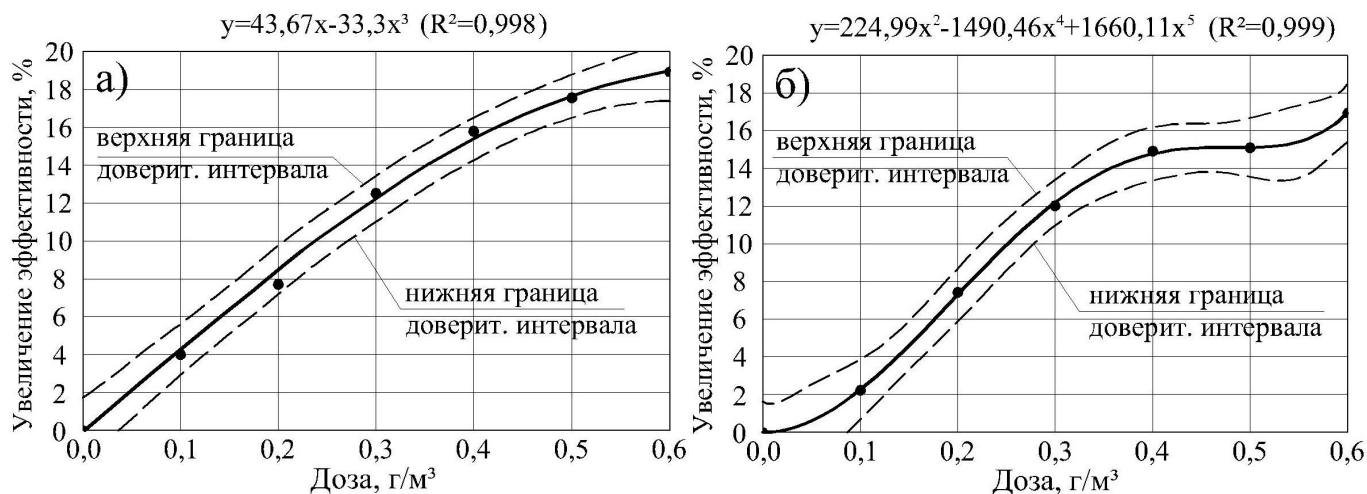


Рисунок 5 – Увеличение эффективности очистки $\Delta\text{Э}$ по BPK_5 (а) и по взвешенным веществам (б) при первичном отстаивании при разных дозах “Оксидола”

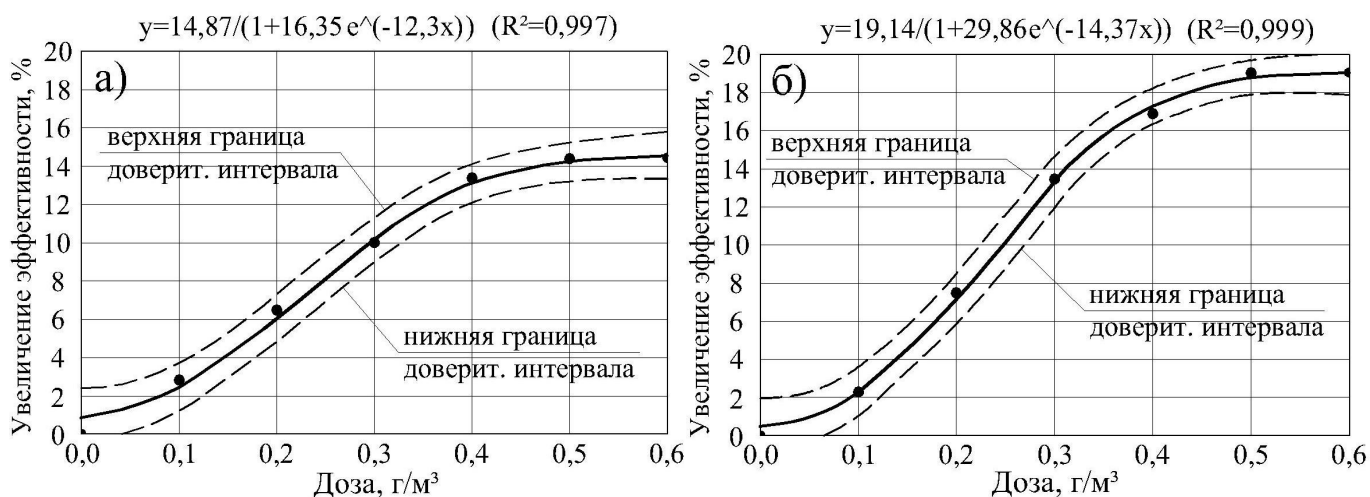


Рисунок 6 – Увеличение эффективности биологической очистки $\Delta\text{Э}$ по BPK_5 (а) и по взвешенным веществам (б) при разных дозах “Оксидола”

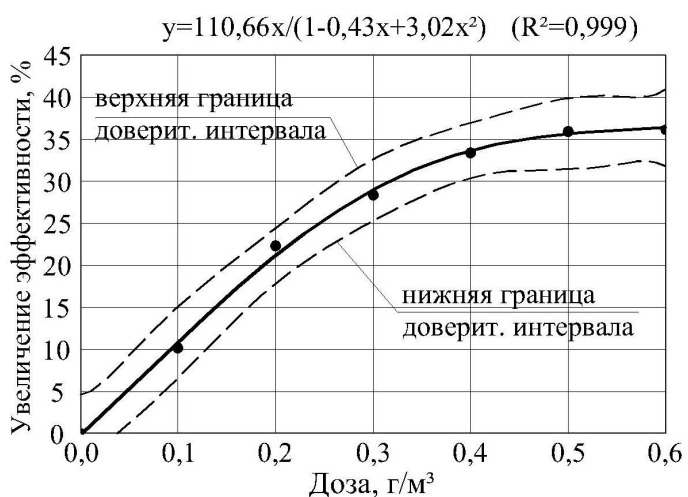


Рисунок 7 – Увеличение эффективности биологической очистки $\Delta\text{Э}$ по N-NH_4

Как видно из рисунков 5–7, оптимальная дозировка “Оксидола” находится в пределах 0,2...0,4 г/м³.

Эксперименты по определению математических моделей увеличения эффекта первичного отстаивания и биологической очистки при введении “Оксидола” перед первичным отстаиванием осуществлялись по методу полнофакторного эксперимента (ПФЭ) с изменением влияющих факторов в двух уровнях: верхнем и нижнем.

Увеличение эффекта первичного отстаивания определялось по снижению ВВ и BPK_5 , биологической очистки – по ВВ, BPK_5 и N-NH_4 . Приросты эффекта очистки ($\Delta\text{Э}$, %) по указанным показателям являлись выходными факторами (функциями

отклика). В качестве основных факторов, влияющих на увеличение эффективности биологической очистки, выбраны: доза пробиотика (d), температура СВ (t) и нагрузка на ил (q). Интенсификация первичного отстаивания изучалась при двух переменных факторах: дозе пробиотика и температуре СВ.

Существенное влияние дозы пробиотика доказано предыдущими исследованиями.

Температура СВ как влияющий фактор безусловно оказывает большое влияние на эффективность пробиотических бактерий за счет воздействия на активность ферментативных реакций.

Кроме того, важными параметрами биологической очистки являются такие факторы, как время аэрации, доза активного ила, начальная концентрация загрязнений. Все перечисленные факторы включает в себя общий параметр – нагрузка на активный ил, именно поэтому он был выбран в качестве третьего влияющего фактора.

Верхний и нижний уровни изменения дозы – 0,4 и 0,2 г/м³. В Донецком регионе и регионах с аналогичными климатическими условиями температура СВ в “зимний” период года составляет 8...12°C, в “летний” – 18...23°C. Исходя из этого, эксперименты проводились при двух уровнях температуры: 10°C (нижний) и 20°C (верхний).

При экспериментальном определении зависимостей увеличения эффекта очистки СВ по основным показателям (БПК₅, ВВ и N-NH₄) нагрузка на ил определялась конкретно по соответствующим показателям. Однако, для определения интервала нагрузки, на котором осуществлялись исследования, предварительно был задан интервал нагрузки по БПК_п: 0,4 кгБПК_п/(кг·сут) – нижний уровень, 0,6 кгБПК_п/(кг·сут) – верхний.

По полученным значениям увеличения эффекта очистки при введении “Оксидола” составлены матрицы результатов экспериментов, выполнена их статистическая обработка и получены уравнения регрессии. Уровни и интервалы варьирования факторов в матрицах интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки приведены в таблицах 1–4.

Таблица 1 – 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

Уравнение регрессии интенсификации первичного отстаивания по ВВ

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

Уравнение регрессии интенсификации первичного отстаивания по БПК₅

$$y=9,96+3,57x_1+1,79x_2, \% \quad (2)$$

Таблица 2 – 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), °C	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

Уравнение регрессии интенсификации биологической очистки по БПК₅

$$y = 8,56 + 2,21x_1 + 1,66x_2 + 0,58x_3 + 0,75x_1x_2, \% \quad (3)$$

Таблица 3 – 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), °C	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

Уравнение регрессии интенсификации биологической очистки по ВВ

$$y = 9,92 + 2,33x_1 + 2,89x_2 + 0,53x_3 + 1,19x_1x_2, \% \quad (4)$$

Таблица 4 – 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), °C	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

Уравнение регрессии интенсификации биологической очистки по N-NH₄

$$y = 23,09 + 4,26x_1 + 6,70x_2 + 2,58x_3 - 2,71x_2x_3, \% \quad (5)$$

Однородность и равноточность опытов проверена по G-критерию Кохрена, статистическая значимость коэффициентов уравнений регрессии – по t-критерию Стьюдента, адекватность полученных моделей – по F-критерию Фишера.

Коэффициенты уравнений регрессии свидетельствуют, что наибольшее воздействие на интенсификацию процесса первичного отстаивания оказывает доза препарата, влияние температуры СВ примерно в 2 раза меньше. Биологическая очистка интенсифицируется в зависимости от увеличения дозы “Оксидола” и температуры СВ примерно в одинаковой степени, влияние нагрузки на ил статистически значимое, но менее сильное. Все факторы оказывают положительное воздействие. Наибольшие отклики получены при дозе препарата 0,4 г/м³, “летней” температуре СВ – 20°C и нагрузке на АИ 0,305 кгБПК₅/кг·сут. При таком сочетании

влияющих факторов интенсификация первичного отстаивания по ВВ и БПК₅ составляет 15...17%; увеличение эффекта биологической очистки по ВВ и БПК₅ – 16,8 и 13,5% соответственно, по N-NH₄ – 33,5%. Учитывая значительное положительное влияние температуры СВ на эффективность пробиотиков, можно заключить, что их использование наиболее выгодно в летнее время года.

Эксперименты по определению рациональных параметров снижения дозы “Оксидола” осуществлялись в проточном режиме. Возможность постепенного снижения начальной дозы препарата возникает в результате накопления пробиотических бактерий в сооружениях вследствие их прикрепления к стенкам конструкций и к хлопьям активного ила.

Основными параметрами режима введения пробиотика являются: оптимальный шаг снижения дозы препарата Δd (в процентах от предыдущей), необходимая продолжительность подачи пробиотика одной дозой T_d и минимальная доза d_{\min} , при которой увеличение эффекта очистки сохраняется. Также определяется влияние препарата на количество образующихся осадков, содержание растворенного кислорода и микробиоценоз АИ.

Определение рациональных параметров режима снижения дозы пробиотика осуществлялось по критерию сохранения увеличенного эффекта очистки. Перед началом опытов обе установки (Рисунок 1) были выведены на один уровень работы с одинаковым эффектом очистки. После введения препарата дозой 0,4 г/м³ в установку №1 эффективность очистки в ней повысилась. Далее дозу пробиотика снижали с разным шагом, с разной продолжительностью подачи и т. д. Рациональными параметрами режима введения считаются такие, которые позволяют максимально быстро снижать дозу препарата с сохранением достигнутого эффекта очистки. Выявленные рациональные параметры режима введения пробиотика составляют:

- оптимальный шаг снижения дозы Δd – 20% от предыдущей дозы;
- продолжительность подачи пробиотика одной дозой T_d равна четырехкратному времени пребывания СВ в сооружениях;
- минимальная доза препарата, позволяющая сохранить достигнутый эффект, $d_{\min} = 0,04$ г/м³.

Во время стабильной работы установки №1 (Таблица 5) определялись закономерности влияния “Оксидола” на количество образующихся осадков, растворенный кислород, иловый индекс.

Удельный расход воздуха в аэротенках №1 и №2 в начале эксперимента составлял 15 дм³/дм³. Концентрация O₂ в иловой смеси контрольной установки за время стабильной работы колебалась в пределах 3,3...3,8 мгO₂/дм³. В линии №1 перед подачей пробиотика концентрация O₂ находилась на таком же уровне, а с момента введения препарата наблюдалось ее постепенное увеличение. На двенадцатые сутки концентрация O₂ в аэротенке №1 составила 5,1 мгO₂/дм³. Учитывая значительную разницу в концентрациях O₂, удельный расход воздуха в аэротенке №1 сократили в начале до 12 дм³/дм³, далее до 10 дм³/дм³. Концентрация O₂ в иловой смеси снизилась до 3,5 мгO₂/дм³. В дальнейшем концентрация O₂ в обоих аэротенках находилась на одном уровне. Таким образом, за счет введения пробиотика подачу воздуха сократили на 33%.

Таблица 5 – Усредненные показатели исходной и очищенной СВ во время стабильной работы установки

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
	Увеличение эффекта очистки, %		–	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
	Увеличение эффекта очистки, %		–	31,4

Объем осадка, удаляемого из отстойника №1, составлял 103...121 мл в сутки (7,2 г/сут по сухому веществу) с влажностью 93...94%. Количество удаляемого сырого осадка из первичного отстойника №2 – 132...176 мл/сут (5,3 г/сут по сухому веществу). Влажность – 96...97%. За счет снижения влажности на 3% количество сырого осадка уменьшилось по сравнению с контролем в среднем на 27%.

За время стабильного введения раствора пробиотика прирост активного ила P_i составлял в среднем 89,4 мг/дм³, в контрольной линии – 123,9 мг/дм³. За счет введения пробиотика прирост АИ сократился на 28%. Суммарный объем образовавшегося избыточного активного ила (ИАИ) в первом аэротенке – 686 мл при влажности 98,5%, во втором – 1427 мл (влажность 99,0%). Таким образом, за счет уменьшения скорости прироста ила и снижения его влажности объем ИАИ уменьшился на 52%.

Иловый индекс в иловой смеси контрольного аэротенка был стабилен и находился в пределах 107...121 мл/г. В аэротенке №1 с момента подачи пробиотика наблюдалось его постепенное снижение до 70...75 мл/г.

Уровень запаха отстоянной СВ снижается с 5 до 2–3 баллов. В биологически очищенной воде уровень запаха составлял 0 баллов, в то время как в контрольной линии – 1–2 балла.

Гидробиологические анализы АИ на протяжении эксперимента показали, что введение пробиотика привело к увеличению видового разнообразия, подвижности и встречаемости индикаторных микроорганизмов.

В четвертом разделе приведены результаты испытания пробиотического препарата “Оксидол” на КОС г. Новоазовска. Введение препарата осуществлялось в летнее время года, когда мощности очистной станции недостаточно для обеспечения очистки СВ до нормативных требований.

Фактический расход СВ во время проведения эксперимента составлял в среднем 1800 м³/сут. В работе находились две линии очистки: контрольная и с введением пробиотика. На каждую линию поступало около 900 м³ СВ в сутки. Время отстаивания в первичных и вторичных отстойниках – 1,9 часа. Время аэрации – 8,05 часа.

Начальная доза пробиотика, необходимая для повышения эффективности очистки до требуемого уровня, рассчитывалась по формулам 1–5. Из вычисленных значений выбрано максимальное, которое составило 0,31 г/м³. Через каждые двое суток подача “Оксидола” снижалась на 20% от предыдущей дозы. Последовательность снижения дозы выглядела следующим образом: 0,31-0,25-0,2-0,16-0,13-0,11-0,09-0,07-0,06-0,05-0,04 г/м³. На 22-е сутки доза препарата достигла минимального значения – 0,04 г/м³ и оставшееся время пробиотик подавался в минимальной дозе. Суммарный расход “Оксидола” за 56 суток составил 3,87 кг.

Температура СВ за время проведения эксперимента находилась в пределах 20...24°C. Усредненные показатели работы КОС за все время введения “Оксидола” представлены в таблице 6.

Таблица 6 – 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

Во время введения пробиотика концентрации загрязнений в очищенной сточной воде на выходе из линии №3 значительно снизились и не превышали установленные нормы. В то же время в технологической линии №4 содержания загрязняющих веществ в очищенной СВ были выше нормативных.

За каждую неделю введения препарата вычислялась разница между фактическими значениями ΔЭ и рассчитанными по формулам 1–5. Средние значения расхождений между расчетными и фактическими приростами в эффектах

очистки составили 0,46...1,21%. Полученная разница между расчетными и фактическими значениями $\Delta\mathcal{E}$ является вполне допустимой для инженерных расчетов и подтверждает адекватность полученных математических зависимостей, применяемых для расчета необходимой дозы “Оксидола”.

Уровень запаха в первичных отстойниках, благодаря подаче пробиотика, снизился с 5 до 2–3 баллов, во вторичном отстойнике с 1–2 до 0 баллов.

Объем сырого осадка сократился на 21% по сравнению с контролем за счет снижения влажности на 3%. Объем осадка первичного отстойника №3 составлял в среднем – 1,86 м³/сут (130 кг/сут по сухому веществу, влажность 93%), №4 – 2,35 м³/сут (94 кг/сут по сухому веществу, влажность 96%).

За счет воздействия пробиотика прирост активного ила P_i снизился на 32%. В среднем прирост активного ила P_i в аэротенке №3 составил 124 мг/дм³, в аэротенке №4 – 182 мг/дм³.

Графики изменения концентрации АИ в аэротенках с 1-х по 28-е сутки эксперимента представлены на рисунке 8.

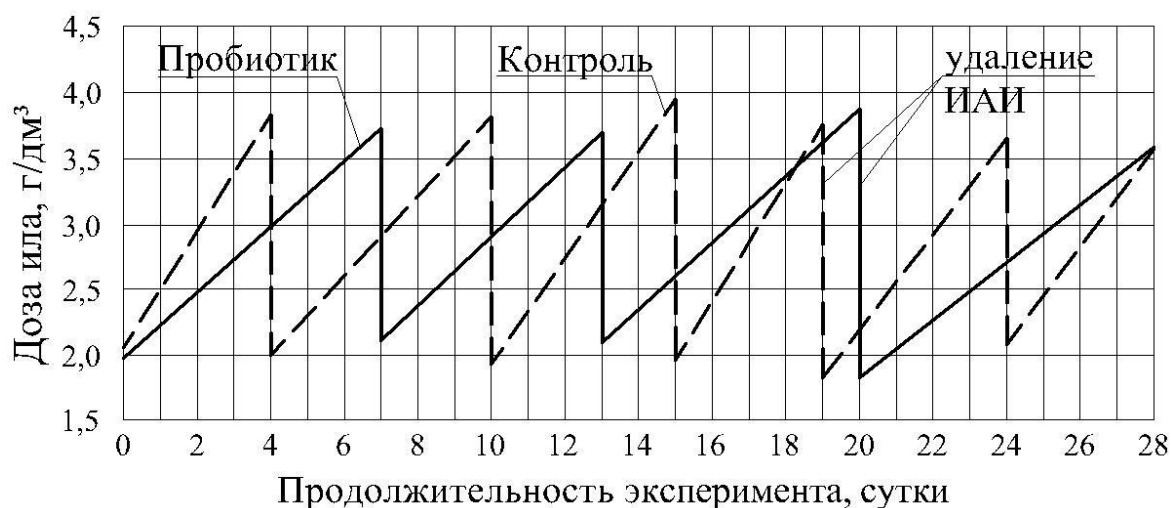


Рисунок 8 – График изменения концентрации АИ в аэротенках с 1-х по 28-е сутки эксперимента

Обработка статистических данных изменения концентрации АИ позволила получить уравнения прироста АИ в линии с пробиотиком

$$P_i = 0,62C_{cdp} + 0,20L_{en} - C_{взв.в-ва}, \text{ мг/дм}^3, \quad (6)$$

и в контрольной линии

$$P_i = 0,75C_{cdp} + 0,29L_{en} - C_{взв.в-ва}, \text{ мг/дм}^3, \quad (7)$$

где C_{cdp} – содержание ВВ в СВ, поступающей в аэротенк, мг/дм³;

L_{en} – БПК₂₀ в СВ, поступающей в аэротенк, мгО₂/дм³;

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

Средний объем образующегося за сутки избыточного АИ в аэротенке №3 составил 7,47 м³/сут (112 кг/сут по сухому веществу, влажность 98,5%), в аэротенке №4 – 16,4 м³ (164 кг/сут по сухому веществу, влажность 99%). Благодаря сокращению прироста ила P_i и снижению его влажности на 0,5%, уменьшение объема образующегося избыточного АИ составило 54%.

Благоприятное воздействие пробиотик оказал на седиментационные свойства ила (Рисунок 9).

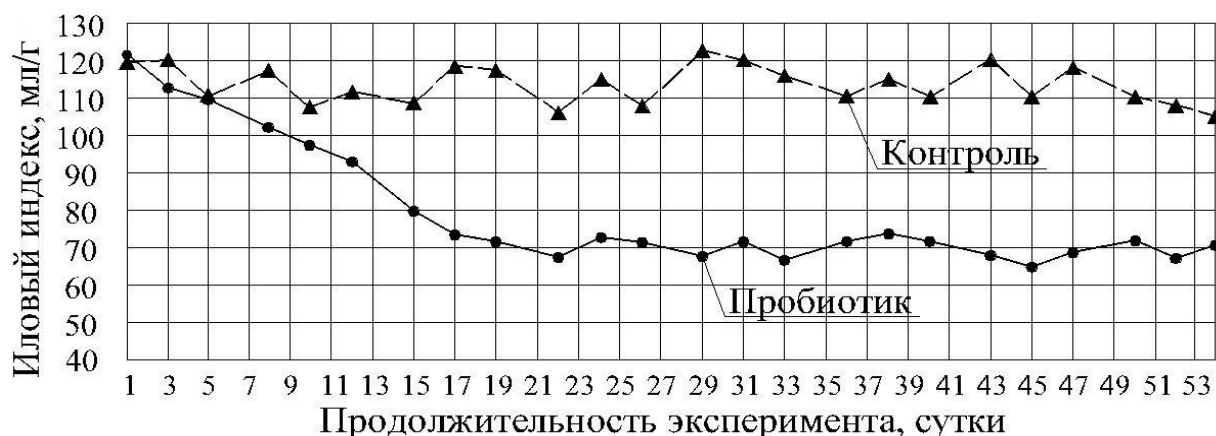


Рисунок 9 – График изменения илового индекса за время проведения эксперимента

Концентрация растворенного O_2 при введении “Оксидола” увеличилась с 3,5...4,0 mgO_2/dm^3 до 5,6 mgO_2/dm^3 . Благодаря этому, подачу воздуха в аэротенк №3 снизили с 850 $m^3/ч$ (удельный расход воздуха – 23 m^3/m^3) до 550 $m^3/ч$ (удельный расход воздуха – 15 m^3/m^3). После чего содержание O_2 в иловой смеси аэротенка №3 уменьшилось до уровня контрольной линии (Рисунок 10).

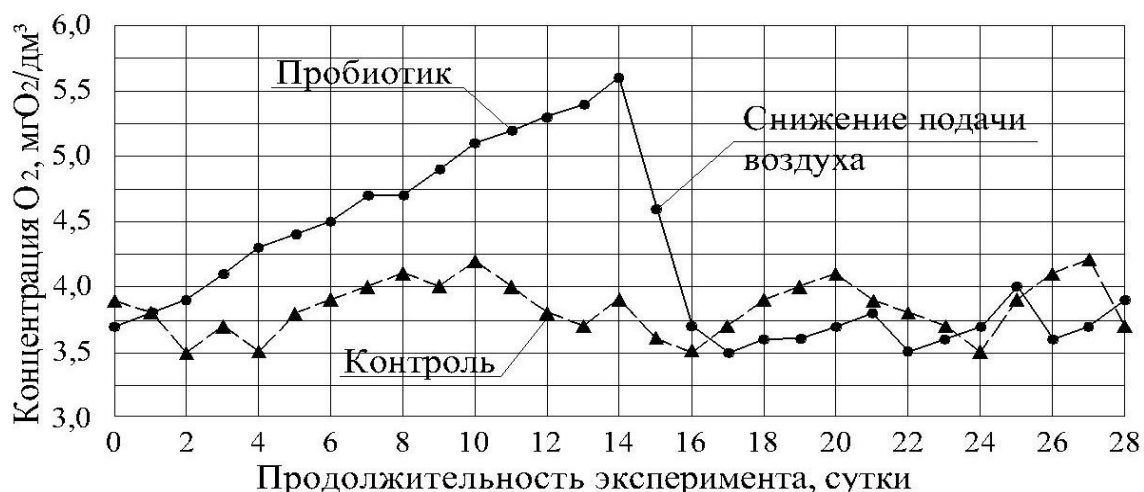


Рисунок 10 – График изменения концентрации растворенного кислорода в иловой смеси аэротенков за первые 28 суток введения пробиотика

Таким образом, введение “Оксидола” увеличило концентрацию O_2 в иловой смеси аэротенка и позволило сократить расход воздуха на аэрацию на 35%.

Кроме того, введение пробиотика привело к уменьшению бактериальной загрязненности СВ после биологической очистки и ее хлорпоглощаемости, что позволило сократить расход хлорреагента на 29%.

Использование пробиотика улучшило гидробиологические показатели АИ. В АИ с пробиотиком насчитывалось 12–15 видов микроорганизмов (инфузории: *aspidiska costata*, *aspidiska turrika*, *vaginicola striata*, *litonotus lamille*, *vorticella convalaria*, *opercularia*, *epistulis*, *paramecium*, *euplotes*; коловратки: *cathupna luna*, *notommata ansata*; черви: *allosoma*, *nematode*; раковинные амебы: *arcella*, *euqlypha*, *centropyxis*). Хлопья АИ светлокорицевого цвета, крупные, быстро оседающие.

Надиловая жидкость прозрачная и практически не содержит разрозненных мелких хлопьев.

В АИ контрольного аэротенка стабильно насчитывалось около 6–10 видов микроорганизмов (инфузории: *aspidiska costata*, *vaginicola striata*, *lironotus lamille*, *opercularia*, *epistulis*; коловратки: *cathupna luna*; черви: *allosoma*, *nematode*; раковинные амебы: *euqlypha*). Встречаемость фиксируемых микроорганизмов и их подвижность ниже, чем в аэротенке №3. Хлопья ила светлорыжиевые, средней крупности, оседают хорошо, но в надиловой жидкости остаются медленно оседающие мелкие разрозненные хлопья.

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

В ходе производственных испытаний препарата “Оксидол” исследованы окислительные характеристики активного ила с добавлением пробиотика и контрольного. По результатам проведенных экспериментов получены уравнения регрессии скорости окисления органических веществ по БПК_п в зависимости от конечных значений БПК_п (L_{ex} , мгО₂/дм³) (Рисунок 11) и скорости снижения N-NH₄ в зависимости от его конечных концентраций C_{N-NH_4} , мг/дм³, в биологически очищенной воде (Рисунок 12). На графиках нанесены доверительные зоны уравнений регрессии с уровнем значимости $\alpha=0,05$.

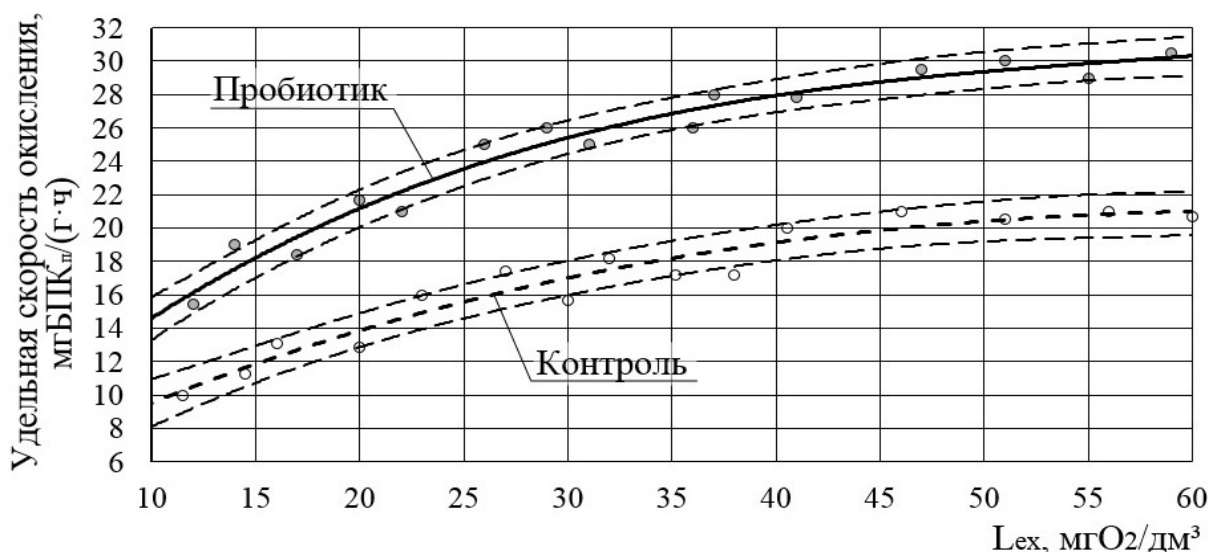


Рисунок 11 – Кинетические зависимости скорости окисления органических веществ по БПК_п

Кинетическая зависимость скорости окисления органических веществ по БПК_п $\rho_{БПК}$, мгБПК_п/(г·ч), с добавлением “Оксидола”

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

Кинетическая зависимость скорости окисления органических веществ по БПК_п без пробиотика

$$\rho_{БПК} = 4,705 + 0,548 L_{ex} - 0,005 L_{ex}^2, \quad R^2 = 0,934. \quad (9)$$

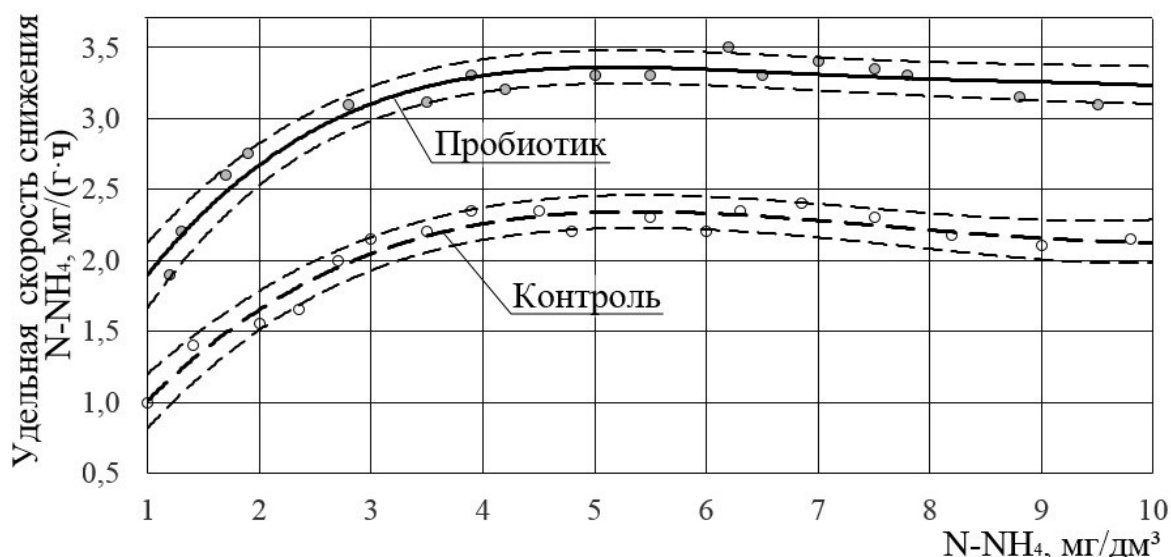


Рисунок 12 – Кинетические зависимости скорости снижения $N-NH_4$

Кинетическая зависимость скорости снижения азота аммонийного ρ_{NH_4} , $mgN/(g \cdot ch)$, с добавлением “Оксидола”

$$\rho_{NH_4} = 1,02 + 1,11 C_{N-NH_4} - 0,166 C_{N-NH_4}^2 + 0,008 C_{N-NH_4}^3, \quad R^2 = 0,930. \quad (10)$$

Кинетическая зависимость скорости снижения азота аммонийного без пробиотика

$$\rho_{NH_4} = 0,161 + 1,01 C_{N-NH_4} - 0,148 C_{N-NH_4}^2 + 0,007 C_{N-NH_4}^3, \quad R^2 = 0,949. \quad (11)$$

Полученные результаты показывают, что скорость окисления органических загрязнений АИ с добавлением “Оксидола” в наиболее “важном” диапазоне L_{ex} – 10...30 mgO_2/dm^3 увеличивается примерно в 1,5 раза по сравнению с базовым вариантом.

Скорость снижения азота аммонийного при его конечной концентрации 1 mg/dm^3 увеличивается на 80% и составляет 1,8 $mgN/(g \cdot ch)$, при конечной концентрации 2 mg/dm^3 увеличение составляет 63%, скорость равна 2,7 $mgN/(g \cdot ch)$.

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

Экономическая эффективность использования “Оксидола” на КОС г. Новоазовска заключается в снижении оплаты налога за сброс загрязняющих веществ в СВ, отмене штрафа за сброс загрязнений в концентрациях, превышающих нормативные значения, снижении затрат на аэрацию СВ и на их обеззараживание.

Суммарный расчетный экономический эффект от введения “Оксидола” за один курортный сезон (вторая половина мая – первая половина сентября) составляет 281 тыс. руб. или 4,64 тыс. долл. США. Расчет выполнен в ценах 2015 г.

В пятом разделе разработана методика расчета технологической схемы очистки СВ курортных населенных пунктов с применением пробиотического препарата “Оксидол” в целях интенсификации первичного отстаивания и биологической очистки. Разработанная методика предусматривает подачу пробиотика перед первичными отстойниками. Последовательность расчета представлена на рисунке 13.

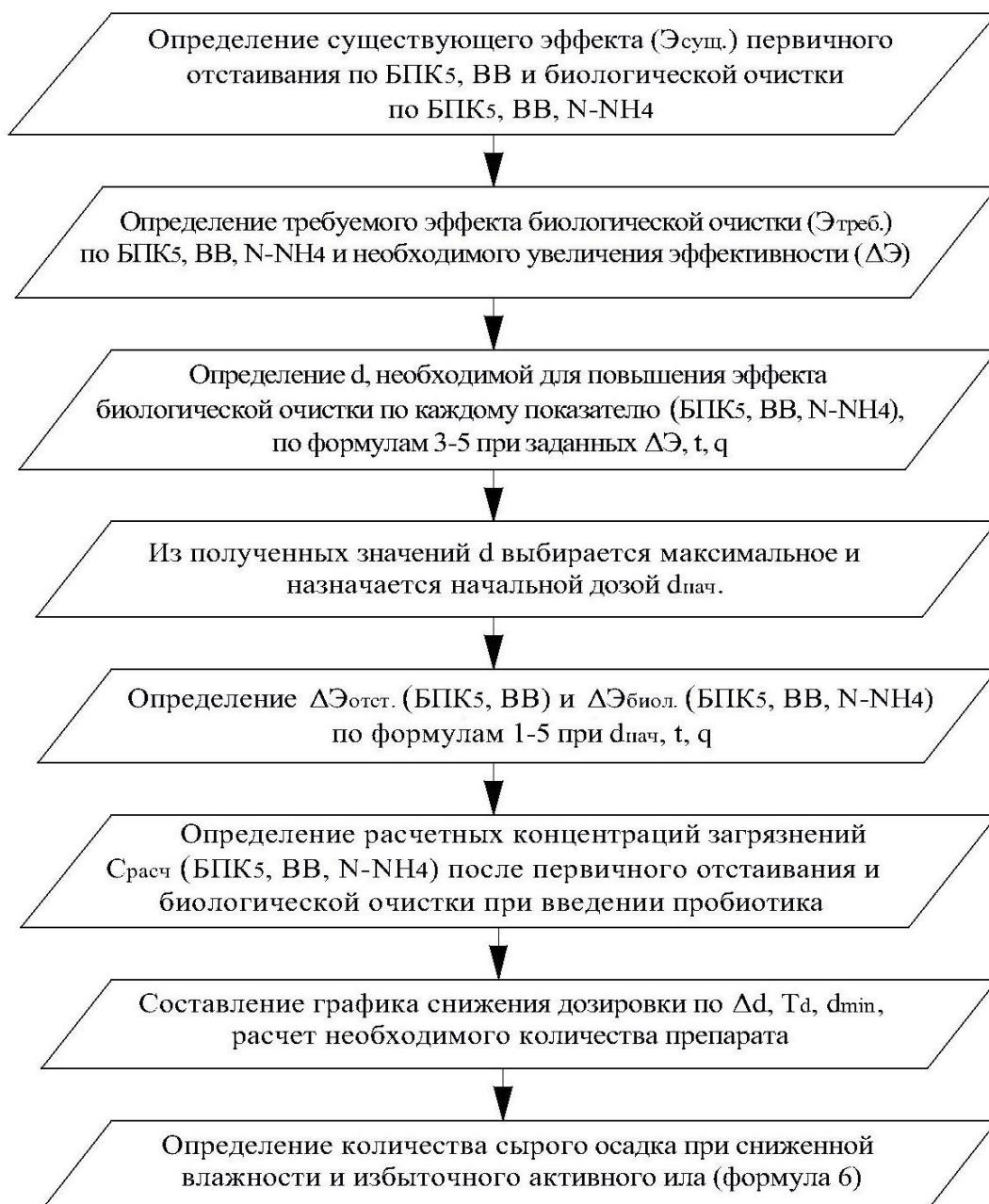


Рисунок 13 – Последовательность расчета технологической схемы очистки СВ с применением пробиотического препарата “Оксидол”

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 (PIR+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 O₂ 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 мгO₂/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 ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН Украины:

1. Маркин, В.В. Особенности основных методов обработки и утилизации осадков бытовых сточных вод [Текст] / В.В. Маркин // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Інженерні системи та техногенна безпека. – Макіївка: ДонНАБА, 2011. – Вип. 2011–5(91). – С. 3–9.

2. **Маркин, В.В.** Утилизация осадков бытовых сточных вод [Текст] / **В.В. Маркин** // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій. – Макіївка: ДонНАБА, 2013. – Вип. 2013–3(101). – С. 138–140.

3. **Маркин, В.В.** Возможности повышения эффективности биологической очистки сточных вод [Текст] / **В.В. Маркин** // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Інженерні системи та техногенна безпека. – Макіївка: ДонНАБА, 2013. – Вип. 2013–5(103). – С. 79–84.

4. **Маркин, В.В.** Возможности интенсификации очистки городских сточных вод с помощью пробиотических средств [Текст] / **В.В. Маркин** // Комунальне господарство міст. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, – 2014. – Вип. 114. – С. 131–135.

5. **Маркин, В.В.** Исследование эффективности обработки сточной воды пробиотическим средством “Биофокс-оксидол” [Текст] / **В.В. Маркин** // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – Макеевка: ДонНАСА, 2015. – Вып. 2015–3(113). – С. 47–49.

6. **Маркин, В.В.** Повышение экологической безопасности и эффективности работы канализационных очистных сооружений с помощью пробиотических средств [Текст] / **В.В. Маркин** // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – Макеевка: ДонНАСА, 2016. – Вып. 2016–3(119). – С. 109–114.

7. **Маркин, В.В.** Математические модели интенсификации процессов механической и биологической очистки сточных вод с помощью пробиотического средства “Оксидол” [Текст] / **В.В. Маркин** // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Инженерные системы и техногенная безопасность. – Макеевка: ДонНАСА, 2016. – Вып. 2016–5(121). – С. 88–94.

- публикации в зарубежных изданиях:

8. Насонкина, Н.Г. Предварительная очистка сточных вод с помощью пробиотических средств [Текст] / Н.Г. Насонкина, **В.В. Маркин** // MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin: Polish Academy of sciences, – 2014. – Vol. 16 – №6. – Р. 125–132. (*Проведены исследования интенсификации очистки сточных вод с помощью пробиотика PIP PLUS WATER*).

- публикации в специализированных научных изданиях с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ):

9. Насонкина, Н.Г. Производственные исследования воздействия пробиотического средства “Оксидол” на процессы очистки сточных вод [Электронный ресурс] / Н.Г. Насонкина, **В.В. Маркин** // Молодой исследователь Дона. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, – 2017. – №4(7). – С. 69–79. – Режим доступа: <http://mid-journal.ru/publications/4-2017>. (*Проведены промышленные испытания пробиотика “Оксидол”*).

- публикации по материалам конференций:

10. **Маркин, В.В.** Исследование способности пробиотического средства PIP WATER PLUS снижать содержание органических веществ в аэробных и анаэробных

условиях и интенсифицировать отстаивание сточной воды [Текст] / **В.В. Маркин** // Збірка тез доповідей IV Міжнар. конф. “Науково-методичне та практичне забезпечення містобудування, територіального і стратегічного планування” (Макіївка, 15–16 травня 2014). – Макіївка: ДонНАБА. – 2014. – С. 27–29.

11. **Маркин, В.В.** Сравнительный анализ влияния различных пробиотических средств на процессы очистки городских сточных вод [Текст] / **В.В. Маркин** // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. докладов X Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (Донецк, 13–14 апреля 2016). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ. – 2016. – С. 87–89.

12. **Маркин, В.В.** Повышение окислительной способности активного ила в результате воздействия пробиотического средства “Оксидол” [Электронный ресурс] / **В.В. Маркин** // Актуальные проблемы развития городов: электронный сб. статей по матер. открытой регион. заочн. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов (Макеевка, 3 марта 2017). – Макеевка: ДонНАСА. – 2017. – С. 534–537. – Режим доступа: http://www.donnasa.ru/publish_house/journals/studconf/2017/Sbornik_PRG_2017.pdf

13. Насонкина, Н.Г. Анализ аварийности водонесущих сетей [Электронный ресурс] / Н.Г. Насонкина, В.Н. Сахновская, **В.В. Маркин** // Яковлевские чтения: сб. докладов XII Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева (Москва, 15–17 марта 2017). – Москва: МГСУ. – 2017. – С. 72–77. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/32393> (*Проанализирована аварийность канализационных и водопроводных сетей в зависимости от срока службы и материала труб*).

14. **Маркин, В.В.** Применение пробиотических препаратов как способ повышения эффективности работы канализационных очистных сооружений курортных зон [Электронный ресурс] / **В.В. Маркин** // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сб. трудов XX Междунар. межвуз. науч.-практ. конф. студ., магистрантов, аспирантов и молодых ученых (Москва, 26–28 апреля 2017). – Москва: МГСУ. – 2017. – С. 1020–1022. – Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/31571>.

15. Насонкина, Н. Г. Стратегия повышения эффективности работы канализационных очистных сооружений курортных зон с помощью пробиотических препаратов [Текст] / Н.Г. Насонкина, **В.В. Маркин** // Технологии очистки воды “ТЕХНОВОД-2017”: матер. X юбилейной Междунар. науч.-практ. конф. (Астрахань, 5–6 октября 2017). – Новочеркасск: Лик. – 2017. – С. 225–230. (*Обосновано применение пробиотических препаратов как наиболее эффективный способ интенсификации очистки сточных вод курортных населенных пунктов*).

- публикации в других изданиях:

16. **Маркин, В.В.** Исследование способности различных пробиотических средств интенсифицировать процессы очистки сточной воды [Текст] / **В.В. Маркин** // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск: ЛГУ им. В. Даля. – 2016. – №2 – С. 84–86.