

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора **Баженова Виктора Ивановича**
на диссертационную работу **Рожкова Виталия Сергеевича** на тему:
**«Очистка сточных вод населенных пунктов в системах с эрлифтными
биореакторами»**

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.4 - водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

Актуальность темы диссертации

Исследования Рожкова В.С. направлены на повышение эффективности удаления органических соединений и биогенных элементов из сточных вод малых и средних населенных пунктов путем использования биореакторов-смесителей с замкнутой вертикальной циркуляцией (эрлифтных биореакторов). Работа обладает **комплексной актуальностью**.

Позиции актуальности диссертационной работы:

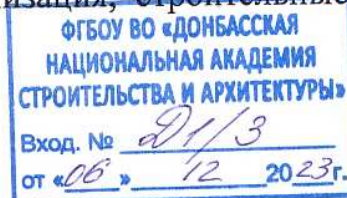
П. 1 – работой предлагаются к внедрению не сложные по конструкции и автоматизации, но энерго- и ресурсо- эффективные в эксплуатации системы биологической очистки сточных вод малых и средних населенных пунктов производительностью до 10 000 м³/сутки с поддержанием требуемого качества очистки сточных вод;

П. 2 – работа связана с современным моделированием технологических процессов и оценкой выполнения сценариев их перспективного развития за счет разработки имитационной модели, адаптированной для условий использования в РФ. С точки зрения ПП РФ №782 от 5 сентября 2013г. «О схемах водоснабжения и водоотведения» подобное направление относится к разработке электронных моделей систем;

П. 3 – работа подтверждает необходимость и рассматривает технологические инструменты перехода действующих сооружений канализации на наилучшие доступные технологии (НДТ);

П. 4 – в первую очередь, работа предполагается к внедрению на освобожденных территориях в ходе Специальной военной операции, поскольку разработка выполнена в тяжелейших условиях на территории ДНР, а рекомендации на проектирование утверждены решением научно-технического совета Минстроя ДНР решением №2 от 12.12.2022 г.

Диссертационная работа Рожкова В.С. по своему содержанию, разработанным положениям, методам исследования соответствует паспорту научной специальности 2.1.4 – «Водоснабжение, канализация, строительные



системы охраны водных ресурсов» в части направлений исследований, представленных выборочно (исходя из работы):

1) математическое моделирование систем водоотведения населенных пунктов с разработкой и реализацией методов оптимизации систем по экономическим, технологическим и экологическим критериям;

3) методы очистки сточных вод, технологические схемы и конструкции используемых сооружений;

8) гидравлические закономерности, определяющие эффективность работы канализационных сооружений и устройств.

Обоснованность и достоверность научных положений диссертационной работы

Достоверность научных положений в представленной работе достигается за счет:

– использования классических методов и методик определения концентраций и расходов;

– использования достаточно современного оборудования для инструментальных исследований с учетом допустимых погрешностей (глава 2);

– достаточного количества экспериментов в лабораторных, полупромышленных, опытно-промышленных и натуральных условиях (глава 3, 4);

– применения общепризнанного подхода к математическому моделированию биохимических процессов в системах с активным илом на основании кинетики ферментативных реакций (глава 3, 4);

– использования обоснованных методик для выполнения экспериментов и математического моделирования;

Обоснованность представленных автором научных положений и результатов определяется достаточным объемом исследований, экспериментов, надежностью использованных методов и методик. Особенностью работы, подтверждающей степень обоснованности, является выполнение специальных исследований при обосновании предлагаемой концепции биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами (БОСЭБ) с симультанными процессами нитри-денитрификации. Поскольку математическое описание гидродинамики сооружения выполнено весьма достоверным методом на основе уравнений Навье-Стокса, то решение аналитической задачи считаю достоверным. Автор выполняет обоснование конструкции предлагаемого сооружения по составным элементам (зоны: насыщения и потребления кислорода, нитри- и денитрификации, вторичное илоразделение) не всегда в полномасштабных условиях, но достоверными методами. Автору также удалось настроить и откалибровать модель собственной разработки ASM3P-2SND, вследствие этого результирующие расчетные данные считаю обоснованными.

Выводы диссертационной работа сделаны на основе анализа полученных экспериментальных данных и методов анализа данных, являются обоснованными и имеют научную и практическую ценность.

Оценка новизны проведенных исследований и полученных результатов

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

1. Разработке метода расчета гидравлических параметров эрлифтных биореакторов, основанном на совместном аналитическом решении уравнений гидродинамики и численном моделировании скоростей в различных точках сооружения.

2. Получении расчетных зависимостей, позволяющих определить коэффициент использования кислорода в биореакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации.

3. Разработке полуэмпирической теории самообновляющегося взвешенного слоя, которая описывает илоразделение в эрлифтном биореакторе с использованием методов численного моделирования гидродинамических процессов.

4. Составлении математической модели активного ила ASM3P-2SND, которая учитывает отдельно нитрат и нитрит, преобразования фосфора при жизнедеятельности ординарных гетеротрофов, автотрофов и денитрификаторов, а также диффузионные ограничения одновременной нитри-денитрификации.

5. Определении зависимости коэффициентов диффузионных ограничений проникновения растворенного органического субстрата и кислорода в хлопок активного ила от глубины эрлифтного биореактора.

6. Установлении граничных возможностей по удалению соединений азота при одновременной нитри-денитрификации в эрлифтных биореакторах в зависимости от соотношения БПК:N в исходном стоке.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Значительной теоретической и практической значимостью обладают полученные расчетные зависимости, описывающие гидродинамические процессы в эрлифтных биореакторах со встроенным вторичным илоразделением (осветление во взвешенном слое активного ила); разработанная математическая модель активного ила ASM3P-2SND, учитывающая преобразования биогенных элементов и диффузионные ограничения при одновременной нитри-денитрификации; расчетные зависимости, описывающие степень использования кислорода воздуха при затопленной эрлифтной системе аэрации; предложенные зависимости для определения «мнимой» гидравлической крупности частиц ила, выносимых из самообновляющегося взвешенного слоя.

Основные результаты работы использованы при разработке:

- рабочего проекта станции очистки сточных вод,
- рекомендаций на проектирование и расчет систем биологической очистки городских сточных вод с эрлифтными биореакторами, утвержденных Научно-техническим Советом Минстроя ДНР (решение №2 от 12.12.2022г.). Это подтверждает готовность Минстроя ДНР осуществлять внедрение научной разработки на освобожденных территориях.

Практическая значимость подтверждается 4 актами внедрения, решением Научно-технического совета Минстроя ДНР, заключением Службы государственной строительной экспертизы ДНР, наличием иностранного (Украина) патента.

Публикации результатов диссертации и их апробация

Материалы диссертационной работы опубликованы в 22 научных работах, из которых 13 статей в журналах из перечня ВАК, 2 публикации в журналах, индексируемых международной базой Scopus, Web of Science. Таким образом, общее число публикаций является достаточным для раскрытия содержания исследования и защиты диссертационной работы. Результаты работы представлены автором на международных и всероссийских конференциях (11 ед.).

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация Рожкова В.С. состоит из введения, шести глав, списка литературы, приложений. Диссертация содержит 298 страниц, в том числе 221 страница основного текста, 27 страниц списка использованной литературы и 50 страниц приложений, 46 таблиц, 94 рисунка и 5 приложений.

Диссертация написана последовательно, логично и позволяет получить полное представление о материалах исследования.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, приведены основные научные положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

В **первой главе**, на основании литературных источников, приведен анализ требований к качеству очистки сточных вод населенных пунктов, выполнен критический обзор существующих подходов и технологических схем биологической очистки с активным илом. Здесь же выполнен обзор существующих в мировой практике моделей для математического описания биологических процессов в очистке сточных вод.

Во **второй главе** представлены основные гипотезы предлагаемой автором концепции биологической очистки с эрлифтными биореакторами (БОСЭБ),

подтверждение которых непосредственно связано с задачами исследований. Приведены основные способы решения поставленных задач, которые включают теоретические и экспериментальные методы научных исследований (имитационное моделирование, экспериментальные исследования различного масштаба с инструментальными измерениями и химическими анализами).

В третьей главе приведено всестороннее научное обоснование основных положений концепции очистки сточных вод с использованием эрлифтных биореакторов. Приведены результаты лабораторных экспериментов по определению основных параметров аэрации и степени использования кислорода воздуха в сооружениях с затопленной эрлифтной аэрации. Предложен подход к описанию вертикальной циркуляции в таких сооружениях, основывающийся на численном решении уравнений Навье-Стокса. Предложенный метод решения гидродинамических задач, совместно с результатами приведенных полупромышленных испытаний, позволил сформулировать полуэмпирическую теорию самообновляющегося взвешенного слоя в эрлифтном биореакторе. В этой главе также описаны основные положения предлагаемой автором модели для имитационного моделирования биологической очистки ASM3P-2SND.

В четвертой главе приведено описание и результаты опытно-промышленных и натурных испытаний как предложенной технологии, так и разработанной модели активного ила ASM3P-2SND. В натуральных условиях на действующем аэротенке с затопленной эрлифтной системой аэрации выполнено экспериментальное обоснование предложенной модели активного ила с использованием положений численного моделирования гидродинамики вертикальной циркуляции и аэрации в затопленном эрлифте. Разработана методика проверки на сходимость, настройки и калибровки имитационной модели в программной среде CellDesigner. В опытно-промышленных условиях исследованы как процессы биологической очистки, так и осветления в самообновляющемся взвешенном слое. Определена сходимость результатов экспериментальных исследований и расчетов по предложенным в главе 3 зависимостям, которую можно считать достаточной для инженерных расчетов.

В пятой главе, с использованием полученных зависимостей и методов имитационного моделирования определены границы применения схем биологической очистки в рамках технологии БОСЭБ. Для различных значений БПК₅:N и БПК₅:P рекомендованы схемы из одного эрлифтного биореактора, либо с включением процесс бескислородных реакторов.

В шестой главе приведена оценка технико-экономической эффективности предложенной технологии БОСЭБ в сравнении со схемами-аналогами для различной производительности сооружений. Оценка выполнена по стоимости жизненного цикла и указывает на большую эффективность разработанных решений относительно модифицированной Кейптаунской схемы и SBR-процесса.

В заключительных выводах приведены основные научные результаты проведенных исследований. Выводы включают как технологические, так и технико-экономические аспекты разработанных решений.

Дополнительно главы 1, 3-6 содержат собственные выводы. Результаты в полной степени достоверны, обоснованы теоретическими расчетами и экспериментальными исследованиями, сопровождаются в нужной степени схемами, графиками, таблицами и фотографиями.

Результаты и основные положения диссертации соответствуют названию, цели, задачам работы и могут быть использованы для решения задач повышения эффективности биологической очистки сточных вод в соответствующих областях знаний.

Автореферат диссертации Рожкова В.С. «Очистка сточных вод населенных пунктов в системах с эрлифтными биореакторами» включает основные положения и результаты исследования и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Степень завершенности диссертации и качество ее оформления

Представленная Рожковым В.С. диссертация является завершенным научным исследованием. Работа логически выстроена, развивается от основной концепции к гипотезам с их методичным обоснованием, что позволяет говорить о системном подходе к решению задач. Материал изложен грамотным техническим языком, оформление соответствует ГОСТ Р 7.011-2011, структура диссертации выполнена по классической логике последовательного изложения. Элементы оформления работы (графики, чертежи, рисунки, фото) выполнены достаточно детально, четко и ясно.

Вопросы и замечания к работе

1. Из работы не ясно каким образом использовался при имитационном моделировании модуль Bio-P. Если в классическом виде, то в него следовало бы также ввести диффузионные ограничения, приведенные на рис. 3.17 (стр. 143). Кроме того, в классическом виде Bio-P не учитывает разделения окисленных форм азота на нитрат и нитрит.

2. Предлагаемую модель активного ила ASM3P-2SND целесообразно было бы доработать в перспективе относительно элементов:

– расширения теоретического описания предлагаемой модели, представленного в Главе 3;

– более детального описания вопросов участия нитратов и нитритов в рассматриваемых биохимических процессах;

– апробации на действующих канализационных очистных сооружениях другого типа (без одновременной нитри-денитрификации) любой производительности.

3. Опыты по определению заключительного качества очистки – концентрации взвешенных веществ водах от интенсивности аэрации (стр. 83, табл. 4.18) следовало бы выполнять подробнее, с методическим обоснованием и учетом илового индекса, как параметра, характеризующего окончательную завершающую стадию работы зоны осветления.

4. Автор не ставил задач автоматизации процессов. Тем не менее, какие параметры контроля целесообразно использовать в системе АСУ с логическими контроллерами для формирования технологических воздействий на разработанную установку БОСЭБ и какого рода воздействий?

5. Согласно представленной методике проверки на сходимость, настройки и калибровки имитационной модели в программной среде CellDesigner (рисунки 4.9, 4.10), предложенный метод моделирования не адаптирован к работе в условиях суточных колебаний концентраций загрязняющих веществ в исходном стоке. Для станций малой и средней производительности этот фактор может стать весьма значимым и затруднить использование предложенной методики.

6. Приведенная на стр. 192 система 5.1 не является решаемой для определенного диапазона ХПК и БПК исходных сточных вод, в связи с чем ее применение даже для предварительного фракционирования ХПК невозможно. Сведения о фракционировании ХПК представлены на страницах диссертации 145, 154, 193 хаотично. Значимость параметра требует более внимательного учета и методического подхода при его описании. Ведь этот параметр используется Вами как исходный, при имитационном моделировании технологических процессов.

7. Поясните пожалуйста, что Вы имели в виду под термином «кинетика Моно» (стр. 95, 136).

8. При определении стоимости строительства по укрупненным показателям (таблица 6.3., стр. 205-207) при производительности 10.000 м³/сут отсутствует первичное отстаивание. Отказ от первичного осветления сточных вод влечет за собой существенный рост энергозатрат и увеличение объема образующегося осадка, поэтому целесообразно было бы включить дополнительный вариант с первичным отстаиванием в расчеты стоимости жизненного цикла.

9. К работе имеются замечания редакционного характера: в приложениях А, Б, В, Д отсутствует нумерация страниц; главы 5,6 не раскрыты в содержании (стр. 4); сбита нумерация подразделов (1.2.2.3 – стр. 52 далее сбивка 1.2.4 – стр. 54, 1.2.4.1 – стр. 55).

Сформулированные замечания не влияют общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Рожкова В.С. «Очистка сточных вод населенных пунктов в системах с эрлифтными биореакторами», является законченной научно-квалификационной работой, содержащей научную новизну и выполнена на достаточно высоком научном и техническом уровнях. Решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение.

Диссертация соответствует предметной области научной специальности – 2.1.4 - водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки), пункты 1 (выборочно), 3, 8.

По актуальности, научной новизне, объему исследований, теоретической и практической значимости полученных результатов диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с п.9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., а ее автор, Рожков Виталий Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент:
Доктор технических наук,
Специальность 03.00.23 –
Биотехнология



Баженов Виктор Иванович
«05» декабря 2023 г.

Исполнительный директор, АО «Водоснабжение и водоотведение»;
руководитель секции ЭТС РАВВ «Энергоэффективность сооружений и систем
водоснабжения и водоотведения».

115054, г. Москва, Большой Строченовский переулок, дом 7, ЭТ/ПОМ/КОМ
8/XV/1e

Тел: +7 (926) 523-66-22, e-mail: bazhenov@pump.ru

Я, Баженов Виктор Иванович, даю согласие на включение своих персональных
данных в документы, связанные с защитой диссертации Рожкова Виталия
Сергеевича, и их дальнейшую обработку.

«05» декабря 2023 г.



/Баженов Виктор Иванович/

Подпись Баженова В.И. заверяю.

Зам. Генерального директора Н. С. Березина

«05» декабря 2023 г.

