

УТВЕРЖДАЮ
проректор по науке и
инновациям ФГБОУ ВО
"Воронежский
государственный технический
университет",
доктор технических наук

Башкиров А.В.

2023 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет" 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.

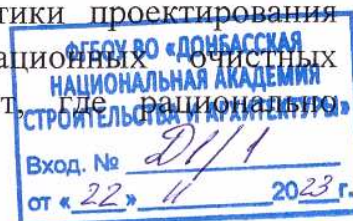
Для рецензирования диссертационной работы в виде отзыва соискателем были представлены все необходимые материалы в печатном и электронном виде, а именно:

- Текст диссертационной работы, состоящей из введения, шести глав, заключительных выводов, списка литературы и приложений, содержит 298 страниц текста, включая 46 таблиц, 94 рисунка и 5 приложений.
- Автореферат объемом 44 страницы.

1. Актуальность темы исследования

Комплекс исследований Рожкова В.С, обобщенных в его докторской диссертации, представляет из себя предложения, позволяющие повысить технико-экономическую эффективность внедрения наилучших доступных технологий для очистки городских сточных вод малых и средних населенных пунктов. Исследования направлены на сокращение строительных объемов сооружений канализации, минимизацию затрат на эксплуатацию станций биологической очистки за счет организации процессов одновременной нитрификации и илоразделения в самообновляющемся взвешенном слое в биореакторах нового типа.

Такой подход представляет интерес для практики проектирования нового строительства и реконструкции канализационных очистных сооружений производительностью до 10.000 м³/сут, где рационально



использованы аэротенки-смесители в качестве основных биореакторов. Как реализация процесса одновременной нитри-денитрификации, так и отказ от вторичного отстойника как отдельного сооружения, позволяют добиться минимизации затрат на очистку сточных вод.

Такая постановка задач исследований является актуальной.

2. Структура и содержание работы

В соответствии с целями работы, диссертация достаточно четко структурирована от постановки задач до рекомендаций на применение предложенных решений.

В *первой главе* диссертации приведен обзор научных трудов и состояния вопросов определения необходимой степени удаления загрязняющих веществ из сточных вод населенных пунктов, существующих методов и технологических схем биологической очистки, описания биохимических процессов очистки. Указаны недостатки существующих схем с гравитационным вторичным отстаиванием, при котором возможно вторичное загрязнение уже очищенных сточных вод. Кроме того, на основании анализа распространенных в мировой практике математических моделей активного ила, намечены пути совершенствования подходов моделирования за счет разделения окисленных форм азота на нитрат и нитрит, учета диффузионных ограничений для одновременной нитри-денитрификации.

Во *второй главе* автором сформулированы основные задачи теоретических и экспериментальных исследований, а также приведен методологический инструментарий решения указанных задач. К нему относятся как теоретические методы (имитационные моделирование, обработка экспериментальных данных в специализированных программных комплексах), так и экспериментальные исследования на модельных и натурных установках биологической очистки сточных вод.

В *третьей главе* сформулирована и научно обоснована основная концепция работы – биологическая очистка сточных вод с эрлифтными биореакторами (БОСЭБ).

В рамках обоснования научных гипотез, составляющих концепцию, автором выполнены теоретические и экспериментальные исследования. Для описания гидродинамики эрлифтного биореактора, использовались методы численного решения уравнений Навье-Стокса совместно с аналитическим решением интеграла Бернулли. В результате создана гидродинамическая модель эрлифтного биореактора. Полученная модель использована и дополнена рядом эмпирических зависимостей, полученных в лабораторных и полупромышленных условиях, что позволяет в полной мере обосновать все аспекты работы эрлифтных биореакторов.

В *четвертой главе* приведены результаты опытно-промышленных и натурных экспериментов, направленных на подтверждение и уточнение

полученных зависимостей и моделей биологической очистки сточных вод в системах с эрлифтными биореакторами. Полученные результаты характеризуются достаточной сходимостью.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, в *пятой главе* приведены обобщенные данные об области применения предложенной технологии, а также рекомендации для проектирования систем БОСЭБ. При этом использовались методы имитационного моделирования на основе предложенной автором модели активного ила ASM3P-2SND.

Шестая глава посвящена оценке технико-экономической эффективности предложенных решений, выполнено сравнение технологии БОСЭБ с аналогами по стоимости жизненного цикла. Приведены данные о внедрении эрлифтных биореакторов в проектируемые сооружения очистки сточных вод малой производительности.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов не вызывает сомнения, исходя из приведенных в работе теоретических и эмпирических результатов, подтвержденных их сходимостью. Данные численных и аналитических расчетов сопоставимы с данными экспериментальных исследований (лабораторных, полупромышленных, опытно-промышленных, натурных).

Тематика диссертационных исследований соответствует паспорту специальности 2.1.4 - водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов, а именно в части:

- методы очистки природных и сточных вод, технологические схемы и конструкции используемых сооружений, установок, аппаратов и механизмов;
- гидравлические закономерности, определяющие эффективность работы водопроводных и канализационных сооружений и устройств, их отдельных элементов, систем водоподачи и водоотведения.

Все положения, выносящиеся на защиту, получены либо автором, либо под его руководством. В работах, опубликованных в соавторстве, личное участие автора заключается в определении целей, постановке задач, теоретическом обосновании и анализе результатов исследований.

Методологические основы настоящей работы базируются на применении известных теорий и опыте предыдущих исследований в области очистки городских сточных вод.

4. Научная новизна.

Научная новизна данной работы состоит в следующем:

- разработан метод расчета гидравлических параметров эрлифтных биореакторов с затопленной эрлифтной системой аэрации, основанный на совместном аналитическом решении уравнений гидродинамики и численном моделировании скоростей в сооружении;
- получены расчетные зависимости, позволяющие эмпирически определить коэффициент использования кислорода в биореакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации;
- разработана полуэмпирическая теория самообновляющегося взвешенного слоя эрлифтного биореактора, которая позволяет описать илоразделение в эрлифтном биореакторе с привязкой к гидродинамическим параметрам сооружения;
- представлена математическая модель активного ила ASM3P-2SND, которая учитывает отдельно преобразования нитрата и нитрита, а также преобразования фосфора при жизнедеятельности ординарных гетеротрофов, автотрофов и денитрификаторов, диффузионные ограничения при одновременной нитри-денитрификации;
- установлена тенденция зависимости коэффициентов диффузионных ограничений проникновения растворенного органического субстрата и кислорода в хлопок активного ила от глубины эрлифтного биореактора, что позволяет наметить основные гипотезы дальнейших исследований в этом направлении;
- описаны граничные возможности по удалению соединений азота при одновременной нитри-денитрификации в эрлифтных биореакторах в зависимости от соотношения БПК:N в исходном стоке.

5. Научная и практическая ценность диссертации

Научная значимость работы заключается в:

- получении актуальных расчетных закономерностей на базе численных методов, описывающих гидродинамические процессы в эрлифтных биореакторах со встроенным вторичным илоразделением;
- разработке математической модели активного ила ASM3P-2SND, которая учитывает преобразования биогенных элементов и диффузионные ограничения при одновременной нитри-денитрификации;
- расчетных зависимостях, описывающих степень использования кислорода воздуха при затопленной эрлифтной системе аэрации;
- зависимостях для определения «мнимой» гидравлической крупности частиц ила, выносимых из самообновляющегося взвешенного слоя для определения максимальных скоростей в осветлителе.

Практическая значимость работы состоит в:

- усовершенствованной методике расчета систем биологической очистки с

применением моделирования биохимических процессов в системах с активным илом ASM3P-2SND;

– методике проверки на сходимость, настройки и калибровки предложенной модели ASM3P-2SND с помощью вычислительных средств программного комплекса CellDesigner;

– рекомендациях на проектирование и расчет систем биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами для малых и средних населенных пунктов.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Предложенные научные основы проведения одновременной нитри-денитрификации и илоразделения в самообновляющемся взвешенном слое создают новое направление в области создания инженерных систем биологической очистки в аэротенках-смесителях для малых и средних населенных пунктов, которые значительно отличаются от существующих подходов.

Совместное численное решение уравнений Навье-Стокса для таких сооружений и эмпирические данные по осветлению во взвешенном слое активного ила позволяют по-новому управлять процессами вторичного илоразделения при биологической очистке сточных вод в аэротенках-смесителях.

Предложенная модель активного ила ASM3P-2SND позволяет расширить подход биохимического моделирования систем с активным илом на системы с одновременной нитри-денитрификацией и учесть контролируемые в РФ технологические показатели (в отличие от существовавших ранее систем – разделены окисленные формы азота на нитрат и нитрит).

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Результаты работы следует использовать в учебном процессе, так как они уточняют и расширяют ранее представленный только эмпирическими зависимостями подход к описанию процессов симультанной нитри-денитрификации в аэротенках-смесителях. Основные положения диссертационной работы также формируют представление о самообновляющемся взвешенном слое активного ила, что пока широко не представлено в образовательном процессе.

Основное назначение представленных результатов диссертационной работы – использование при проектировании и в программных комплексах, выполняющих имитационное моделирование систем биологической очистки с одновременной нитри-денитрификацией.

Выводы, приведенные в диссертации, позволяют по-новому взглянуть на традиционные методы очистки сточных вод малых и средних населенных пунктов, обозначить пути повышения технико-экономической эффективности на наилучшие доступные технологии в этой области.

8. Замечания

1. Область применения предложенной технологии не увязана с тенденциями изменения качества городских сточных вод. В работу следовало включить данные о фактическом соотношении БПК:N:P малых и средних населенных пунктов РФ для оценки перспективной области внедрения.

2. Приведенные в диссертационной работе схемы эрлифтного биореактора (стр. 84, 87, 90) не дают понимания о точке подачи стока на очистку, что важно для аэротенка-смесителя. Показанная на рис. 3.1 (стр. 104) подача стока, согласно приведенному на этом же рисунке потокораспределению, не влияет на него и, видимо, не учитывается при гидродинамическом расчете.

3. На рисунке 3.6. (стр. 111) в интерфейсе программы численного моделирования использованы параметры «плотность циркуляционного расхода жидкости в зоне аэрации» и «плотность расхода жидкости на входе и выходе из осветлителя». Кроме того, что в гидродинамике (и в физике в общем) термин «плотность» имеет однозначное толкование, единица измерения предложенных величин идентична скорости (мм/с). Отсюда не ясно, к скорости в каком сечении приведен искомый и задаваемый расходы.

4. На рис. 1.3. приведена диаграмма требований к современным станциям очистки сточных вод, составленная на основании литературного обзора. Из последующих разделов не ясно, насколько предложенная технология отвечает указанным требованиям.

5. В работе не раскрыт вопрос области применения и эффективности третичного отстаивания сточных вод гравитационными методами, что, согласно положениям раздела 1.2.4.2 и 2.1, может быть использовано при реконструкции действующих сооружений в предлагаемую технологию БОСЭБ.

Приведенные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Результаты исследований достаточно полно освещены в публикациях и доложены на различных конференциях.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации. Диссертационная работа Рожкова В.С. изложена ясно и точно.

9. Заключение

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Рожкова Виталия Сергеевича на тему «Очистка сточных вод населенных пунктов в системах с эрлифтными биореакторами» является завершённой

научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической значимостью. Научные положения, выводы и рекомендации работы имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли. Диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней») для диссертаций, представленных на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Рожков Виталий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.4 - водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет». Протокол заседания № 3 от «10» октября 2023 г.

И.о. заведующего кафедрой гидравлики,
водоснабжения и водоотведения
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Воронежский
государственный технический университет»,
канд. техн. наук, доцент

Журавлева
Ирина Владимировна



Профессор кафедры гидравлики,
водоснабжения и водоотведения
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Воронежский
государственный технический университет»,
доктор техн. наук, профессор

Щербаков
Владимир Иванович



Адрес: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84
Телефон: +7 (473) 207-22-20
E-mail: rector@cchgeu.ru

Подпись Журавлевой И.В.,
Щербакова В.И. заверяю:

