

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Андреева Сергея Юрьевича на диссертационную работу Рожкова Виталия Сергеевича на тему: «Очистка сточных вод населенных пунктов в системах с эрлифтными биореакторами», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.4 - водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Рожкова В.С. посвящена актуальной теме, связанной с охраной водных источников от загрязнения сточными водами населенных пунктов. Согласно официальной статистике, около 70% очистных станций хозяйственно-бытовой канализации в Российской Федерации не выполняют требования по качеству очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы. Это связано как с износом основных фондов предприятий водопроводно-канализационного хозяйства, так и с ужесточившимися за последние десятилетия требованиями к качеству очистки. Особенно остро этот вопрос стоит для станций производительностью до $10.000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ (малые и средние очистные сооружения) – они зачастую состоят на балансе коммунальных предприятий небольших населенных пунктов и нуждаются во внедрении решений, не требующих существенных затрат и позволяющих интенсифицировать процессы биологической очистки сточных вод.

Автору удалось решить поставленную задачу за счет реализации комплекса оригинальных технологических приемов, используемых при разработке новой конструкции эрлифтного биореактора.

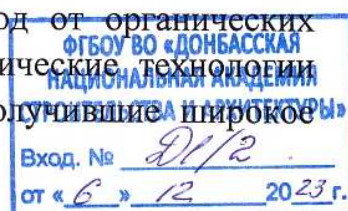
Структура и содержание работы

Диссертация написана чётким, грамотным и доступным для специалистов языком. Научные положения работы, её методические аспекты, выводы и рекомендации строго аргументированы, четко и ясно оформлены.

Содержание работы изложено на 298 страницах, в том числе 221 страницы основного текста, 46 таблиц, 94 рисунка и 5 приложений.

Во *введении* обосновывается актуальность работы, формулируется цель и определяются задачи диссертационного исследования, показывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В *первой главе* на основе изучения литературных источников дается подробный анализ вопроса очистки городских сточных вод от органических загрязнений и биогенных элементов. Отмечено, что классические технологии полной биологической очистки городских сточных вод, получившие широкое



распространение на действующих станциях биологической очистки не способны обеспечить выполнение современных требований, предъявляемых к качеству очищенных сточных вод. Признана целесообразность разработки новых технологических решений, позволяющих повысить эффективность процесса удаления из сточных вод органических загрязнений и биогенных элементов на станциях биологической очистки малой и средней производительности.

Во *второй главе* рассматривается конструкция нового типа биореактора с затопленной системой аэрации.

В *третьей главе* приводится комплексное научное обоснование предлагаемой концепции биологической очистки сточных вод в эрлифтных биореакторах с затопленной системой аэрации, позволяющей осуществить в одном сооружении одновременное протекание процессов нитри-денитрификации и илоразделения во взвешенном слое активного ила. Предложена зависимость для определения величины коэффициента использования кислорода воздуха в эрлифтных биореакторах, которая расширяет область применения известных закономерностей для определения значения SOTE на сооружениях с затопленной аэрацией.

В *четвертой главе* приводятся результаты теоретических и опытно-промышленных исследований процессов биологической очистки городских сточных вод в эрлифтных биореакторах. В результате проведенных исследований определены основные параметры процессов биологической очистки сточных вод от органических загрязнений и биогенных элементов.

В *пятой главе* обоснована область применения различных технологических схем, предложенных в рамках концепции БОСЭБ, а также приведены рекомендации на проектирование таких систем. Установленные методом имитационного моделирования предельные соотношения БПК₅:N, конечно, несколько условны, однако могут быть использованы для предварительной оценки возможности применения той или иной схемы биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами.

В *шестой главе* выполнена оценка технико-экономической эффективности предложенных решений по сравнению с аналогичными по качеству очистки технологиями. Стоимость жизненного цикла рассчитана для станций производительностью 10.000 и 1.000 м³/сут. В первом случае за базовый вариант принята модифицированная Кейптаунская схема со вторичными отстойниками, во втором – SBR процесс. Стоимость жизненного цикла сооружений по технологии БОСЭБ оказалась ниже, чем у базового варианта.

В *заключительных выводах* представлены итоги диссертационного исследования, которые отвечают поставленным перед данной работой целям и задачам.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертанта базируется на весьма обширных систематических исследованиях, проведенных в лабораторных и промышленных условиях. Достоверность результатов научных исследований подтверждается сопоставимостью результатов, полученных на моделях с результатами, полученными при промышленных исследованиях.

Научная новизна работы заключается следующем:

- разработан метод расчета гидравлических параметров эрлифтных биореакторов, основанный на совместном аналитическом решении уравнений гидродинамики и численном моделировании скоростей в различных точках сооружения;
- получены расчетные зависимости, позволяющие определить коэффициент использования кислорода в биореакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации;
- разработана полуэмпирическая теория самообновляющегося взвешенного слоя, которая описывает илоразделение в эрлифтном биореакторе с использованием методов численного моделирования гидродинамических процессов;
- составлена математическая модель активного ила ASM3P-2SND, которая учитывает отдельно преобразования нитрата и нитрита при жизнедеятельности ординарных гетеротрофов, автотрофов и денитрификаторов, а также диффузионные ограничения одновременной нитри-денитрификации;
- установлена зависимость коэффициентов диффузионных ограничений проникновения растворенного органического субстрата и кислорода в хлопок активного ила от глубины эрлифтного биореактора;
- установлены граничные возможности по удалению соединений азота при одновременной нитри-денитрификации в эрлифтных биореакторах в зависимости от соотношения БПК:N в исходном стоке.

Теоретическая значимость работы

1. Получены расчетные зависимости, описывающие гидродинамические процессы в эрлифтных биореакторах со встроенным вторичным илоразделением.
2. Разработана математическая модель активного ила ASM3P-2SND, учитывающая преобразования биогенных элементов и диффузионные ограничения при одновременной нитри-денитрификации.
3. Получены расчетные зависимости, описывающие степень использования кислорода воздуха при затопленной эрлифтной системе аэрации через величину эжекционной добавки к скорости всплытия пузырька.

4. Предложены зависимости для определения «мнимой» гидравлической крупности частиц ила, выносимых из самообновляющегося взвешенного слоя при определении максимальных скоростей в осветлителе.

Практическая значимость результатов исследований

1. Предложен усовершенствованный метод расчета систем биологической очистки с применением моделирования биохимических процессов в системах с активным илом ASM3P-2SND.

2. Разработана методика проверки на сходимость, настройки и калибровки предложенной модели ASM3P-2SND с помощью вычислительных средств программного комплекса CellDesigner.

3. Разработаны рекомендации на проектирование и расчет систем биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами для малых и средних населенных пунктов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности научных положений, рекомендаций и выводов обеспечена применением стандартных методик при выполнении химических анализов сточных вод и иловых смесей, использованием фундаментальных законов гидродинамики, всемирно признанных подходов к описанию биохимических процессов в системах с активным илом. Постановка и методы решения задач учитывают закон сохранения массы, общепринятые положения гидравлики и не противоречат известным аналитическим, экспериментальным результатам. Выводы подтверждаются сравнением экспериментальных и расчетных величин.

Замечания

1. В работе не верно использован термин «сверхзамедленной съемки» (стр. 9, 86) с указанием частоты 960 кадров/с. Данная частота кадров соответствует сверхускоренной съемке с возможностью получения, в свою очередь, сверхзамедленного видео.

2. На стр. 115 автором утверждается, что зависимость 3.17 определяет величину коэффициента использования кислорода с достаточной для инженерных расчетов точностью. Хотя это действительно так, диссертационное исследование инженерным расчетом не является и было бы верно применить более точные зависимости, учитывающие истощение газовой среды пузырька воздуха по мере всплытия.

3. На стр. 122 указано, что приведенная скорость всплытия пузырька воздуха определялась методом перебора. Как известно, точность метода равномерного

поиска определяется интервалом неопределенности, зависящем от шага перебора. Ни шаг, ни диапазон перебора в работе не указаны, что затрудняет оценку адекватности предложенной зависимости 3.24.

4. На стр. 126 отмечено, что в контексте работы эрлифтных биореакторов, зависимости 3.26 – 3.30 нуждаются в уточнении. Видимо, результатом такого уточнения, является уравнение 3.32, однако, оно является полностью эмпирическим. Отсюда возникает вопрос о необходимости приведенных уравнений 3.26 – 3.30.

5. На страницах 164, и ниже – стр. 182, приведены значения «точности модели». В работе отсутствует описание по каким параметрам рассчитывалась указанная точность. Например, расчет по приведенным на рисунках 4.27 – 4.31 параметрам дает меньшую точность модели, чем указана на стр. 182.

6. Стоимость жизненного цикла предложенной технологии определена при тарифной сетке для строительных, монтажных и ремонтных работ 25.000 руб. (стр. 214, приложение Г), что было актуально в 2022 г. В то же время, сама работа и часть исследований в ней (таблица 4.2, стр. 155) датированы 2023-м годом. Исходя из этого, следовало актуализировать технико-экономические показатели состоянием на текущий год.

7. Имеется ряд редакционных замечаний:

7.1. Рисунки 4.2 (стр. 150), 4.19 (стр. 171), 4.20 (стр. 172), 4.21, 4.22 (стр. 173), 4.23 (стр. 174) не сбалансированы по яркости и трудно читаемы.

7.2. Не корректно расположен номер страницы (стр. 58, 92, 118, 123, 141, 142, 144, 148, 155, 168, 204-206, 210, 212, все приложение Г).

7.3. В приложениях А, Б, В, Д отсутствует нумерация страниц.

Выявленные недостатки не снижают общий высокий уровень выполненного диссертационного исследования. В нем четко поставлены и решены основные задачи, сделанные выводы отражают суть выполненной работы. Автореферат диссертации Рожкова Виталия Сергеевича «Очистка сточных вод населенных пунктов в системах с эрлифтными биореакторами» достаточно полно отражает содержание диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Рожкова Виталия Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей новые технологические и технические решения в области очистки сточных вод, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация на тему «Очистка сточных вод населенных пунктов в системах с эрлифтными биореакторами» отвечает 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.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»

Андреев Сергей Юрьевич



« 05 » 12 2023г

Адрес: 440028, РФ, г. Пенза,
ул. Германа Титова, 28
Тел.: +7 (8412) 49-72-77
E-mail: andreev3007@rambler.ru



Получено 05.12.2023
Подпись *Андреев с.ю*
ЗАВЕРЯЮ
Должность: канцелярией



Я, Андреев Сергей Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Рожкова Виталия Сергеевича, и их дальнейшую обработку.

«05» декабря 2023 г.



/Андреев Сергей Юрьевич/



Андреев С.Ю.
однись *Заведующий*
И.А. Карелин
05.12.2023