

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ХИМИЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Гомель, 26 марта 2024 г.)

Под общей редакцией доктора технических наук,
профессора *Е. Ф. КУДИНОЙ*

Гомель 2024

УДК 628:543.3
ББК 38.761
В62

Редакционная коллегия:
Е. Ф. Кудина (отв. редактор), **О. К. Новикова** (зам. отв. редактора)
А. М. Ратникова (отв. секретарь)

Рецензенты:
д-р техн. наук, профессор *А. С. Неверов* (БелГУТ),
гл. инженер *В. Н. Грибанов* (ГП «Гомельводоканал»)

Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар.
В62 науч.-практ. конф. (Гомель, 26 марта 2024 г.) / М-во трансп. и коммуникаций
Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Е.Ф. Кудиной – 189с.
ISBN 978-985-891- 168-3

Представлены материалы докладов по развитию систем водоснабжения и водоотведения, процессам водоподготовки с использованием инновационных технологий по обезжелезиванию и обеззараживанию питьевой воды. Рассматриваются вопросы рационального использования водных ресурсов, очистки сточных вод и цифровизации водоканалов, а также экологические аспекты состояния окружающей среды и вопросы управления водными ресурсами.

Для широкого круга читателей.

УДК 628:543.3
ББК 38.761

ISBN 978-985-891-168-3

© Оформление. БелГУТ, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Пленарные доклады

<i>Григорьева А. Н.</i> К выбору типа и частоты вращения мешалки для эффективного перемешивания флокулянтов в воде.....	6
<i>Лисица Е. А.</i> Проблематика проектирования канализационных очистных сооружений.....	10
<i>Портной Е. Е.</i> Модель «Старый город – новый сад» для проведения архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий.....	12
<i>Савич В. В., Вербицкий Д. Ю., Голодок Р. П., Никитина И. А., Пилиневич Л. П., Тарайкович А. М.</i> Пористые материалы фильтров и аэраторов для очистки воды разными методами.....	16
<i>Степанов С. В., Харьковина О. В., Авдеенков П. П., Лазунин М. В.</i> Программное обеспечение для моделирования процессов биологической очистки сточных вод в аэротенках.....	24

Секция I Водоснабжение и водоотведение

<i>Волчек А. А.</i> Использование водных ресурсов Белорусского Полесья.....	28
<i>Волчек А. А., Образцов Л. В., Шведовский П. В.</i> Согласование интересов экологии и строительства при реконструкции объектов коммунального хозяйства.....	32
<i>Грищенко А. В.</i> Оценка эффективности работы очистных сооружений г. Котласа....	37
<i>Дубенок С. А., Шавейко К. Н.</i> Внедрение принципов «синей» инфраструктуры в Республике Беларусь.....	40
<i>Дунин Я. А.</i> Инновационные технологии в очистке сточных вод.....	47
<i>Живодерова В. И.</i> Особенности строительных работ при перепланировке производственных помещений для установки оборудования.....	50
<i>Евдокимова А. В.</i> Основные проблемы очистки сточных вод в малых населенных пунктах.....	53
<i>Журо К. В.</i> Анализ методов расчета сооружений биологической очистки.....	55
<i>Мовчан С. И.</i> Локальное водоочистное оборудование в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.....	59
<i>Можаровский В. В., Киргинцева С. В.</i> Математическое моделирование расчета параметров гидроудара для композитных труб в трубопроводах.....	64
<i>Моняк Т. М.</i> Выбор восстановителя при синтезе магнитных материалов из гальваношламов для очистки нефтесодержащих сточных вод.....	69
<i>Невзорова А. Б., Невзоров В. В.</i> Перспективы использования беспилотников для мониторинга инженерных сетей в Беларуси.....	72
<i>Новикова О. К., Ратникова А. М., Сивакова Н. В.</i> Выбор технологической схемы водоподготовки для малых населенных пунктов Республики Беларусь.....	75
<i>Пехота А. Н., Вострова Р. Н., Коришунова В. Ю.</i> Возобновляемые источники энергии на основе биомассы для изготовления брикетированного топлива.....	79
<i>Пехота А. Н., Вострова Р. Н., Васильев Я. С.</i> Изготовление брикетов на основе осадка сточных вод методом прессования.....	84

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

*С. В. СТЕПАНОВ¹, О. В. ХАРЬКИНА², П. П. АВДЕЕНКОВ¹,
М. В. ЛАЗУНИН³*

*¹Самарский государственный технический университет,
Российская Федерация*

stepanovsv3@yandex.ru, avdeenkovpp@mail.ru

*²Архитектура водных технологий, г. Москва, Российская Федерация
okh@watertec.ru*

*³ЭкоСмарт, г. Самара, Российская Федерация
artseven@mail.ru*

Актуальность. Для технологического расчета сооружений аэробной биологической очистки сточных вод в мировой практике наиболее часто применяются теоретические методики, в основе которых лежат классические уравнения ферментативной кинетики. При этом умение применять ту или иную методику требует высокой квалификации как с точки зрения понимания биохимических процессов и их расчета, так и интерпретации результатов. Для автоматизированного расчета может быть использовано программное обеспечение, которое, во-первых, в основном, имеет иностранное происхождение, а, во-вторых, ограничено только моделированием работы очистных сооружений и является сложным для использования персоналом очистных сооружений.

Цель работы – разработать математическую модель и основанное на ней программное обеспечение, позволяющее рассчитывать качество очищенной сточной воды, сравнивать его с требуемым и выдавать технологу количественные и качественные рекомендации по внесению изменений в технологический режим работы очистных сооружений.

Основные результаты. В работах [1, 2] был проведен анализ теоретических и эмпирических моделей, предлагаемых для технологического расчета сооружений биологической очистки. Одним из недостатков представленных моделей является то, что они направлены на решение «прямой задачи», когда при проектировании требуется определить параметры аэротенков при известном качественном и количественном составе исходных и очищенных сточных вод. В случае, когда необходимо решить эксплуатационную задачу, т. е. «обратную» – требуется определить качественный состав очищенных сточных вод при известном качественном и количественном составе исходных сточных вод, а также при известных параметрах аэротенков, то такой расчет

выполняется методом подбора, что является архаичным и трудозатратным подходом. Однако решение «обратной задачи» является крайне необходимым при эксплуатации, реконструкции и/или модернизации существующих очистных сооружений.

Поскольку именно теоретические модели являются научно обоснованными и позволяют снизить риски недостижения проектного качества очищенных сточных вод, то для разработки новой математической модели за основу были взяты методики ВОДГЕО/СамГТУ [3] и *ASM2d* [4].

В основе разработанного нами программного обеспечения лежит математический аппарат из 173 формул, манипулирующий 76 переменными величинами, которые описывают биохимические процессы, происходящие в аэротенках, работающих по любой технологии, в том числе с удалением азота и фосфора.

Верификация разработанной математической модели была проведена на городских канализационных сооружениях городского округа Самары на отдельно взятом технологическом блоке аэротенка – вторичном отстойнике производительностью 46,8–61 тыс. м³/сут. Были определены значения всех необходимых для расчета кинетических констант и коэффициентов. Разработанная математическая модель показала высокую точность совпадения расчетных и фактических концентраций загрязнений в очищенной сточной воде. Для создания программного обеспечения разработанный математический аппарат был написан на языке программирования *Python*, что связано с дальнейшим расширением функционала, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта. Данное программное обеспечение осуществляет сбор информации о количественном и качественном составе сточных вод с имеющихся на очистных сооружениях электронных журналов. Далее программа выполняет в статическом и динамическом режиме расчет качественного состава очищенных сточных вод по ХПК, БПК₅, взвешенным веществам, аммонии, нитритам, нитратам и фосфатам.

Поскольку современные сооружения биологической очистки представляют собой сложный комплекс технологических элементов различного назначения, их эффективная работа во многом зависит от решений, принимаемых технологом. При реконструкции очистных сооружений зачастую меняется технология очистки сточных вод, например, реализуется биологическое удаление азота и фосфора, при этом в принимаемые технологом решения, в сравнении с первоначальной технологией, должны быть внесены изменения. Для принятия правильных решений необходим практический опыт эксплуатации сооружений, работающих по новой технологии, которого часто не хватает. Поэтому в функционал разрабатываемого программного обеспечения была включена функция выдачи количественных и качественных рекомендаций. Программа сравнивает требуемое и расчетное качество очищенных сточных вод и при превышении последнего выдает рекомендации по

изменению технологических параметров работы очистных сооружений (концентрации растворенного кислорода, расхода нитратного рецикла, расхода избыточного и возвратного активного ила). Данные рекомендации позволяют скорректировать работу аэротенков таким образом, чтобы в существующих объемах сооружений добиться максимально возможной эффективности очистки. Пример работы программного обеспечения представлен на рисунке 1.

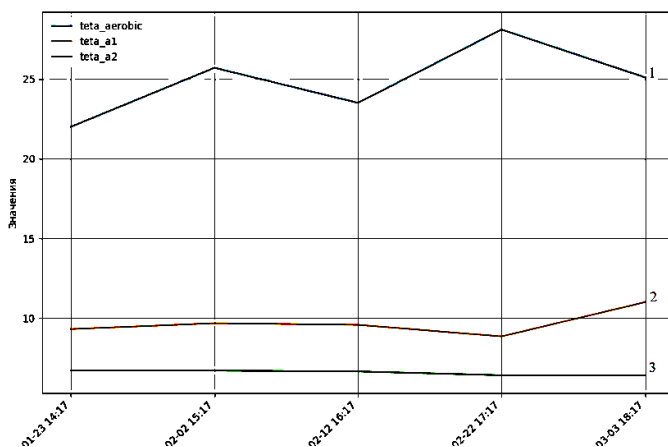


Рисунок 1 – Пример динамической работы программного обеспечения
(при температуре 22 °С)

кривая 1 – фактический аэробный возраст активного ила,
кривая 2 – расчетный возраст активного ила для достижения требуемой концентрации азота аммонийного, кривая 3 – расчетный возраст активного ила для достижения требуемой концентрации азота нитритов

Более того, программное обеспечение позволяет определить оптимальные технологические параметры при изменении качественного и количественного состава сточных вод на входе в очистные сооружения, т. е. принять меры до фактического изменения качественного состава очищенных сточных вод, что позволяет уменьшить плату за загрязнение окружающей среды. Выдаваемые программным обеспечением рекомендации могут позволить снизить эксплуатационные затраты за счет отключения (периодического или постоянного) части оборудования (избыточная концентрация растворенного кислорода, избыточный вывод активного ила и т. д.).

Выводы. Разработано программное обеспечение для моделирования процессов биологической очистки сточных вод в аэротенках, в основе которого лежит новая математическая модель, основанная на теоретических методиках ВОДГЕО/СамГТУ и ASM2d. Программное обеспечение позволяет в

статическом и динамическом режиме вести расчет очистных сооружений по ХПК, БПК₅, взвешенным веществам, соединениям азота и фосфора. Далее происходит сравнение требуемого и расчетного качества очищенных сточных вод и при превышении последнего выдача рекомендаций по изменению технологических параметров работы очистных сооружений (концентрации растворенного кислорода, расхода нитратного рецикла, расхода избыточного и возвратного активного ила). Данные рекомендации позволяют скорректировать работу аэротенков таким образом, чтобы в существующих объемах аэротенков добиться максимально возможной эффективности очистки. Программное обеспечение за счет оптимизации технологических параметров очистных сооружений позволяет уменьшить плату за загрязнение окружающей среды и эксплуатационные затраты.

Исследование выполнено в рамках договора № 4951ГC1/85526 между ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» и ООО «ЭкоСмарт».

Список литературы

1 **Швецов, В. Н.** Сравнение результатов расчета аэротенков по моделям НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и ASM2d / В. Н. Швецов, С. В. Степанов, О. В. Харькина // Водоснабжение и санитарная техника – 2021. – № 5. – С. 18–29. – DOI 10.35776/VST.2021.05.02.

2 **Харькина, О. В.** Сравнение результатов расчета аэротенков по методу Даниловича–Эпова и модели ASM2d (1) / О. В. Харькина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 5. – С. 20–31. – DOI 10.35776/VST.2022.05.03.

3 **Швецов, В. Н.** Расчет сооружений биологической очистки городских и производственных сточных вод в аэротенках с удалением биогенных элементов / В. Н. Швецов, К. М. Морозова, С. В. Степанов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 9. – С. 26–38.

4 Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце [и др.]; пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480 с.

SOFTWARE FOR SIMULATION OF PROCESSES OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT IN AEROTANKS

S. V. STEPANOV, O. V. KHARKINA, P. P. AVDEENKOV, M. V. LAZUNIN

¹Samara State Technical University, ²Water technology architecture, Moscow, ³EcoSmart, Samara, Russian Federation