



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»
(ГУАП)

Большая Морская ул., д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, 190000
Тел. (812) 710-6510, факс (812) 494-7057
E-mail: common@aanet.ru; http://www.guap.ru
ОКПО 02068462; ОГРН 1027810232680
ИНН/КПП 7812003110/783801001

УТВЕРЖДАЮ

23.06.2022 № 54-2246/22
На № _____ от _____

Ректор ФГАОУ ВО ГУАП, д.э.н.,
профессор

___Ю. А. Антохина

___ 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ФГАОУ ВО ГУАП) по диссертации Фоменковой Анастасии Алексеевны «Модельно-алгоритмическое обеспечение мониторинга состояния систем анаэробной биологической очистки сточных вод», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 — Системный анализ, управление и обработка информации

Диссертация «Модельно-алгоритмическое обеспечение мониторинга состояния систем анаэробной биологической очистки сточных вод» выполнена на кафедре компьютерных технологий и программной инженерии института вычислительных систем и программирования ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

В период подготовки диссертации, соискатель Фоменкова Анастасия Алексеевна являлась аспирантом очной формы обучения ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (с 29.09.2021 по настоящее время), работала в качестве программиста 1 кат. вычислительной лаборатории 43, а также в качестве старшего преподавателя кафедры компьютерных технологий и программной инженерии ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по совместительству.

Справка об обучении (периоде обучения) в аспирантуре №АСП-С-83/22 от 09.06.2022 выдана ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

В 2012 году Фоменкова Анастасия Алексеевна окончила Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» по специальности 8.090226 «Оборудование фармацевтической и микробиологической промышленности», присуждена степень магистра с квалификацией инженер-исследователь.

Справки о сдаче кандидатских экзаменов №09-17/9 от 14.06.2022 и №09-17/10 от 14.06.2022 выданы ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Научный руководитель – Колесникова Светлана Ивановна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры компьютерных технологий и программной инженерии ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

По итогам обсуждения диссертации «Модельно-алгоритмическое обеспечение мониторинга состояния систем анаэробной биологической очистки сточных вод» принято следующее заключение.

1. Оценка выполненной соискателем работы

В диссертационной работе Фоменковой Анастасии Алексеевны выполнен детальный анализ существующих подходов к мониторингу систем анаэробной биологической очистки сточных вод с учетом особенностей процессов жизнедеятельности микробной популяции в биореакторе. Разработана обобщенная математическая модель анаэробного биореактора, учитывающая взаимное влияние физических, биохимических и системотехнических процессов при очистке сточных вод. Алгоритмы мониторинга состояния биореактора в нем по измеряемым параметрам реализованы в виде законченных программных модулей оценивания состояния секционного анаэробного биореактора предложенной конструкции.

По теме доклада Фоменковой Анастасии Алексеевны были заданы 18 вопросов, на которые получены исчерпывающие аргументированные ответы. Присутствовали 27 человек. В обсуждении диссертационной работы принимали участие заместитель заведующего кафедрой компьютерных технологий и программной инженерии ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» к.т.н., доцент А.А. Ключарёв, д.т.н., проф. Ю.А. Скобцов, д.т.н., проф. В.И. Хименко, д.т.н., проф. С.И. Колесникова, к.т.н., доцент А.А. Попов, к.т.н., доцент А.В. Туманова, к.т.н., доцент М.В. Фаттахова, ст. преп. С.А. Рогачев, ст. преп. Н.В. Путилова.

По докладу выступили проф. В.И. Хименко, проф. С. И. Колесникова, проф. Ю.А. Скобцов, доцент А. А. Ключарёв и дали положительную оценку докладу и диссертационной работе. Отмечены актуальность темы проведенного исследования,

обоснованность и достоверность научных положений и выводов, новизна и практическая значимость полученных результатов. Выступлений с отрицательной оценкой не было.

2. Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящее время системам очистки сточных вод на предприятиях и в коммунальном хозяйстве уделяется все больше внимания. Устройство систем водоотведения и канализации, решающих задачи сбора, очистки, обеззараживания сточных вод, дальнейшее их использование или сброс в окружающую среду, однотипно в различных населенных пунктах и имеет важное значение для экологической безопасности. Основные нормы в сфере сохранения водных объектов определены Федеральным законом РФ в 2011 г., что обязало многие промышленные предприятия внедрять локальные очистные сооружения или модернизировать существующие системы очистки. В значительной степени это относится к предприятиям пищевой промышленности, относящихся к 1-2 категории объектов по экологической опасности и оказывающим значительное негативное воздействие на окружающую среду. Их отличительной особенностью является преобладание органических загрязнений, для утилизации которых эффективны анаэробные биологические методы очистки, позволяющие не только очищать стоки, но и повышать энергоэффективность производства за счет использования вырабатываемого биогаза. Современные предприятия пищевой промышленности для обеспечения экологической безопасности оборудуются системами анаэробной биологической очистки (САБО) сточных вод, снижающими концентрации органических загрязнений до уровня, допустимого системой водоотведения. Важной и значимой задачей является обеспечение их работоспособности при длительной эксплуатации и снижение риска аварийных ситуаций. Для ее решения важен постоянный мониторинг состояния САБО. Особенностью САБО является необходимость совместного учета характеристик неустойчивых биохимических процессов наряду с физическими и техническими параметрами для корректного анализа состояния системы. Поэтому САБО следует рассматривать как сложный биотехнический объект, а различные наборы значений физических, технических и биохимических параметров САБО характеризуют различные обобщенные состояния такого объекта. Таким образом, в диссертации предполагается, что мониторинг состояния САБО представляет собой сложный процесс, в рамках которого осуществляется совместное решение задач контроля, оценивания, диагностики и прогнозирования обобщенного состояния сложного биотехнического объекта.

Высокая структурно-функциональная сложность рассматриваемых биотехнических объектов и отсутствие полного формального описания происходящих в них процессов с учетом состояния биомассы ограничивает использование существующих современных цифровых технологий

интеллектуального мониторинга и управления в действующих промышленных системах анаэробной очистки.

Поэтому разработка модельно-алгоритмического обеспечения мониторинга состояния системы анаэробной биологической очистки для формирования и реализации научно обоснованных управленческих воздействий, направленных на поддержание требуемого качества очистки и предотвращение нежелательных переходов в нештатные и аварийные состояния, является новой и актуальной задачей, решение которой позволит повысить эффективность работы, а также техническую и экологическую безопасность локальных очистных сооружений промышленных предприятий.

3. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Формулировка задач, основных научных положений, выводов диссертационного исследования, теоретические и практические результаты работы получены и изложены Фоменковой Анастасией Алексеевной самостоятельно.

4. Обоснованность научных положений и степень достоверности результатов

Достоверность сформулированных научных положений, основных выводов и результатов диссертации подтверждается согласованностью теоретических выводов и результатов имитационного моделирования, качественным и количественным соответствием теоретических исследований и экспериментальных данных, полученных как самим автором, так и другими исследователями, а также практическим применением результатов исследований.

5. Основные научные результаты, полученные в диссертационном исследовании

1. Обобщенная математическая модель анаэробного биореактора САБО, описывающая его как сложный биотехнический объект.
2. Алгоритмическое и программное обеспечение аналитико-имитационного моделирования функционирования САБО.
3. Структура технологии мониторинга обобщенного состояния САБО с новой конструкцией секционного биореактора.

6. Степень новизны научных результатов

Научная новизна полученных результатов диссертационного исследования заключается в следующем.

1. Обобщенная математическая модель анаэробного биореактора САБО описывающая его как сложный биотехнический объект, отличающаяся от известных учетом взаимного влияния гидродинамических, тепломассообменных процессов и биохимического преобразования загрязняющих веществ анаэробной биомассой для различных типов используемого оборудования и обеспечивающая комплексное исследование САБО.

2. Алгоритмическое и программное обеспечение аналитико-имитационной модели САБО, отличающееся учетом изменения технических параметров, связанных с жизнедеятельностью биомассы, с одной стороны, и учетом влияния неисправностей технических подсистем очистных сооружений на биохимические процессы САБО, с другой; и применяемое на этапах проектирования САБО, а также мониторинга ее обобщенного состояния с целью своевременного принятия управленческих решений, направленных на поддержание работоспособности в процессе эксплуатации.

3. Структура предлагаемой технологии мониторинга САБО с новой конструкцией секционного биореактора, отличающаяся построением оценки обобщенного состояния системы по измеренным значениям взаимосвязанных технических и биохимических параметров в каждой секции с учетом многостадийности анаэробной очистки, при этом используется сокращенный набор диагностических признаков, выбранных с использованием критериев минимальной стоимости и максимальной информативности.

7. Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Теоретическая значимость работы: новая обобщенная математическая модель системы анаэробной очистки, совместно рассматривающая физические, технические и биохимические процессы, модель мониторинга обобщенного состояния сложной системы САБО, функционирование которой основано на массообменных процессах.

Практическую значимость работы составляют:

1) алгоритмы и реализующее их программное обеспечение для оценивания обобщенного состояния биотехнических подсистем в оборудовании анаэробной очистки, позволяющие сократить число проверяемых диагностических признаков по критериям минимальной стоимости и максимальной информативности;

2) программное обеспечение аналитико-имитационного моделирования системотехнических и анаэробных процессов, характеризующих функционирование САБО как биотехнического объекта, для оценки неизмеряемых параметров по результатам измерений.

3) структура и программное обеспечение мониторинга обобщенного состояния САБО с секционным биореактором, обеспечивающие реализацию основных этапов процесса очистки с наибольшей энергоэффективностью и качеством очистки.

8. Внедрение результатов работы

Результаты диссертационного исследования использованы при разработке системы диспетчерского управления очистных сооружений в рамках выполнения проекта по научному направлению «Комплексная переработка минерального, техногенного и растительного сырья с получением функциональных материалов с заданными свойствами» Базовой кафедры экологии и экологических проблем химической технологии Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ФГБОУ ВО ВГУЭС). Результаты исследований внедрены в учебный процесс подготовки бакалавров и магистров кафедры компьютерных технологий и программной инженерии государственного университета аэрокосмического приборостроения (ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»), Санкт-Петербург, и являлись предметами исследований магистерских диссертаций.

9. Публикации по теме диссертационного исследования и апробация результатов

Основные положения и результаты диссертационных исследований докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: 6 международная научно-практическая (7-8 апреля 2011г.) «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии как альтернатива первичным источникам энергии в регионе», г. Львов; VI Всеукраинская научно-практической конференции «Биотехнология XXI столетия» 5 апреля 2012 г., г. Киев; VII Всеукраинская научно-практической конференции «Биотехнология XXI столетия» 24 апреля 2013г. Научная сессия ГУАП, 2012, 2015, 2017, 2019, 2020, 2021, 2022 годов, Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2021, Санкт-Петербург, 20-22 октября 2021 года, International Conference «Marchuk Scientific Readings 2021 (MSR-2021) 4-8 October 2021. – Novosibirsk, Russian Federation, 2021. Диссертация в полном объеме докладывалась на научно-технических семинарах: СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, 2022. Научные исследования поддержаны грантом РФФИ: № 20-08-00747 (2020-2022).

Публикации в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук

1. Фоменкова А. А. Анализ работоспособности систем анаэробной биологической очистки сточных вод в процессе эксплуатации // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 2. С. 140—147. (RSCI на платформе Web of Science)

2. Ключарёв А.А., Фоменкова А.А. Проектирование секционного анаэробного биореактора // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2018. № 43 (69). С. 95-100 (РИНЦ)

3. Ключарёв А.А., Фоменкова А.А. Математическая модель анаэробного биореактора с закрепленной биомассой как объекта управления // Информационно управляющие системы. 2019. №2. С.44-51 (Scopus, RSCI на платформе Web of Science)

4. Фоменкова А.А., Ключарёв А.А., Колесникова С.И. Синтез системы управления, мониторинга и оценивания состояния анаэробного биореактора // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2022. №1 (25). С. 21-34. (РИНЦ)

В других изданиях

5. Ружинская Л.И., Фоменкова А.А. Математическое моделирование процессов анаэробного сбраживания органического субстрата. Обзор // Scientific Journal «ScienceRise». – 2014. - №4/2(4) – С.63-69.

6. Ружинская Л.И., Фоменкова А.А. Моделирование процессов переноса в анаэробном биореакторе с иммобилизированной микрофлорой // Scientific Journal «ScienceRise». – 2014. - №4/2(4) – С.52-59.

7. Фоменкова А.А. Математическая модель оптимизации процессов переноса в анаэробном биореакторе с закрепленной биомассой // Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. Вип. 15/2014. — Севастополь, 2014. – С.283-288.

8. Фоменкова А.А., Ключарёв А.А. Имитационное моделирование при определении технического состояния систем анаэробной биологической очистки // Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021). Труды конференции (электронное издание), 20–22 октября 2021 г., Санкт-Петербург: АО «ЦТСС», 2021. – 694 с. – ISBN 978-5-905526-05-3. С. 444-449.

9. Fomenkova A. A., Klucharev A. A., Kolesnikova S. I. Formalization of target invariants and designing an adaptive control system for the model of anaerobic biological wastewater treatment // Published under licence by IOP Publishing Ltd Journal of Physics: Conference Series, Volume 2099, International Conference «Marchuk Scientific Readings 2021 (MSR-2021) 4-8 October 2021. – Novosibirsk, Russian Federation, 2021. – 9 p. (Scopus)

10. Колесникова С.И., Цветницкая С.А., Фоменкова А.А. Метод интегральной адаптации для компенсации возмущений при моделировании системы анаэробной биологической очистки. Современные наукоемкие технологии. № 5 (часть 2) 2022, стр. 197-203.

11. Фоменкова А.А., Ключарёв А.А., Ельцова А.Д. Система контроля технического состояния анаэробного биореактора // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '22: Вторая международная науч. конф. (СПб., 14-22 апреля 2022г.): сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2022. – С. 106-108.

12. Фоменкова А.А. Выбор минимального набора диагностических признаков при анализе технического состояния биомассы в системе биологической очистки сточных вод // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах: Международная науч. конф. (СПб., 14-22 апреля 2021г.): сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2021. – С. 82-86.

13. Ключарёв А.А., Фоменкова А.А. Задачи определения технического состояния системы очистки сточных вод // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах: Первая Всерос. науч. конф. (СПб., 14-22 апреля 2020г.): сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2020. – С. 70-74.

14. Фоменкова А.А. Обобщенная математическая модель анаэробного биореактора для очистки сточных вод // Научная сессия ГУАП, Сборник докладов. В 3-х частях. Часть II, Технические науки. СПб, 2019. Издательство: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (Санкт-Петербург) – С. 347-351.

15. Ключарёв А.А., Фоменкова А.А. Особенности анализа массопереноса в системах с дополнительным потоком массы // НАУЧНАЯ СЕССИЯ ГУАП Сборник докладов. В 3-х частях. Часть II, Технические науки. СПб, 2016. Издательство: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (Санкт-Петербург) – С. 201-207.

16. Ключарёв А.А., Фоменкова А.А. Имитационное моделирование процессов массопереноса в анаэробном биореакторе // НАУЧНАЯ СЕССИЯ ГУАП Сборник докладов. В 3-х частях. Часть II, Технические науки. СПб, 2015. Издательство: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (Санкт-Петербург) – С. 216-221.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

17. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ №2021613417. Программный модуль для имитационного моделирования системы анаэробной очистки сточных вод. А.А. Фоменкова, А.А. Ключарёв. №2021612722, заявл.09.03.2021.

18. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ №2021669208. Программный модуль для идентификации видов технического состояния анаэробного биореактора. А.А. Фоменкова. № 2021668776, заявл.25.11.2021.

Патент на полезную модель

19. Пат. UA 93476 U Украины, МПК (2014.01) C02F 11/00. Анаэробный биореактор для очистки сточной воды, Л.И. Ружинская, А.А. Фоменкова: заявитель и патентообладатель: Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт». № u 2013 14720; заявл. 16.12.13; опубл. 10.10.14, Бюл. № 19.

Все заимствования в диссертационной работе выполнены корректно со ссылкой на источники.

Ценность научных работ соискателя Фоменковой Анастасии Алексеевны заключается в том, что они раскрывают результаты решения актуальной научной задачи разработки модельно-алгоритмического обеспечения мониторинга состояния систем анаэробной биологической очистки сточных вод, а также обеспечивают воспроизводимость полученных научных результатов.

Диссертация Фоменковой Анастасии Алексеевны является законченной научно-квалификационной работой, выполнена на высоком уровне, имеет теоретическое и практическое значение и удовлетворяет требованиям пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842 (в действующей редакции).

Диссертационная работа Фоменковой Анастасии Алексеевны на тему «Модельно-алгоритмическое обеспечение мониторинга состояния систем анаэробной биологической очистки сточных вод» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации».

Заключение принято на заседании кафедры №43 компьютерных технологий и программной инженерии ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». Присутствовали на заседании 27 чел. Результаты голосования: «за» – 27 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 07/2022 от «15» июня 2022 г.

Зам. зав. кафедрой №43
компьютерных технологий и
программной инженерии
ФГАОУ ВО ГУАП, к.т.н.,
доцент

Профессор кафедры
компьютерных технологий и
программной инженерии
ФГАОУ ВО ГУАП, д.т.н.,
профессор

(Александр Анатольевич Ключарёв)

(Юрий Александрович Скобцов)