

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.206.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22.12.2022 г. № 1

О присуждении Фоменковой Анастасии Алексеевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модельно-алгоритмическое обеспечение мониторинга состояния систем анаэробной биологической очистки сточных вод» по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 20 октября 2022 г., протокол заседания № 1 диссертационным советом 24.1.206.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, дом 39, утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 г. (с изменениями согласно приказам №574/нк от 15 октября 2014 г., № 386/нк от 27 апреля 2017 г., №748/нк от 12 июля 2017 г., №301/нк от 23 ноября 2018 г., №467/нк от 4 августа 2020 г., №804/нк от 16 декабря 2020 г., 561/нк от 03 июня 2021г., №384/нк от 19 апреля 2022г.).

Соискатель Фоменкова Анастасия Алексеевна, 09 ноября 1988 года рождения, в 2012 г. с отличием окончила Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» по специальности 8.090226 – «Оборудование фармацевтической и микробиологической промышленности» (диплом КВ №43700732), на данный момент является аспиранткой очной формы обучения в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный

университет аэрокосмического приборостроения» (ФГАОУ ВО ГУАП) по направлению подготовки 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника». Справки о сдаче кандидатских экзаменов №09-17/9 от 14.06.2022 и №09-17/10 от 14.06.2022 выданы ФГАОУ ВО ГУАП. В настоящее время Фоменкова Анастасия Алексеевна работает в качестве старшего преподавателя кафедры компьютерных технологий и программной инженерии ФГАОУ ВО ГУАП.

Диссертация выполнена на кафедре компьютерных технологий и программной инженерии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** — КОЛЕСНИКОВА Светлана Ивановна, доктор технических наук, доцент, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» кафедра компьютерных технологий и программной инженерии, профессор.

**Официальные оппоненты:**

ШМЕЛЁВ Валентин Валерьевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, кафедра технологий и средств автоматизации обработки и анализа информации космических средств, заместитель начальника.

СКАТКОВ Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», кафедра информационных технологий и компьютерных систем Института информационных технологий и управления в технических системах, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** — Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский

политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)» (ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого»), г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном Шкодыревым Вячеславом Петровичем, доктором технических наук, профессором, директором Высшей школы киберфизических систем и управления ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого» и Ефремовым Артемом Александровичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, доцентом Высшей школы киберфизических систем и управления ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», утвержденном Ключковым Юрием Сергеевичем, доктором технических наук, доцентом, проректором по научно-организационной деятельности ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», указала, что диссертация Фоменковой Анастасии Алексеевны является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи повышения эффективности функционирования биотехнических систем, достигаемое путем применения разработанных современных подходов к мониторингу состояния сложных систем.

Проведенные в диссертации исследования представляется перспективным развивать в направлении расширения разработанного программно-алгоритмического обеспечения на другие типы сложных биотехнических систем, например, систем аэробной очистки сточных вод, систем биотехнологического производства лекарственных препаратов, ферментов, систем биотехнологического производства продуктов пищевой промышленности.

Полученные в работе научные результаты, выводы и практические рекомендации могут найти применение при модернизации, реконструкции и внедрении современных локальных очистных сооружений, оснащенных системами автоматизированного управления и мониторинга. В Северо-Западном регионе это могут быть крупные предприятия пищевой промышленности, такие как заводы ОАО «Петмол», АО «Вимм-Билль-Данн», ООО «Пивоваренная компания «Балтика», ООО «Кировский биохимический завод» и другие аналогичные предприятия, характеризующиеся высоким содержанием органических загрязнений в сточных водах.

Тема диссертационной работы является актуальной, полученные результаты имеют научную новизну и практическую значимость. Диссертационная работа

соответствует критериям п.п. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 26 сентября 2022 года № 1690), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Фоменкова Анастасия Алексеевна, заслуживает присуждения научной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 19 работ, из них рецензируемых научных изданиях 9 работ, из них опубликованных в изданиях, рекомендуемых ВАК – 4, индексируемых в WoS/Scopus – 3, имеется 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, патент на полезную модель.

Основные научные результаты опубликованы в 19 научных трудах общим объемом 12,5 п.л., из которых объем личного вклада соискателя составляет 7,1 п.л. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

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) *Личный вклад соискателя – 100%*.

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) *Личный вклад соискателя – 50%*.

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. 51 (Scopus, RSCI на платформе Web of Science) *Личный вклад соискателя – 50%*.

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) *Личный вклад соискателя – 35%*.

Оригинальность содержания диссертации составляет не менее 88% от общего объёма текста; цитирование оформлено корректно; заимствованного материала, использованного в диссертации без ссылки на автора либо источник заимствования, не обнаружено; научных работ, выполненных соискателем учёной степени в соавторстве без ссылок на соавторов не выявлено. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили 5 отзывов, все отзывы положительны:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». Отзыв составил заведующий кафедрой экономической математики, информатики и статистики, доктор физико-математических наук, профессор, Игорь Георгиевич Боровской. Замечания: при решении системы уравнений (7) не ясно, каким образом формируются начальные и граничные условия для различных типов биореактора; в автореферате отсутствуют данные об экспериментальных исследованиях, а приведены только результаты имитационного моделирования.

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Отзыв составил заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования», доктор физико-математических наук, профессор Карпенко Анатолий Павлович. Замечания: автором вводится понятие «деградация биомассы», однако в рамках рассмотрения конкретных систем в автореферате это понятие не конкретизировано; имеются незначительные стилистические неточности.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владивостокский государственный университет». Отзыв составил доцент кафедры информационных технологий и систем, кандидат технических наук, Сачко Максим Анатольевич. Замечания: в тексте содержатся некоторые стилистические неточности; из текста автореферата не ясна разница

между техническими и физическими параметрами состояния рассматриваемой системы, ведь все технические параметры по своей сути являются физическими.

4. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Отзыв составил доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий, кандидат технических наук, доцент Скобцов Вадим Юрьевич. Замечания: в главе 1 не в полной мере освещены особенности параметров биомассы, характеризующих ее деградацию; рисунок 2, отражающий взаимосвязь системотехнических, физических и биохимических процессов, перегружен и не позволяет в полной мере оценить существо проделанной работы; имеются незначительные синтаксические и орфографические ошибки.

5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». Отзыв составил доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и управления» Большаков Александр Афанасьевич. Замечания: в цели работы указано: «повышение качества функционирования систем анаэробной биологической очистки промышленных сточных вод...», однако в дальнейшем тексте автореферата понятие «качество функционирования» не раскрыто; не описаны сформулированные автором показатели качества и энергоэффективности очистки, используемые для анализа эффективности функционирования рассматриваемой системы, не приведена методика оценивания времени гидравлического пребывания *HRT* сточной воды в системе очистки; формально не сформулирована задача минимизации набора диагностических признаков, необходимых для оценивания обобщенного состояния системы анаэробной биологической очистки сточных вод; желательно указать пункты специальности 2.3.1, которым соответствуют полученные новые научные результаты.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.т.н., доцент Шмелёв В.В. является известным специалистом в области интеллектуального мониторинга состояния сложных технических систем, идентификации и технической диагностики; д.т.н., профессор Скатков А.В. – известный ученый в области математического и имитационного моделирования

сложных объектов, имеет ряд значимых научных работ в области интеллектуального мониторинга окружающей среды и гетерогенных технологических объектов; ведущая организация, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)», играет важную роль в научно-образовательном обществе России, развивает инновационную деятельность, кроме того широко известны достижения ее специалистов в области мониторинга, контроля и управления сложными системами, в том числе энергетическими установками возобновляемой энергии и производственными объектами, математического и компьютерного моделирования, а также системного анализа .

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** оригинальная модельно-алгоритмическая база для мониторинга состояния сложного биотехнического объекта, отличающееся системным рассмотрением взаимодействующих физических, технических и биохимических процессов.

**предложены:**

обобщенная математическая модель анаэробного биореактора системы анаэробной биологической очистки сточных вод (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;

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;

структура 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;

**доказана** необходимость непрерывного интеллектуального мониторинга локальных систем анаэробной очистки сточных вод как сложных биотехнических объектов.

**введены:**

- понятие деградации биомассы для оценки работоспособности системы анаэробной очистки сточных вод;
- новые показатели качества и энергоэффективности системы анаэробной очистки сточных вод;

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** применимость разработанной обобщенной математической модели анаэробного биореактора системы анаэробной биологической очистки сточных вод для различных типов биореакторов;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе численных методов, аналитико-имитационного моделирования, теоретико-множественного анализа сложных систем, методов технической диагностики;

**изложены** методологические и методические основы использования комплексного моделирования, включающего подходы аналитического, имитационного и численного моделирования применительно к сложному биотехническому объекту;

**раскрыты**



проблемные аспекты применения имеющихся подходов в области математического моделирования систем биологической очистки сточных вод и анализа их состояния в процессе длительной эксплуатации;

отсутствие системных исследований совместно протекающих физических, технических и биохимических процессов в оборудовании анаэробной биологической очистки сточных вод;

**изучены** существующие методы построения моделей и алгоритмов мониторинга состояния сложных биотехнических систем, при этом отдельное внимание уделено рассмотрению взаимного влияния биологической и технической стороны функционирования объекта;

**проведена модернизация** существующих математических моделей процессов в анаэробных биореакторах различных конструкций, моделей и алгоритмов контроля и оценивания состояния систем анаэробной биологической очистки сточных вод.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** следующие результаты диссертационной работы:

- программа имитационного моделирования системы анаэробной очистки сточных вод;
- алгоритмы диагностирования технического состояния биомассы в анаэробном биореакторе, позволяющие минимизировать число наблюдаемых параметров и обеспечить непрерывный мониторинг функционирования биореактора;

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 экологических проблем химической технологии ФГБОУ ВО ВГУЭС;

- программный модуль для имитационного моделирования системы анаэробной очистки сточных вод;
- алгоритмы мониторинга состояния и программный модуль для оценки состояния анаэробного биореактора

внедрены в учебный процесс на кафедре «Компьютерных технологий и программной инженерии» ФГАОУ ВО ГУАП в рамках изучения дисциплин: «Компьютерное моделирование» для направлений подготовки бакалавриата 09.03.04 «Программная инженерия» и 02.03.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем»; «Системный анализ в научных исследованиях» для направлений подготовки магистратуры 09.04.04 «Программная инженерия» и 02.04.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем»;

**определены** возможности и перспективы практического использования полученных результатов диссертации при разработке систем мониторинга состояния для конкретных типов сложных биотехнических систем;

**создана** структура и программное обеспечение мониторинга обобщенного состояния САБО с новой конструкцией секционного биореактора, обеспечивающие реализацию основных этапов процесса очистки с наибольшей энергоэффективностью и качеством очистки;

**представлены** предложения и направления для дальнейших научных исследований, в основу которых может быть положено разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение мониторинга состояния сложного биотехнического объекта.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** достоверность полученных результатов подтверждена проведением всестороннего анализа работ по исследуемой проблеме, корректным применением научно-методического аппарата в виде использованных методов и теорий, апробацией основных результатов диссертации в печатных трудах и докладах на международных и всероссийских конференциях, положительными итогами практической реализации результатов работы;

**теория** построена на известных принципах, проверенных данных и фактах с использованием современных известных и апробированных методов исследования, согласуется с опубликованными частными результатами других исследователей;

**идея базируется** на анализе работ отечественных и зарубежных исследователей в области интеллектуального мониторинга и оценивания состояния сложных объектов;

**использованы** сравнение полученных результатов вычислительных экспериментов на предложенной модели с данными, приведенными в современной научной литературе по эксплуатации и мониторингу состояния систем анаэробной биологической очистке производственных сточных вод;

**установлено** качественное и количественное соответствие результатов решения задачи разработки моделей и алгоритмов мониторинга состояния сложного биотехнического объекта. При этом подтверждено преимущество предложенного подхода перед результатами, полученными другими авторами.

**использованы** методы системного анализа, методы анализа кинетики развития микробной популяции и массообменных процессов в сложных биотехнических системах, математического, численного и имитационного моделирования, методы технической диагностики сложных технических систем, методология и технологии комплексного моделирования сложных объектов.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- анализе современного состояния дел в области моделирования и мониторинга состояния сложного биотехнического объекта – системы анаэробной биологической очистки сточных вод;
- исследовании и классифицировании существующих подходов к моделированию систем анаэробной биологической очистки и организации мониторинга и управления очистными сооружениями;
- постановке задачи разработки модельно-алгоритмического обеспечения мониторинга состояния сложного биотехнического объекта;

- выделении взаимосвязей физических, биохимических и технических параметров при эксплуатации системы анаэробной биологической очистки сточных вод;

- разработке обобщенной математической модели анаэробного биореактора как основного элемента системы анаэробной биологической очистки сточных вод;

- разработке модуля имитационного моделирования системы анаэробной биологической очистки;

- разработке алгоритмов мониторинга обобщенного состояния системы анаэробной биологической очистки сточных вод;

- разработке алгоритмов анализа причин деградации биомассы при мониторинге по сокращенному набору диагностических признаков;

- разработке алгоритмов оценивания неизмеряемых параметров системы анаэробной очистки;

- разработке новой конструкции секционного анаэробного биореактора и структуры технологии мониторинга его обобщенного состояния;

- разработке алгоритмов визуализации состояния секционного анаэробного биореактора;

- обработке и интерпретации результатов имитационного эксперимента;

- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В работе отсутствует описание достаточных характеристик объема имитации исходя из требуемых величин ошибок 1 и 2 рода.

2. Автор приводит выигрыш только во времени от сокращения длительности процедуры мониторинга обобщенного состояния САБО при ее планировании с учетом информативности используемых диагностических признаков. Выигрыш в ресурсоемкости процедуры мониторинга при ее планировании с учетом стоимости используемых диагностических признаков не конкретизируется.

3. Для анализа системы анаэробной биологической очистки используется каскадная модель жизненного цикла. Не обосновано и не рассматриваются другие модели.

4. В соответствии с определением мониторинга состояния системы очистки в работе отсутствуют данные о методах прогнозирования обобщенного состояния САБО.

5. В диссертации рассматривается детерминированная математическая модель объекта. Желательна классификация типов неопределенностей и классов возмущений, обуславливающих взаимодействие основных процессов системы и среды функционирования.

Соискатель Фоменкова А.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

1. Объем реализаций запуска имитационной модели рассчитывался эмпирически, до момента, пока вероятности состояний значительно не менялись. В предположении нормального распределения обобщенных состояний, на уровне значимости 0,05 для ошибок 1 и 2 рода получены значения 0,056 и 0,062 соответственно.

2. Ресурсоемкость и стоимостные характеристики предлагаемых решений существенно зависят от конкретной конструкции САБО. В работе основной акцент сделан на снижении числа лабораторных исследований как наиболее ресурсоемких процедур. Показана возможность снижения числа лабораторных исследований в три раза.

3. Каскадная модель жизненного цикла не предполагает изменения конструктивных параметров в процессе эксплуатации, что характерно для данного объекта.

4. Задачи прогнозирования обобщенного состояния системы анаэробной очистки не рассматривались в рамках диссертационного исследования, хотя разработанная имитационная модель позволяет строить прогноз развития обобщенного состояния объекта.

5. Планируется продолжение исследования в направлении построения систем регулирования и поддержки принятия решений. В этой части необходимым

этапом должен быть выполнен вероятностный анализ неопределенностей и возмущающих воздействий.

На заседании 22.12.2022 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи разработки модельно-алгоритмического обеспечения мониторинга обобщенного состояния локальной системы очистки сточных вод, содержащих органические загрязнения, имеющей существенное значение для развития страны в области создания и развития систем мониторинга состояния сложных биотехнических объектов, присудить Фоменковой А.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Заместитель председателя диссертационного совета

доктор технических наук,

профессор

Смирнов Александр Викторович

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат технических наук

Абрамов Максим Викторович

22.12.2022 г.