

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.377.04 (Д 212.217.07),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 13.12.2023 г. № 10

О присуждении Бородулину Борису Борисовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Алгоритмы и системы автоматического управления температурой несущей конструкции автономного объекта» по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами принята к защите 11 октября 2023 г., протокол № 8, диссертационным советом 24.2.377.04 (Д 212.217.07), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, приказом Минобрнауки РФ №1119/нк от 16 ноября 2017 г.

Соискатель Бородулин Борис Борисович, 1990 года рождения, в 2012 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет» по специальности 02.03.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем», с 2017 г. по 2019 г. работал системным администратором, с 2019 г. по настоящее время заместителем начальника отдела информационной безопасности Федерального казенного учреждения "Главное бюро медико-социальной экспертизы по Самарской области" Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации. С 2018 г. по 2019 г. работал инженером волонтерского центра ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ. С 2023 по настоящий момент работает по совместительству младшим научным сотрудником лаборатории «Цифровые двойники материалов и технологических процессов их обработки» НИЧ ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ. В 2017 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» по направлению подготовки 27.06.01 Управление в технических системах, профиль Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Диссертация выполнена на кафедре «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Лившиц Михаил Юрьевич, заведующий кафедрой «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический

университет» Минобрнауки РФ.

Официальные оппоненты:

Ненарокомов Алексей Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Космические системы и ракетостроение», г. Москва;

Першин Иван Митрофанович, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшего профессионального образования, Пятигорский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», профессор кафедры систем управления и информационных технологий, г. Пятигорск;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация –

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара в своем положительном отзыве, подписанном В.В. Бирюком (заместитель заведующего кафедрой теплотехники и тепловых двигателей, д.т.н., профессор) и утвержденном А.Б. Прокофьевым (д.т.н., профессор, первый проректор - проректор по научно-исследовательской работе) указала, что диссертация представляет собой самостоятельную, завершённую научно-квалификационную работу, обладающую признаками новизны, актуальности и практической значимости.

Соискатель имеет 15 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ. В опубликованных статьях достаточно полно отражены полученные в диссертации основные научные результаты, включая основные положения научной новизны, теоретической и практической значимости работы. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах. Суммарный объем публикаций с участием соискателя составляет 5,13 печатных листов, объем работ, написанных единолично, составляет – 2,64 печатных листа.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Бородулин, Б.Б.** Алгоритм автоматической компенсации термодформаций теплонагруженных несущих конструкций / **Б.Б. Бородулин** // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия "Технические науки", Том 29, №4, 2021. С. 6-19.

2. Livshits, M.Yu. Automatic compensation of thermal deformations of the carrying structures of information measuring systems / M.Yu. Livshits, **B.B. Borodulin**, A.V. Nenashev, Yu.O. Savelieva // Studies in Systems, Decision and Control, 2022. Т. 418. Pp. 97-106.

3. Livshits, M.Yu. Efficient Computational Procedure for the Alternance Method of Optimizing the Temperature Regimes of Structures of Autonomous Objects / M.Yu. Livshits, **B.B. Borodulin**, A.V. Nenashev // Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges, Springer International Publishing, 2020. Pp. 79-88.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

1. Отзыв ведущей организации ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара. В отзыве имеются следующие замечания: в первой главе присутствует опечатка в нумерации подглав; вывод по первой главе

можно было представить более обширно в соответствии с поставленными задачами; в разделе 2.1 на рисунке 2.5 указаны циклограммы работы различных приборов, однако обозначение мощности везде одинаковое, что затрудняет понимание; в разделе 4.5 графически показана разница между результатами работы системы с автоматическим управлением с ПИ- и ПИД-регулятором, однако, это отличие можно было представить также и в виде конкретных числовых значений; в разделе 4.5 нет информации об условиях построения конечно-элементной модели в программной среде ANSYS, таких важных для расчета параметров, как количество узлов и элементов сетки, времени расчета одного цикла и т.д.; во введении указано, что общий объем работы изложен на 164 страницах, однако фактически объем составляет 166 страниц; в диссертации представлены передаточные функции по каналу площадь-площадь, для чего они используются; в четвертой главе представлены локальные системы автоматического управления в большом количестве (N), чему равно количество систем автоматического управления; учитываются ли влияния локальных систем автоматического управления друг на друга, если учитываются, то насколько сильно влияют.

2. Отзыв официального оппонента д.т.н., профессора Ненарокова Алексея Владимировича, в котором содержатся следующие вопросы и замечания: в разделе 2.1 не обосновано количество и расположение точек контроля на несущей конструкции; в разделе 2.2 указано, что несущая конструкция - композитная армированная конструкция с неоднородными теплофизическими и механическими характеристиками в различных направлениях, корректно ли в диссертации сделано приближение, в котором несущая конструкция считается изотропной, как это оценить; в разделе 3.1 на рисунке 3.3 демонстрируется схема идентификации, где подписан элемент «Визуальный», что подразумевает это название, что элемент выводит в качестве результата; в разделе 4.2 регулятор строится с переменной структурой, в одних условиях – реле, в других условиях — это либо ПИ-регулятор, либо ПИД-регулятор, как это реализовано физически в автономном объекте; в разделе 3.1 проводится идентификация структуры объекта на основании данных полученных из Matlab и Ansys, а в главе 4.2 указывается, что синтез системы автоматического регулирования производится для заранее спроектированной несущей конструкции, почему при идентификации не учитывались данные практических экспериментов влияния теплоисточников на реальную несущую конструкцию; во второй главе в выводах присутствует опечатка «...одинарные краевые условия...», скорее всего, имеются ввиду однородные краевые условия; в выводах по пятой главе сравниваются непрерывный и релейный алгоритмы, их количественные оценки несомненно важны и интересны, однако качественные выводы можно было бы предсказать заранее;

3. В отзыве официального оппонента д.т.н., профессора Першина Ивана Митрофановича, указаны следующие замечания: диссертация выполнена в программных продуктах «Matlab» и «Ansys», можно ли было проделать аналогичные вычисления в отечественных программных средах; на рисунке 2.5 раздела 2.1, на оси ординат значение мощности приборов различается, однако высота обозначения везде одинаковая, что затрудняет понимание; в разделе 5.1 для описания алгоритмов автоматической термоградиентной стабилизации используются точки управления, которые одновременно являются контрольными и снабжены датчиками температуры, целесообразно ли каждую точку управления совмещать с точкой контроля

температуры; в разделе 6 на рисунке 6.6 не указаны единицы измерения на оси ординат; не приводятся технические сведения о потенциально используемом оборудовании системы автоматического управления температурным распределением несущей конструкции.

На автореферат диссертации поступили 10 отзывов:

декана факультета авиационных двигателей, энергетики и транспорта ФГАОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа), д.т.н., профессора Ахмедзянова Д.А.; профессора научно-образовательного центра И.Н. Бутакова инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск), д.ф.-м.н., профессора Кузнецова Г.В.; заведующего кафедрой «Автоматика и управление» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (г. Челябинск), д.т.н., профессора Казаринова Л.С.; доцента кафедры АСУТП АО «Росатом Автоматизированные системы управления» Госкорпорации «Росатом» (г. Москва), к.т.н. Калашникова А.А.; профессора кафедры автоматизации и информационных технологий в управлении ФГБОУ ВО Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина (г. Рязань), д.т.н., профессора Ключко В.К.; профессора кафедры автоматизированных и вычислительных систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж), д.т.н., профессора Подвального С.Л.; профессора кафедры «Автоматизированные системы принятия решений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, д.т.н., профессора Литовки Ю.В.; заведующего кафедрой «Автоматика и телемеханика» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, к.т.н., доцента Дьяченко В.Б.; профессора кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва), д.т.н., доцента Просунцова П.В.; заведующего кафедрой «Автоматизация процессов химической промышленности» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» (г. Санкт-Петербург), д.т.н., профессора Русинова Л. А.

Замечания в отзывах на автореферат касаются целеполагания, обоснования, условий применения, эффективности и перспективы применения предложенных в диссертации математических моделей, программного обеспечения, алгоритмов, локальных систем автоматического управления температурой в контрольных точках несущей конструкции, распределения контрольных точек и погрешности контроля температуры в них, характеристики источников возмущения, методов автоматического управления. Некоторые замечания носят редакционный характер.

Все отзывы положительные, отмечают актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость основных положений работы, соответствие диссертационной работы Бородулина Б.Б. требованиям Положения о присуждении ученых степеней, указывается, что ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается многолетним опытом работы, высокой компетентностью в области автоматизации и управления

технологическими процессами и производствами, моделирования и управления тепловыми процессами промышленной теплофизики, автономных авиационно-космических объектов и соответствием научных интересов тематике диссертации, что подтверждается публикациями в научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны алгоритмы автоматического, оптимального управления температурой несущей конструкции космического аппарата в составе системы обеспечения теплового режима, обеспечивающие с помощью локальных систем автоматического управления термостойкую размерную стабилизацию в условиях изменения режимов теплонагружения конструкции;

предложена функционально ориентированная, на применение в системе автоматического управления, математическая модель температуры в теплонагруженной несущей конструкции информационно-измерительных систем космического аппарата, в форме передаточных функций объекта управления с распределенными параметрами с учетом размеров областей распределения теплоисточников и поверхностей теплоприемников;

получены в ходе имитационного моделирования на конечно-элементной компьютерной модели результаты, позволяющие выявить возможности разработанных алгоритмов в штатных и нештатных режимах использования несущих конструкций информационно-измерительных систем автономного объекта, включая нерасчетные режимы работы;

доказана эффективность оптимального управления температурным распределением по линии ответственного за термодеструкцию несущей конструкции ответственного сечения по минимаксному критерию его терминального отклонения от заданного температурного распределения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность разработанных алгоритмов автоматического управления температурой теплонагруженных несущих конструкций автономных объектов, обеспечивающих с помощью локальных систем автоматического и оптимального управления термостойкую размерную стабилизацию в условиях переменного неравномерного теплонагружения;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы теории автоматического управления и математической физики, метод конечных интегральных преобразований с использованием функции Грина; законы механики сплошной среды; преобразование Лапласа; программные средства ANSYS Workbench и MATLAB; альтернативный метод Э.Я. Рапопорта; методы численного моделирования;

изложены теоретические основания автоматического управления температурой несущей конструкции с дискретно распределенными по поверхности управляемыми и возмущающими теплоисточниками и метод оптимального по равномерной метрике отклонения в негладкой области конечных состояний терминального температурного распределения в ответственном сечении несущей конструкции;

раскрыты проблемы теории систем управления объектами с распределенными параметрами, связанные с автоматическим и оптимальным управлением дискретно распределенными по объему несущей конструкции управляемыми теплоисточниками;

изучено влияние дискретного распределения управляемых и возмущающих теплоисточников на системы и алгоритмы автоматического и оптимального управления температурным полем несущей конструкции автономного объекта;

проведена модернизация системы обеспечения температурного режима несущей конструкции космического аппарата.

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

разработаны и внедрены в расчетно-проектную практику на предприятиях АО «РКЦ «ПРОГРЕСС», АО «99 ЗАТО», а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «СамГТУ» системы и алгоритмы термоградиентной стабилизации в несущей конструкции, алгоритм оптимального управления температурным распределением в ответственном сечении несущей конструкции;

определены перспективы практического использования разработанных систем автоматического и оптимального управления тепловыми процессами в несущей конструкции и их преимущества по сравнению с существующими;

созданы практические рекомендации применения алгоритмов и систем автоматического и оптимального управления температурой несущей конструкции автономного объекта;

представлены результаты серии вычислительных экспериментов применения алгоритмов автоматического управления температурой несущей конструкции космического аппарата в штатном и нештатном режимах, позволяющие рекомендовать алгоритмы и системы для широкого круга автономных объектов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ вычислительные эксперименты в штатных и нештатных (нерасчетных) режимах работы космического аппарата выявили соответствие полученных результатов фундаментальным законам физики и подтвердили правомерность принятых в расчетах допущений;

теория построена на положениях, не противоречащих известным данным о процессах теплопереноса и управлении сложными объектами с распределенными параметрами, полученные выводы и рекомендации подтверждаются имитационным моделированием, корректным использованием математического аппарата и обоснованностью вводимых допущений;

идея базируется на отечественном и зарубежном опыте эксплуатации автономных объектов;

использованы результаты анализа работ отечественных и зарубежных авторов;

установлено соответствие результатов уточненного имитационного моделирования работы системы автоматического управления и результатов из независимых сторонних источников с результатами автора;

использованы методы теории автоматических систем с распределенными параметрами и современные методы решения краевых задач теплопроводности.

Личный вклад соискателя состоит в решении научных и технических задач на всех этапах выполнения диссертационной работы; в разработке методики моделирования и математических моделей температурного распределения в несущих конструкциях; структуры и алгоритмов систем автоматического оптимального управления температурой; в сравнительном анализе разработанных алгоритмов; в личном участии в апробации результатов диссертационного

исследования; в обработке и интерпретации данных; в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1) недостаточно подробно раскрыты ограничения на управляемую температуру несущей конструкции-неясно на каком этапе задаются ограничения;

2) следовало бы указать за какое время термоперепад достигает предельно допустимого значения;

3) не совсем ясно как назначаются задания локальным системам автоматического управления

Соискатель Бородулин Б.Б. согласился с критическими замечанием 2, ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию, ответил на замечания 1, 3, предоставил необходимые числовые значения и пояснил как задаются ограничения по температуре, мощности и другие ограничения.

На заседании № 10 от 13 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение: за новые научно обоснованные технические решения и разработки в области автоматического управления температурой несущих конструкций автономных объектов, повышающие достоверность информации информационно-измерительных систем, имеющие существенное значение для развития страны, присудить Бородулину Б.Б. учёную степень кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 10 докторов наук по научной специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: «за присуждение учёной степени» – 19, «против» – 0.

Председатель заседания
диссертационного совета
24.2.377.04 (Д 212.217.07)

Рогачев
Геннадий Николаевич

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.2.377.04 (Д 212.217.07)

Ярославкина
Екатерина Евгеньевна

13 декабря 2023 г.

