

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 \_\_\_\_\_ г. № \_\_\_\_\_

О присуждении Савельевой Юлии Олеговне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Автоматическое управление температурным распределением несущей конструкции автономного объекта» по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами принята к защите 2 февраля 2022 г., протокол № 1, 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 Савельева Юлия Олеговна, 1992 года рождения, в 2020 году окончила очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», до 01.02.2022 работала ассистентом, на текущий момент работает старшим преподавателем кафедры «Информатика и системы управления» в филиале ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в городе Сызрани, Минобрнауки России.

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

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».

**Официальные оппоненты:**

Душин Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)», профессор кафедры «Автоматика и процессы управления», г. Санкт-Петербург;

Титов Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доцент кафедры «Космические системы и ракетостроение», г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация,**

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара в своем положительном заключении, подписанным 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 9 опубликованных научных работ по теме диссертации, среди которых 2 статьи, индексируемые в МБ Scopus, 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК. Опубликованные работы содержат описание структуры, алгоритма и конструкции системы автоматического управления температурным распределением на линии ответственного сечения несущих конструкций автономных объектов; методику моделирования, численные и аналитические модели температуры в несущих конструкциях автономных объектов; передаточные функции теплогидравлических процессов как объектов управления. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Суммарный объем публикаций с участием соискателя составляет 4,22 печатных листов, объем работ, написанных единолично, составляет – 2,95 печатных листа.

#### **Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Savelieva, Yu.O. Thermogradient dimensional stabilization of eddential cross-sections of the carrying structure of an autonomous object / Yu.O. Savelieva, M.Yu. Livshits, I.E. Adeyanov, I.A. Danilushkin // Cyber-Physical Systems: Design and Application for Industry 4.0. Vo.342. 2020, Pp.17-32. Scopus, Springer.

2. Livshits, M.Yu. Distributed control of temperature regimes for structure elements of autonomous objects / M.Yu. Livshits, B.B. Borodulin, Yu.O. Saveleva, A.V. Nenashev // IEEE Xplore Digital Library, 2019. Pp.500-503. Scopus. DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976547

3. Савельева, Ю.О. Учет температурных потерь конструкции автономного объекта при взаимодействии с окружающей средой в задаче термостабилизации / Ю.О. Савельева // CLOUD OF SCIENCE: Московский технологический институт (Москва). Т.7. №2. 2020. С.334-346.

4. Савельева, Ю.О. Моделирование процесса оптимального управления системой с распределенными параметрами / Ю.О. Савельева // Научный журнал Вестник НГИЭИ. №1 (92), Княгинино, 2019. С. 5-15.

5. Савельева, Ю.О. Решение задач оптимального управления системами с сосредоточенными параметрами с помощью принципа максимума Понтрягина /Ю.О. Савельева // ВЕСТНИК НГИЭИ: Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (Княгинино). №11(90). 2018. С.77-86.

#### **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 приведены следующие замечания: в главе 1 не приводится допустимое значение величины термодеформации, в качестве базового автономного объекта рассматривается малый космический аппарат, однако в краевой задаче (2.8)-(2.18) используется закон Ньютона для описания теплообмена несущей конструкции со средой, что не характерно для космических аппаратов; в главе 2 аналитическая модель построена в относительных величинах, однако решение задачи идентификации объекта управления представлено в абсолютных значениях переменных; в главе 3 на рисунке 3.1. представлена укрупненная структурная схема САУ температурным распределением ЛОС НК, однако для расчетов она разбивается на локальные САУ, поэтому неясно, не вносит ли это существенную погрешность в расчет; в главе 4 (раздел 4.3) на рисунке 4.8

выделены точки контроля, которые находятся, как на поверхности несущей конструкции, так и внутри нее, возникает вопрос о том, как физически осуществляется контроль температуры в этих точках, желательно привести обоснование мест установки датчиков температуры и их необходимое количество; в главе 4 (в разделе 4.5) не указана погрешность измерения температуры.

2. Отзыв официального оппонента д.т.н., профессора Душина Сергея Евгеньевича, в котором содержатся следующие вопросы и замечания: нет пояснений, как разработанная математическая модель системы управления учитывает динамику исполнительного механизма подсистемы жидкостного охлаждения; желательно обосновать выбор интегральной составляющей регуляторов при условии, что объект управления является астатическим (см. передаточные функции на стр.82), в то же время требования к установившейся ошибке (стр. 90) не предполагают получения нулевой установившейся ошибки; в работе ничего не говорится о единственности решения системы уравнений (3.14), допустимы ли иные решения; почему выбрана именно такая методика получения передаточных функций (стр. 49), хотя существуют и другие подходы; на стр.76 отмечается, что количество точек контроля корректируется численным экспериментом, однако неясно, какой вычислительный эксперимент из приведенных в работе устанавливает их число; на стр. 79 приведена схема идентификации параметров с использованием данных, полученных в ходе вычислительного эксперимента по уточненной численной модели, созданной с использованием программного средства ANSYS, однако, не менее важным представляется сравнение с данными, полученными непосредственно с объекта управления (данные натурного эксперимента); параметры передаточных функций после идентификации (стр. 82) содержат избыточное число значащих цифр, что не согласуется с измеренными физическими величинами, на основании которых, в конечном итоге, и осуществляется идентификация, при этом, как минимум, это ведет к большой трудоемкости ввода чисел в компьютерную модель; размерная величина - частота в точке максимума АЧХ по каналу управления, ограничивается показателем колебательности (формула (3.15)), который является безразмерной величиной; на стр. 126 делается упоминание по выбору шага с позиций точности и быстродействия работы алгоритма, однако отсутствуют рекомендации относительно выбора подходящего метода и шага интегрирования для обеспечения устойчивости вычислительной процедуры; на стр. 22 есть путаница с указанием номеров рисунков, циклограммы должны иметь обозначение единицы времени секунды как «с», отсутствуют знаки препинания после некоторых формул.

3. В отзыве официального оппонента к.т.н. Титова Дмитрия Михайловича указаны следующие замечания: в главе 2 области контакта пластины и трубопроводов разбиты на дискретные участки, номера которых обозначены как  $j$ ,  $j = \overline{1, J_d}$ , что совпадает с обозначением мнимой единицы разделе 3.4; в работе не указан ресурс времени, требуемого для расчета проекта ANSYS Workbench с реализованной в нем САУ; в главе 4 на рисунках, отражающих температуру на диагональной ЛОС НК, не показана расчетная длина ЛОС (2.92 м); в главе 4, на рисунках 4.36-4.41 отображается температурное поле пластины в разные моменты времени и под каждым рисунком есть цветовая шкала, соответствующая определенной температуре на несущей конструкции, однако, на пластине показаны серые области, а этого цвета на шкале нет, какая температура в этих областях; в главе 4 для значений подписей по

осемь графиков выбран очень мелкий шрифт; в работе нет схемы с размерами, которая иллюстрируют места контакта (области контакта) тепловой трубы и пластины, в технических условиях дан внутренний диаметр тепловой трубы и толщина стенки - подразумевается, что труба круглого сечения, но далее в работе упоминается о прямоугольной fi-ой области контакта тепловой трубы и пластины, на рисунке 4.1 показано прямоугольное сечение тепловой трубы; в главе 4, разделе 4.5 нет информации о мощности пленочного электронагревателя, его размеров; термоэлектрические нагреватели наклеиваются на теплорассеивающие подложки, но в работе не указан материал подложек (и его ТФХ), не указана толщина подложек, нет теплофизических характеристик клея; в структурной схеме объекта управления, представленной на рисунке 2.14, оператор Лапласа обозначен как «*r*», однако в разделе 2.6 используется обозначение «*s*»; в автореферате ошибочно упоминается фамилия Финченко дважды.

**На автореферат диссертации поступили 11 отзывов.**

1. Отзыв доцента каф. «Системы автоматического управления» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (г. Москва), к.т.н. Сутикова С.И. Замечания касаются размеров и формы областей контакта тепловыделяющей аппаратуры информационно-измерительной системы с несущей конструкцией автономного объекта и допущений, позволяющих линеаризовать краевую задачу.

2. Отзыв зав. каф. «Ракетно-космические композитные конструкции» ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (г. Москва), д.т.н., профессора Резника С.В. и профессора каф., д.т.н., доцента Просунцова П.В. Замечания касаются допустимой области применения предложенной САУ и обоснования использования линейной математической модели для конструкции с изотропными характеристиками.

3. Отзыв декана факультета авиационных двигателей, энергетики и транспорта ФГАОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа), д.т.н., профессора Ахмедзянов Д.А. Замечания касаются количества контрольных точек и допущениях при формулировке краевой задачи.

4. Отзыв профессора каф. «Информационно-коммуникационные системы и программная инженерия» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (г. Саратов), д.ф.-м.н., профессора Шульги Т.Э. Замечание касается выбора точек контроля и управления температурой.

5. Отзыв зав. каф. автоматизации процессов химической промышленности ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» (г. Санкт-Петербург), профессора, д.т.н. Русинова Л.А. Замечания касаются выбора закона регулирования и технической реализации системы автоматического управления.

6. Отзыв профессора научно-образовательного центра им.И.Н. Бутакова инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск), д.ф.-м.н. Кузнецова Г.В. Замечание касается обоснования достоверности результатов математического моделирования.

7. Отзыв зав. каф. «Автоматика и управление» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», (г. Челябинск) Казаринова Л.С. Замечание касается выбора точек контроля и точности стабилизации температуры.

8. Отзыв профессора каф. автоматики ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)» (г. Новосибирск), почетного работника сферы образования РФ д.т.н., доцента Французовой Г.А. Замечания касаются обоснования выбора точек контроля и сложности аббревиатур.

9. Отзыв профессора каф. «Автоматизированные системы управления тепловыми процессами» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», (г. Москва), д.т.н., профессора Андрюшина А.В. Замечания касаются учета многосвязности системы и технических средств реализации системы управления.

10. Отзыв профессора кафедры технической кибернетики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа, респ. Башкортостан), заслуженного деятеля науки и техники РФ, д.т.н., профессора Ильясова Б.Г. Замечания касаются соответствия представления в автореферате поставленных задач и полученных результатов.

11. Отзыв зав. каф. – руководителя отделения автоматизации и робототехники на правах кафедры ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск), к.т.н., доцента ВАК Филипса А.А. Замечания касаются сведений о натурных испытаниях.

Все отзывы положительные, отмечают актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость основных положений работы, соответствие диссертационной работы Савельевой Ю.О. требованиям «Положения о порядке присуждения 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 автоматического управления автономными объектами, моделирования и управления теплогидравлическими процессами промышленной теплофизики и авиационно-космических объектов и соответствием научных интересов тематике диссертации, что подтверждается публикациями в научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана новая система автоматического управления температурным распределением по линии сечения, ответственного за деформацию несущей конструкции автономного объекта, обеспечивающая снижение термоградиентной составляющей погрешности измерительной аппаратуры в условиях неравномерной и нестационарной тепловой нагрузки;

- предложены оригинальные функционально ориентированные на применение в системах управления аналитическая и численная модели температурного распределения в несущей конструкции в условиях воздействия на нее тепловыделяющей аппаратуры;

- доказана эффективность работы дискретно - распределенной системы автоматического управления температурой на линии ответственного за термодеформацию сечения несущей конструкции автономного объекта на основе анализа результатов моделирования.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказана целесообразность применения разработанной методики моделирования и функционально-ориентированных математических моделей теплогидравлических объектов в условиях нестационарной нагрузки в форме краевых задач и распределенных передаточных функций для эффективного синтеза дискретно-распределенных систем автоматического управления температурным состоянием теплонаруженных несущих конструкций;

- применительно к проблематике диссертации результативно использованы: законы механики сплошной среды, метод разделения переменных, метод конечных интегральных преобразований с использованием функций Грина, преобразование Лапласа для получения математических моделей в форме краевых задач математической физики и их решений, а также в форме пространственно-распределенных передаточных функций; альтернансный метод оптимизации для параметрического синтеза системы автоматического управления с распределенными параметрами; программные средства MATLAB System Identification Toolbox, Wolfram Mathematica, ANSYS Workbench для вычислительных экспериментов и имитационного моделирования;

- изложены теоретические основания методики математического моделирования температурного распределения на линии сечения, ответственного за термодеформацию несущей конструкции автономного объекта, для синтеза системы автоматического управления с распределенными параметрами;

- раскрыты существенные проявления теории теплогидравлических процессов при автоматическом управлении температурным состоянием несущей конструкции с помощью электрических поверхностных нагревателей и системы жидкостного охлаждения;

- изучены связи локальных систем автоматического управления поверхностными электронагревателями и температурой теплоносителя системы жидкостного охлаждения;

- проведена модернизация системы управления температурным состоянием несущей конструкции космического аппарата.

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

- разработаны и внедрены системы автоматического управления температурным распределением в несущих конструкциях, программы расчета и имитационного моделирования теплогидравлических процессов в несущей конструкции на предприятиях ООО «СКТБ «Пластик», АО «Тяжмаш», АО «Сызранский НПЗ», а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «СамГТУ» в качестве элементов образовательной технологии;

- определены преимущества и перспективы практического использования разработанных программных средств, методики моделирования и системы автоматического управления теплогидравлическими процессами в несущих конструкциях автономных объектов по сравнению с существующими;

- созданы методика моделирования и математическая модель управляемого температурного распределения в несущей конструкции, алгоритм и система автоматического управления температурой на линии ответственного сечения несущей конструкции автономного объекта при неравномерной тепловой нагрузке;

- представлены методические рекомендации, алгоритмы и программы для расчета и имитационного моделирования системы автоматического управления температурным состоянием несущей конструкции, обеспечивающей, по сравнению с известными, повышение качества работы бортовой информационно-измерительной аппаратуры за счет уменьшения термоградиентной погрешности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ результаты вычислительных экспериментов на уточненной конечно-элементной модели не противоречат фундаментальным физическим законам и подтверждают правомерность принятых при синтезе системы управления допущений;

- теория построена на положениях, не противоречащих известным данным о процессах тепломассопереноса и управлении сложными объектами с распределенными параметрами,

полученные выводы и рекомендации подтверждаются корректным использованием математического аппарата и имитационным моделированием;

- идея базируется на опыте эксплуатации автономных объектов;  
- использованы результаты анализа работ отечественных и зарубежных авторов, а также численного моделирования;

- установлено соответствие результатов имитационного моделирования работы системы автоматического управления в среде ANSYS с результатами, представленными для частных случаев, в независимых источниках.

- использованы современные методы решения краевых сопряженных теплогидравлических задач и методы теории автоматических систем с распределенными параметрами.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания.

1. В главе 4, разделе 4.5 не указана погрешность измерения температуры
2. Желательно обосновать выбор интегральной составляющей регуляторов при условии, что объект управления является астатическим (см. передаточные функции на стр.82). В то же время требования к установившейся ошибке (стр. 90) не предполагают получения нулевой установившейся ошибки.
3. В работе не указан ресурс времени, требуемого для расчета проекта ANSYS Workbench с реализованной в нем САУ.

Соискатель Савельева Ю.О. согласилась с критическими замечаниями №1 и №3 и ответила на замечание №2 - обосновала необходимость интегральной составляющей в структуре регулятора, и №4 – более подробно пояснила различие обеих форм преобразования Лапласа.

На заседании № 2 от 05.04.2022 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, присудить Савельевой Ю.О. 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 20 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» – 20, «против» - 0.

Председатель заседания  
диссертационного совета  
24.2.377.04 (Д 212.217.07)

Ученый секретарь диссертационного  
совета 24.2.377.04 (Д 212.217.07)



Сергей Павлович Орлов

Екатерина  
Ярославкина

Евгеньевна

05.04.2022 г.