

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу  
Савельевой Юлии Олеговны «Автоматическое управление температурным  
распределением несущей конструкции автономного объекта»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами

#### **Актуальность**

На конструкции большинства автономных объектов устанавливается тепловыделяющее оборудование, влияющее на их температурный режим. Несоблюдение требуемого температурного режима негативно сказывается на точности показаний высокоточного оборудования сложных автономных объектов.

Поддержание теплового режима в настоящее время обеспечивается теплозащитными и терморегулирующими мерами: различными видами теплоизоляции, адекватными тепловой нагрузке техническими решениями – проектными характеристиками конструкции, ее формой и материалом, схемой расположения тепловыделяющих приборов; выбором траектории перемещения автономного объекта, режимов функционирования, энергетическими характеристиками тепловыделяющей аппаратуры; системами терморегулирования или системами обеспечения теплового режима. Повышение эффективности и производительности автономных объектов за счет применения систем распределенного автоматического управления температурным режимом в ответственных участках несущих конструкций наталкивается на проблему адекватного функционально-ориентированного математического и численного моделирования.

Предложенная в диссертации методика комплексной разработки системы автоматического управления (САУ) работой, размещенных на несущей конструкции автономного объекта, теплоисточников в составе средств термоградиентной стабилизации (СТГС) и системы жидкостного охлаждения (СЖО), позволяет избежать проблем, связанных с температурной погрешностью используемых оптико-электронных средств автономного объекта и снизить вероятность появления термодформации, которая способна исказить показания измерительного приборного оборудования и может привести к невозможности выполнения автономным объектом целевых задач в целом.

#### **Содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав,

заклЮчения, основных сокращений, основных условных обозначений, списка использованных источников из 173 наименований, четырех приложений.

*Первая глава.* Приводятся сведения об автономных объектах, как сложных технических устройствах, включающих в себя навигационные комплексы, для определения своего местоположения и коррекции курса, и информационно-измерительные комплексы для получения, обработки, передачи и хранения рабочей информации. Приводится анализ основных методов исследования задач теплопроводности. Представлена техническая постановка задачи диссертационного исследования, которая сводится к поиску комбинированного управления локальным нагревом и охлаждением несущей конструкции автономного объекта для обеспечения заданного температурного состояния несущей конструкции и обеспечения ее размерной стабильности в условиях нестационарного теплового нагружения.

*Вторая глава.* Представлено математическое описание задачи, произведена декомпозиция исходной задачи на отдельные подзадачи. Разработан алгоритм аналитического определения температурного распределения в несущей конструкции автономного объекта. Получены передаточные функции объекта управления. Предложена процедура идентификации параметров передаточных функций объекта управления в программной среде MATLAB по результатам вычислительного эксперимента, полученным в ANSYS Workbench - современной расчетной платформе для численного моделирования.

*Третья глава.* На основе математического описания распределения температуры в теплонагруженной информационно-измерительными системами несущей конструкции автономного объекта, разработана структурная схема САУ, реализующая пропорционально-интегральный и пропорционально-интегрально-дифференциальный законы регулирования. Синтезирована в программной среде MATLAB система обеспечения теплового режима в диагональном сечении несущей конструкции. На базе альтернативного метода, обеспечивающего достижение предельных показателей качества управления температурой при заданных ограничениях на максимум амплитудно-частотных характеристик замкнутой системы, определены коэффициенты регуляторов САУ температурой ответственного сечения объекта.

*Четвертая глава.* Разработан алгоритм и метод моделирования объекта исследования в программной среде ANSYS Workbench. Расчетные методики и моделирование сопряженных теплогидравлических краевых задач обеспечивают комплексное отражение совокупности тепловых процессов в несущей конструкции автономного объекта. Реализовано управление дискретно-распределенной САУ температурой диагонального сечения несущей конструкции в ANSYS Workbench.

#### **Научная новизна**

В диссертационной работе Савельевой Ю.О. получены следующие новые научные результаты:

1. Сформулировано математическое описание температурного поля несущей конструкции автономного объекта, базирующееся на основных положениях и законах теплопроводности, технической теплофизики. Получены аналитические решения, которые, в отличие от известных, позволяют описать сопряженный характер теплообмена в несущей конструкции автономного объекта.
2. Построена в среде MATLAB функционально-ориентированная математическая модель температурного поля конструкции автономного объекта, с достаточной степенью адекватности отражающая реальный процесс за счёт параметрической идентификации.
3. На основе преобразованной в форму передаточных функций математической модели температурного поля теплонагруженной несущей конструкции автономного объекта осуществлен структурно-параметрический синтез САУ температурой, как объекта с распределенными параметрами, реализующей пропорционально-интегральный и пропорционально-интегрально-дифференциальный закон управления. Рассматриваемый объект управления отличается сложностью построения передаточной функции, его описывающей. Самостоятельный интерес представляет синтез регулятора на основе методов теории оптимального управления, который позволяет получить высокое качество управления температурным распределением, как динамическим объектом управления.
4. Разработан алгоритм управления проектом в ANSYS Workbench с помощью кода, написанного на языке Python, использующего для регуляторов параметры, полученные с помощью альтернативного метода параметрической оптимизации. Результаты моделирования подтверждают эффективность разработанного алгоритма.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений,  
выводов, рекомендаций и заключений**

Савельевой Ю.О. в диссертации корректно используются математический аппарат и известные научные методы для обоснования положений и выводов, которые соответствуют фундаментальным физическим законам.

Верификация разработанной в программной среде ANSYS Workbench численной модели САУ подтверждается совпадением результатов моделирования с результатами работы САУ в среде MATLAB Simulink.

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, использовались при выполнении НИР по проектам Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ. Научные положения, выводы и рекомендации можно считать в достаточной степени обоснованными и достоверными.

**Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и  
практики**

Практическая полезность работы определяется тем, что разработанная методика термостабилизации конструкции предназначена для автономных объектов различного назначения. Разработанный проект может быть расширен дополнительными расчетными модулями ANSYS.

Следует отметить, что в соответствии с приведенными в диссертации актами, результаты научного исследования Савельевой Ю.О. были использованы в ООО «СКТБ «Пластик», АО «ТЯЖМАШ», АО «Сызранский НПЗ» и внедрены в учебный процесс кафедры «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

### Замечания по диссертационной работе

Несмотря на отмеченные положительные стороны диссертационной работы, в ней содержатся отдельные элементы, нуждающиеся в уточнении:

1. 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.
2. В работе не указан ресурс времени, требуемого для расчета проекта ANSYS Workbench с реализованной в нем CAU.
3. В главе 4 на рисунках, отражающих температуру на диагональной ЛОС НК, не показана расчетная длина ЛОС (2.92 м).
4. 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?
5. В главе 4 для значений подписей по осям графиков выбран очень мелкий шрифт.
6. В работе нет схемы с размерами, которая иллюстрирует 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  $f_1$ -ой области контакта тепловой трубы и пластины, на рисунке 4.1 показано прямоугольное сечение тепловой трубы.
7. В главе 4, разделе 4.5 нет информации о мощности пленочного электронагревателя, его размеров.
8. Термоэлектрические нагреватели наклеиваются на теплоотсеивающие подложки, но в работе не указан материал подложек (и его ТФХ), не указана толщина подложек, нет теплофизических характеристик клея.
9. В структурной схеме объекта управления, представленной на рисунке 2.14, оператор Лапласа обозначен как  $p$ , однако в разделе 2.6 используется обозначение  $s$ .
10. В автореферате ошибочно упоминается фамилия Финченко дважды.

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации.

**Заключение о соответствии диссертации критериям,  
установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

В диссертационной работе Савельевой Ю.О. решается актуальная научно-техническая задача управления температурным режимом технически сложного автономного объекта, решение которой позволяет обеспечить стабильность функционирования рассматриваемого объекта.

Работа выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК при Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям. Диссертация оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Диссертация (структура и содержание) соответствует целям и задачам исследования, материал изложен логически связанно.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации.

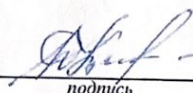
Диссертация соответствует предметной области научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Представленная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК при Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Савельева Юлия Олеговна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

**Официальный оппонент**

Титов Дмитрий Михайлович, доцент кафедры «Космические системы и ракетостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский авиационный  
институт (национальный  
исследовательский университет)»  
125993, г. Москва, ул. Волоколамское  
шоссе, дом 4, [mai@mai.ru](mailto:mai@mai.ru),  
тел. +7 499 158-92-09  
[d.titov@mai.ru](mailto:d.titov@mai.ru)

  
подпись

Титов Дмитрий Михайлович

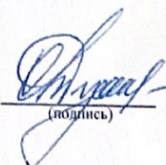
« 14 » марта 2022 г.

Подпись Титова Дмитрия Михайловича удостоверяю:

Директор института № 6 «Аэрокосмический»



М.П.

  
(подпись)

/О.В. Тушавина/  
(Фамилия И.О.)