

## 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

### 1. Актуальность диссертационного исследования

Диссертация Ю.О. Савельевой посвящена решению важнейшей научно-практической задаче, связанной с проблемой обеспечения требуемого пространственного распределения температурного поля в рабочем объеме автономного объекта управления. В качестве автономного объекта в работе рассматривается техническое устройство, управление которым производится без участия оператора либо допускается дистанционное управление с пульта управления, примером которого является космический аппарат. Решение задачи направлено на поддержание заданного поля температуры в местах размещения оптико-электронной контрольно-измерительной аппаратуры и предотвращение неравномерности температурного распределения в ответственных сечениях несущих конструкций, вызывающей недопустимые отклонения оптических осей приборов. С целью решения указанных задач выбраны активные средства комбинированного терморегулирования: нагревательные электрические элементы, системы жидкостного охлаждения, что, конечно, приводит к повышению энергозатрат. Снижение энергетических затрат достигается рациональным размещением термонагревательных элементов и расположением контуров охлаждения и, что важно, эффективным управлением распределенными процессами нагрева и охлаждения, которое требует разработки адекватного математического моделирования и применения современных методов теории управления.

Работа соискателя выполнялась в рамках известной в стране и за рубежом научно-исследовательской школы проф. Э.Я. Рапопорта и его учеников, успешно развивающую теорию пространственно-распределенных систем управления применительно к различным теплофизическим объектам, что, во многом, предопределило выбор методов и подходов к решению поставленных задач.

Перечисленное позволяет сделать заключение, что тема диссертации Ю.О. Савельевой, посвященная разработке математических моделей и систем управления распределением температурного поля по несущей конструкции автономного объекта, представляется важной и **актуальной**.



## **2. Анализ структуры и содержания работы**

Диссертационная работа Ю.О. Савельевой состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Работа изложена на 192 страницах, список литературы включает 173 наименования.

Рукопись диссертации оформлена согласно ГОСТ Р 7.01.11-2011 и ГОСТ 2-105. Диссертация отличается логической связностью, структура и содержание работы отвечают целям и задачам исследования. Автореферат соответствует основным положениям диссертационной работы.

По результатам проведенных исследований автором опубликовано 9 научных работ, в том числе 3 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ, 4 – в журналах, входящих в РИНЦ, 2 – в изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе Scopus.

Опубликованные работы достаточно полно отражают основные результаты, полученные в рамках диссертационного исследования.

## **3. Научная новизна основных результатов и выводов диссертации**

В диссертационной работе соискателем были получены следующие новые научные результаты.

1. Разработана математическая модель температурного состояния несущей конструкции в условиях нестационарного и неравномерного воздействия, ориентированная на применение в системах управления в автономных объектах и, на ее основе, предложена методика моделирования температурного поля. Методика отличается от известных использованием сопряженных краевых условий управляемых процессов термоэлектрического нагрева и жидкостного охлаждения, аналитическим и численным решениями, на которой базируется последующий синтез систем управления.

2. Разработана система управления температурным распределением в условиях действия неравномерных и нестационарных возмущений тепловыделяющей измерительной аппаратуры и внешней среды. Отличительная особенность синтезированной системы состоит в рациональном использовании распределенного управления мощностью, размещенных на линии сечения несущей конструкции, ответственной за термическую деформацию, управляемых локальных термоэлектрических нагревателей, и температурой жидкостного теплоносителя на входе трубопровода.

3. Разработана модель в виде структурной схемы, содержащая передаточные функции распределенных звеньев, описывающих неравномерное нестационарное распределение температуры в несущей конструкции, позволяющая одновременно отразить управляемые теплообменные и гидравлические процессы, возникающие в трубопроводе с теплоносителем и на границе с несущей конструкцией. Предложенная и реализованная в программной среде MATLAB/Simulink структурная модель представляет собой конечномерную аппроксимацию объекта управления с распределенными параметрами и, в отличие от известных, позволяет на основе параметрической идентификации осуществлять декомпозицию структуры



и производить альтернативным методом оптимальную по заданным критериям параметрическую настройку локальных регуляторов.

4. В программной среде ANSYS разработана, базирующаяся на методе конечных элементов, компьютерная модель системы управления сопряженным теплогидравлическим процессом температурного распределения на линии ответственного сечения несущей конструкции. В отличие от известных, представленная модель не стеснена определенными допущениями, присущими другим моделям. Ее особенность заключается в наличии программного блока управления моделированием температурных процессов на линии ответственного за термоградиентную деформацию сечения несущей конструкции автономного объекта, написанным на языке Python.

#### **4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений**

Основные положения, выносимые на защиту, направлены на устранение проблем в автономных объектах, связанных с перепадами температуры и возможностью появления термодформации конструкции в местах установки чувствительной высокоточной оптико-электронной аппаратуры, вызывающих недопустимые погрешности в показаниях измерительных приборов и приводящих к потере работоспособности объекта, достаточно обоснованы и в полной мере согласуются с известными результатами в исследуемой предметной области.

Достоверность полученных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций достигается корректным использованием: законов классической механики (сохранения масс и энергии, движения Ньютона); методов математической физики; конечных интегральных преобразований, функций Грина; альтернативного метода параметрической оптимизации (результат исследований научной школы Э.Я. Рапопорта); методов теории автоматического управления; программных средств моделирования ANSYS Workbench; программных средств MATLAB System Identification Toolbox и Wolfram Mathematica.

#### **5. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики**

Полученные в диссертационной работе результаты (аналитическая математическая модель температурного распределения несущей конструкции, математическая модель объекта управления, представленная в форме структурной схемы и реализованная в программной среде MATLAB/Simulink, уточненная численная модель в форме сопряженной теплогидравлической краевой задачи в программной среде ANSYS Workbench, алгоритм управления сопряженным теплогидравлическим температурным распределением в несущей конструкции автономного объекта) безусловно имеют научную



ценность и практическую значимость при проектировании автономных объектов различного назначения.

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались на международных и всероссийских научных конференциях.

Результаты диссертационной работы внедрены на предприятии ООО «СКТБ «Пластик», которое занимается разработкой и изготовлением продукции из композиционных материалов ракетно-космической отрасли, и использованы при проектировании размеростабильных несущих конструкций из полимерных композиционных материалов. Результаты исследования также использовались предприятиями АО «ТЯЖМАШ» и АО «Сызранский НПЗ». Имеются соответствующие документы, подтверждающие внедрение и использование результатов.

Основные результаты диссертации внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «СамГТУ» при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника», о чем имеется соответствующая справка.

## **6. Замечания по диссертационной работе**

По диссертации имеются вопросы и замечания.

1. Нет пояснений, как разработанная математическая модель системы управления учитывает динамику исполнительного механизма подсистемы жидкостного охлаждения.

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 ничего не говорится о единственности решения системы уравнений (3.14). Допустимы ли иные решения?

4. Почему выбрана именно такая методика получения передаточных функций (стр. 49), хотя существуют и другие подходы?

5. На стр. 76 отмечается, что количество точек контроля корректируется численным экспериментом. Какой вычислительный эксперимент из приведенных в работе устанавливает их число?

6. 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).

7. 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. Как минимум, это ведет к большой трудоемкости ввода чисел в компьютерную модель.



8. Размерная величина частота в точке максимума АЧХ по каналу управления ограничивается показателем колебательности (формула (3.15)), который является безразмерной величиной.

9. 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.

10. На стр. 22 есть путаница с указанием номеров рисунков. Циклограммы должны иметь обозначение единицы времени секунды как с. Отсутствуют знаки препинания после некоторых формул.

Перечисленные замечания не носят принципиального характера и не снижают научно-практической ценности выполненной исследовательской работы.

#### **7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней**

В диссертации Савельевой Юлии Олеговны «Автоматическое управление температурным распределением несущей конструкции автономного объекта» поставлена и решена задача автоматического управления трехмерным температурным полем несущей конструкции автономного объекта по критерию равномерности температуры в заданном сечении конструкции.

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, обладающей внутренним единством, логичностью изложения, написана ясным научным языком. Оформление диссертации соответствует установленным государственными стандартами требованиям. Диссертация содержит новые научные результаты и положения.

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

Учитывая актуальность темы исследований, научную новизну и практическую значимость результатов, считаю, что представленная диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК при Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор этого исследования, Савельева Юлия Олеговна **заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук** по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры Автоматики и процессов управления  
Федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

С.Е. Душин

Подпись профессора Душина Сергея Евгеньевича, удостоверяю.



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Адрес: 197376, г. Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5.

Контактный телефон: +7(812)346-44-87, контактный факс: +7(812)346-27-58

Адрес электронной почты: [root@post.etu.spb.ru](mailto:root@post.etu.spb.ru). Веб-сайт: <http://www.eltech.ru>