

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Викулов Алексей Геннадьевич

Тема диссертации: Идентификация математических моделей теплообмена в космических аппаратах

Специальность: 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 16 сентября 2019 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Викулову Алексею Геннадьевичу учёную степень доктора технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Равикович Ю.А., *учёный секретарь диссертационного совета* Зуев Ю.В., Агульник А.Б., Абашев В.М., Демидов А.С., Коротеев А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А., Чванов В.К.

Учёный секретарь диссертационного совета

Д 212.125.08, д.т.н., профессор

 Ю.В. Зуев

И.о.начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16.09.2019 г. № 10

О присуждении Викулову Алексею Геннадьевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Идентификация математических моделей теплообмена в космических аппаратах» по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» принята к защите 22.04.2019 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России), 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета – №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Викулов Алексей Геннадьевич, 1981 года рождения, работает доцентом в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Контактная теплопроводность твердых тел и её применение для термического регулирования в космических энергетических установках» защитил в 2007 году в диссертационном совете, созданном на базе федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре «Космические системы и ракетостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук Ненарокомов Алексей Владимирович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Космические системы и ракетостроение», профессор.

Официальные оппоненты:

Лившиц Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов», заведующий кафедрой;

Резник Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра «Ракетно-космические композитные конструкции», заведующий кафедрой;

Финченко Валерий Семёнович, доктор технических наук, акционерное общество «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина», ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», г. Королёв, в своём положительном отзыве, подписанном Алексеевым Алексеем Кирилловичем,

доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником, и утверждённом Микриным Евгением Анатольевичем, доктором технических наук, профессором, академиком РАН, генеральным конструктором – первым заместителем генерального директора, указала, что диссертационная работа Викулова Алексея Геннадьевича «Идентификация математических моделей теплообмена в космических аппаратах» является завершённой научной работой, выполненной на высоком научном уровне, в которой на основании проведённых автором исследований найдены научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие экономики и повышение технологического уровня страны, и отвечает требованиям «Положений ВАК РФ о порядке присуждения учёной степени доктора технических наук» по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Соискатель имеет 32 опубликованные работы, в том числе, по теме диссертации опубликована 21 работа общим объемом 15 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 18 работ. Из 21 работы 17 – статьи в научных журналах, 3 – тезисы докладов на конференциях, 1 – патент на изобретение. В соавторстве написано 17 статей, 3 статьи – единолично.

В опубликованных работах рассмотрено современное состояние теории контактного теплообмена, тепловые проводимости которого являются наряду с угловыми коэффициентами излучения наиболее сложными для идентификации функциями; проанализированы методы регуляризации первого и второго порядка; получены аналитические выражения для расчёта неопределённых множителей Лагранжа и шага спуска метода итерационной регуляризации, разработан модифицированный вариационный метод итерационной регуляризации, применённый для идентификации математических моделей теплообмена в конструктивных элементах космических аппаратов при их тепловой отработке; исследованы некоторые вопросы термодинамики. Опубликованные теоретические и экспериментальные результаты получены автором лично или при его непосредственном участии.

Содержащиеся в диссертации сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах достоверны.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации в рецензируемых мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки (Web of Science)»:

1. Меснянкин С.Ю., Викулов А.Г., Викулов Д.Г. Современный взгляд на проблемы теплового контактирования твердых тел // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. №9. С. 945-970.

2. Викулов А.Г., Викулов Д.Г., Меснянкин С.Ю., Фельдман А.Ю. Экспериментальное исследование электронной проводимости контакта алюминиевых материалов при наличии поверхностных нанопленок // Теплофизика высоких температур. 2015. Т. 53. № 1. С. 39-47.

3. Викулов А.Г., Ненарокомов А.В. Уточненное решение вариационной задачи идентификации математических моделей теплообмена с сосредоточенными параметрами // Теплофизика высоких температур. 2019. Т. 57. № 2. С. 234-245.

4. Викулов А.Г., Ненарокомов А.В. Идентификация математических моделей теплообмена в космических аппаратах // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 1. С. 32-45.

Патенты:

Пат. 66039 Российская Федерация, МПК G01K 7/02. Датчик теплового потока [Текст] / Викулов Д. Г., Викулов А. Г., Меснянкин С. Ю.; заявитель и патентообладатель Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (RU). – № 2007114611/22; заявл. 17.04.2007 ; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 24. – 2 с. : ил.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора технических наук, профессора Лившица Михаила Юрьевича содержит замечания:

1. Несмотря на имеющееся достаточно большое количество работ, связанных с конечномерной аппроксимацией математических моделей с распределенными параметрами вообще, и математических моделей в форме краевых задач теплообмена в частности, следовало бы обосновать для конкретных приложений использование этих конечномерных форм для параметрической идентификации распределенных математических моделей.

Ссылки на предложенную Н.В. Дилигенским и С.Л. Балаковским концепцию двухмодельного итерационного метода решения обратной задачи теплообмена, по мнению оппонента, недостаточно, т.к. в этой концепции для конкретных приложений проанализирована корректность предельного перехода от одной модели к другой путем анализа сжимающих свойств оператора перехода, чего нет в диссертации.

Для определенных видов конечномерной аппроксимации даже простейших обратных задач теплопроводности этот предельный переход носит сингулярный характер, что в ряде приложений может приводить к принципиально ошибочным выводам. В частности, результаты по наблюдаемости и управляемости распределенных систем и их конечномерной аппроксимации принципиально не совпадают даже при большой размерности такой аппроксимации (см., например работы Ф.П. Васильева, Э.Я. Рапопорта и т.п.)

При этом итерационное уточнение параметров (см. рис. 2.5) путем сравнения МРП и МСП может быть немонотонным или вообще расходящимся.

2. В работе отсутствует обоснование, позволяющее считать элементы СЧ КА теплотехнически тонкими в условиях нестационарной тепловой нагрузки, поэтому аппроксимация краевой задачи (2.1) системой уравнений (2.8) в предположении, что каждый узел модели с сосредоточенными параметрами является изотермическим, требует для обеспечения приемлемой погрешности большого количества N уравнений системы (2.8) и аналогичных ей систем, описывающих в конечномерном пространстве СЧ КА.

Это обстоятельство требует указания на специальные экономичные методы для решения больших систем уравнений при минимизации соответствующих функционалов.

3. Оценка расхождений между расчетными и экспериментальными данными, опирающаяся на решение (2.113) дифференциального уравнения первого порядка, с постоянными коэффициентами нуждается для процесса теплообмена в дополнительном обосновании с указанием границ ее применимости, т.к. аналогия справедлива только в отдельных частных случаях стационарного процесса в теплотехнически тонких изотропных телах с постоянными теплофизическими характеристиками.

4. Оценка устойчивости МРП на основании анализа собственных чисел λ_j ; матрицы обратной конечномерной задачи МСП требует оценки сходимости собственных чисел обратных задач МСП и МРП. Поэтому выводы п. 3.1.2 диссертации требуют уточнения.

5. Метод синтеза алгоритма управления мощностью внутренних теплоисточников в системе терморегулирования СЧ КА на основе решения обратной задачи теплообмена, предложенный в разделе 5.4, нуждается в дополнительном обосновании, т.к., по существу, автор не предложил метод синтеза системы стабилизации заданной постоянной или переменной температуры, обеспечивающий требуемые (или оптимальные) показатели качества системы в динамике и статике при возмущениях различного уровня, частотного спектра и места приложения в структуре системы.

6. Несмотря на грамотное и корректное изложение, встречаются стилистические и логические недостатки в оформлении диссертации. Так на стр. 9 употребляется непонятный термин: «физические процессы первого порядка...», неясно для чего на стр. 71 приведены взаимно обратные графики удельных тепловых сопротивлений и проводимостей, на стр.13 автореферата используются обозначения из диссертации без пояснений, что затрудняет восприятие материала автореферата и т.д.

Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора технических наук, профессора Резника Сергея Васильевича содержит замечания:

1. Диссертационная работа А.Г. Викулова является продолжением научных исследований в области теплового проектирования и идентификации процессов теплообмена КА, которые на протяжении более 40 лет ведутся в МАИ. Поэтому кажется странным, что автор плохо обосновал тему диссертации.

Название диссертации «Идентификация математических моделей теплообмена в космических аппаратах» неудачное по форме и не соответствует содержанию. Его можно было бы заменить на «Идентификация моделей теплообмена автоматических космических аппаратов по результатам тепловакуумных испытаний». В авторском варианте не определены типы КА и характерные для них виды испытаний. Нет подтверждений универсальности подходов и того, что научные результаты и выводы можно распространить на любые типы КА. К примеру, разработанные в диссертации методы не учитывают особенности теплообмена и наземных испытаний крылатых КА, возвращаемых КА и их составных частей.

2. Во введении автор изложил свой взгляд на актуальность диссертационной работы, сформулировал цель и задачи работы, ее соответствие приоритетным научно-техническим направлениям. Однако, по нашему мнению, нет ясного и четкого объяснения: какую проблему собирается решать автор и, главное, зачем? Учитывая, что тепловые, и, в частности, термовакуумные испытания КА ведутся уже десятки лет, а методология обратных задач теплообмена развивается больше полувека, стоило бы убедительно объяснить какой новый и полезный результат будет достигнут диссертантом и в чем уникальность предлагаемых методов и средств?

3. Обращение к формулировке цели диссертации только подтверждает вышесказанное. Цель, как-бы, тройственная: а) – математическая формализация метода тепловой отработки космических аппаратов на основе математического моделирования и решения обратных задач теплообмена, б) – разработка метода

итерационной регуляризации решения нелинейных задач на основе вариационного метода Тихонова и 3) – методологическое обоснование системного применения этих методов для создания новой космической техники. Возникает вопрос: неужели ранее тепловые испытания проводились наугад без математического обеспечения, без того, что диссертантом именуется математической формализацией? Автору следовало бы объяснить в чем отличие его подходов от работ тех, кто уже внес заметный вклад в математическое обеспечение проектных исследований тепловых режимов объектов ракетной и космической техники и их тепловых испытаний.

4. Данная формулировка цели не содержит обязательств в части достижения принципиально новых и практически полезных результатов, типа повышения точности проектирования, сокращения сроков проектирования или испытания КА, придания им новых качеств, таких как снижение массы, габаритов, увеличения ресурса и т.п. Отсюда сомнения в весомости «математической формализации метода тепловой отработки космических аппаратов на основе *математического* моделирования и решения обратных задач теплообмена» как значительной части докторской диссертации.

5. Под статью цели и вытекающие из нее задачи. Так, первая задача состоит в методологической систематизации и математической формализации расчетно-экспериментального метода тепловой отработки КА с использованием ОЗ. Какую пользу принесет «методологическая систематизация»? Если это предложенная диссертантом классификация задач идентификации и ОЗ теплообмена, то в этом, по большому счету, нет никакой нужды. Тем более, что она не лучше известных классификаций, а хуже.

6. Основные виды идентификации – структурная и параметрическая. Упомянутая на стр. 6, 11, 36, 150, 233 «функциональная идентификация» является разновидностью параметрической идентификации и в задачах теплообмена пока «не прижилась». Это термин встречается в трудах по медицине и психологии, но совершенно в ином смысле. Еще один термин «иерархическая идентификация» (стр. 46, 51). Известно, что сложные системы

имеют иерархическую структуру. Диссертант заимствовал этот термин в работе Голева Р.В. и Четкарева В.А. (Иерархическая идентификация тепловых процессов при разработке технических систем и технологий // ИФЖ. 1989. Т. 56. №3. С. 411-414), а вместе с этим еще один термин «единый итерационный процесс параметрического синтеза». Звучит звонко, однако в чем его преимущества и почему его нужно применять в данной работе диссертант не сообщил.

7. Что касается классификации обратных задач теплообмена, то она сложилась достаточно давно и легко доступна (см., например, Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена. М.: Машиностроение, 1988. 280 с.). По сложившейся классификации ОЗ делятся на задачи проектирования, управления и идентификации, на математически корректные и некорректные. В зависимости от того какие величины (параметры) являются искомыми различают граничные, геометрические, коэффициентные и ретроспективные ОЗ (кстати, о геометрических ОЗ диссертант вообще не упоминает). При классификации ОЗ теплообмена учитываются механизмы передачи теплоты: конвекция, теплопроводность, излучение и их комбинации (теплопроводность и излучение, теплопроводность и конвекция и др.).

8. Объектом исследования диссертационной работы являются математические модели теплообмена с сосредоточенными параметрами, методы их идентификации, регуляризации решения обратных задач, и вычисления погрешности. Такое определение объекта и предмета научных исследований на наш взгляд ошибочно. Объектом исследований должны являться КА, а предметом – тепловые процессы, сопровождающие их работу и испытания. В противном случае предметная область исследований смещается в область математического моделирования и не соответствует научной специальности диссертации.

9. В рассуждениях о зависимости точности решения ОЗ на стр.46 автор не упомянул о влиянии на точность двух важных факторов – точности вычислений и точности задания параметров, заданных по условиям задачи, как правило,

справочных. Конечно, за последние десятилетия точность вычислений заметно выросла, и нет проблем с аппроксимации дифференциальных или интегральных параметров разностными аналогами, выбором схем счета, но сам фактор остался.

10. Выводы к главе 1 занимают 4 страницы текста. Без потери смысла часть материалов из них можно было бы перенести в основной текст главы.

11. Замечания и пожелания:

11.1. Тема диссертации, формулировка актуальности, цели и задач не дают ясного и четкого представления о конкретной области исследований автора, ее месте среди других работ и ожидаемой ценности научных результатов.

11.2. Основополагающими элементами методологии диссертации являются: иерархическая идентификация [76 – Голев Р.В., Четкарев В.А. Иерархическая идентификация тепловых процессов при разработке технических систем и технологий // ИФЖ. 1989. Т. 56. №3. С. 411-414], двухмодельный метод [115 – Балаковский С.Л., Дилигенский Н.В. О двухмодельном итерационном методе решения граничной обратной задачи теплообмена // ИФЖ. 1989. Т. 56. №2. С. 313-319] и модифицированный вариационный метод итерационной регуляризации (вариационно-итерационный метод), разработанный в диссертации. Поскольку пионерные исследования в этих вопросах принадлежат другим специалистам, то следовало бы указать роль автора в развитии данной методологии.

11.3. Преимущества выбранного подхода к моделированию и идентификации теплообмена КА с помощью моделей с сосредоточенными параметрами по-сути не раскрыты. Нет ссылок на предшествующие научные работы, где также решались задачи параметрической идентификации на основе моделей с сосредоточенными параметрами (например, Исимото, Пан Методы коррекции тепловых моделей в кн. Теплообмен и тепловой режим космических аппаратов; под ред. Дж. Лукаса. М.: Мир, 1974. С. 301-326; Методы и алгоритмы идентификации радиационных характеристик терморегулирующих

покрытий по результатам летных экспериментов / Е.А. Артюхин, О.Б. Жукова-Хованская, А.В. Ненарокомов и др. // Препринт ИКИ АН СССР № 1336. М.: ИКИ АН СССР, 1988. 52 с.) и нет сравнения с результатами других авторов.

11.4. В списке авторских публикаций, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, только 9 из 17 отвечают теме докторской диссертации, еще 8 посвящены исследованию теплового контакта твердых тел и связаны с результатами исследований кандидатской диссертации.

11.5. Имеются недостатки в оформлении:

На стр. 30 слово «*применения*» во фразе «В пределах методология тепловой обработки и *применения* космических систем должна...» следует заменить на слово «*проектирования*».

На рисунках 4.2, 4.4, 4.6, 4.9, 4.11, 4.14, 4.16, 4.20, 4.22, 4.25, 4.27, 4.29, 4.31, 5.13, 5.18, 5.23, 5.28 трудно разобрать отличие значений расчетных и экспериментальных температур. Масштаб рисунков можно было бы увеличить или дать сравнение температур в табличном виде.

В списке литературы имеются опечатки. Так, в п. 172 фамилия одного из авторов Миков, а не Маков; в п. 236 фамилии авторов, название и объем указаны на русском языке, а место издания и издательство – на английском; п. 241 имеет странную нумерацию 238>241; источники п.п. 237, 239, 242, 243, 248, 249, 255, 270, 271, отсылающие к трудам научных конференций оформлены с отступлением от ГОСТ 7.0.5-2008, 7.0.11-2011; в п. 248 отсутствует название публикации; п 246 и 247 дают ссылку на одну и ту же работу – кандидатскую диссертацию автора, причем в диссертации вместо 2007 года указан 200 год;

По нашему мнению, перечисленные замечания свидетельствуют о том, что А.Г. Викулов мог бы полнее и убедительнее раскрыть научную и практическую значимость своей диссертации.

Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора технических наук Финченко Валерия Семёновича содержит замечания:

1. верификация автором разработанного метода двухмодельного математического моделирования, проведённая на физических объектах простейшей конструкции, не достаточно убедительна для уверенного его использования в расчётно-экспериментальной тепловой отработке КА, СОТР которых описывается тепло-гидравлическими моделями.

2. в работе отсутствуют сведения о наличии комплексной вычислительной программы, реализующей возможность проведения теплофизических расчётов по предложенному модифицированному методу (ссылки на Свидетельство её регистрации или приведение в тексте работы её структуры, блок-схемы, инструкций по применению и т.д.). Это может препятствовать возможности широкого практического использования полученных в диссертации результатов исследований.

3. приведённые в работе точности по определению теплового сопротивления пакета ЭВТИ, её излучательной способности и др. не дают представления о математической точности собственно расчётных методов и как она коррелируется с точностью определения тепловых параметров физической модели испытуемого объекта в тепловакуумной камере.

4. как уже отмечалось в отзыве, изложение работы автором выдержано в стиле написания специализированной научной монографии – математические действия и операции описываются в неопределённо-личной форме: записывается, полагается, преобразуется, аппроксимируется, принимается и т.д. Поэтому по тексту достаточно затруднено установить: это действие предлагается автором или уже известное принятое. Автору следовало бы персонифицировать выполняемые им в диссертации операции.

Отзыв на диссертацию ведущей организации ПАО «РКК «Энергия»
содержит замечания:

1. Утверждение о возможности полной замены комплексных испытаний КА автономными испытаниями составной части имеет определённые ограничения, а именно:

1.1. Испытания КА по частям оправдано при определённой архитектуре КА, обеспечивающей минимальность и детерминированность тепловых связей между частями КА.

1.2. Составная часть не всегда может быть выделена из состава КА.

2. При идентификации теплофизических свойств ЭВТИ существенную проблему составляет их зависимость от технологических факторов (степени поджата при установке на изделие), имеющих случайный характер. С этой точки зрения и с точки зрения оценки точности решения обратных задач (раздел 1.4) статистическая регуляризация выглядит предпочтительнее использованных в работе итерационной и Тихоновской регуляризации.

3. Аналогия моделей с сосредоточенными параметрами и нейросетей недостаточно подробно обсуждена в работе, так как за кадром остался вопрос получения обучающего массива существенного объёма, необходимого для обучения нейросетей.

Отзыв на автореферат диссертации Попова Виктора Михайловича, доктора технических наук, профессора кафедры электротехники, теплотехники и гидравлики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» содержит замечания:

1. Отсутствует анализ протекания процесса контактного теплообмена в составных системах теплозащиты КЛА, выполненных из гомогенных и гетерогенных материалов.

2. Почему при рассмотрении компонент суммарных термосопротивлений в зоне контакта шероховатых поверхностей не анализируется формирование термосопротивлений при сопряжении поверхностей с макронеровностями?

Отзыв на автореферат диссертации Кузнецова Владимира Васильевича, доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН» содержит замечание:

1. В качестве замечания отметим, что задачи идентификации математических моделей теплообмена в элементах КА ранее рассматривались

рядом исследователей, и было бы целесообразно отметить эти работы в соответствующих разделах автореферата.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»: кандидата технических наук, старшего научного сотрудника факультета низкотемпературной энергетики В.А. Кораблёва и доктора технических наук, профессора факультета низкотемпературной энергетики А.В. Шаркова содержит замечания:

1. Не ясно, учитывал ли автор работы при расчётах кондуктивную и контактную составляющие теплового сопротивления ЭВТИ.

2. Автором не приведена оценка вклада молекулярного переноса теплоты через разрежённую газовую среду между слоями ЭВТИ в процессе термовакуумных испытаний.

Отзыв на автореферат диссертации Митрофановой Ольги Викторовны, доктора технических наук, профессора кафедры теплофизики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт» содержит замечания:

1. В автореферате есть упоминание, но не содержится никакой конкретной информации о возможности использования микроскопических свойств вещества для термодинамического анализа тепловых процессов.

2. На странице 15 автореферата сказано, что «...в качестве истинного значения температуры принимается показание датчика. Как следствие, погрешности тепловой модели имеют смысл расхождений с экспериментальными результатами и не учитывают погрешности измерения температуры и условий проведения тепловых вакуумных испытаний». В таком случае, каковы истинные погрешности тепловой модели?

3. Несмотря на данное на стр. 33 пояснение, не совсем ясно, что означает термин «нетерминальное управление». (Цитаты на стр. 33 автореферата: «...построена методика нетерминального управления тепловой мощностью внутренних источников космических аппаратов...» «Нетерминальное

управление аналогично идентификации системы по экспериментальным данным и может осуществляться методами решения задач идентификации»).

Отзыв на автореферат диссертации Кузмы-Кичты Юрия Альфредовича, доктора технических наук, профессора кафедры инженерной теплофизики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» содержит замечания:

1. При решении задачи управления задана зависимость температуры от времени, которая не воспроизводится управляющей временной функцией тепловой мощности с точностью измерения температуры.

2. Как видно на рисунке 21, на зависимости тепловой проводимости контурной тепловой трубы от времени получен максимум, но причины его появления не обсуждаются.

Отзыв на автореферат диссертации филиала АО «Корпорация «Комета» – «НПЦ ОЭКН», подписанный начальником сектора, кандидатом технических наук Соколовым Антоном Николаевичем и утверждённый директором филиала Погребским Николаем Аркадьевичем содержит замечания:

1. Не ясно, учитывал ли автор зависимость тепловых сопротивлений ЭВТИ и контурной тепловой трубы от температуры.

2. Из приведённой модели на стр. 20 не ясно, учитывал ли автор лучисто-кондуктивный теплообмен по конструкции и переотражение между элементами конструкции.

3. Не ясно, что автор вкладывает в термин термодинамически закрытые технические системы.

Отзыв на автореферат диссертации Ремизова Александра Евгеньевича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Авиационные двигатели» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва» содержит замечание:

1. Основное замечание по тексту автореферата состоит в том, что имеет место некоторое несоответствие заявленной цели работы в части разработки метода итерационной регуляризации решения нелинейных задач и пункта 4

заклучения (основных выводов) по работе, где констатируется модификация этого метода.

Отзыв на автореферат диссертации Шеремета Михаила Александровича, доктора физико-математических наук, доцента ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» содержит замечания:

1. Из автореферата неясно, оформлены ли разработанные методики в виде программного комплекса.

2. Стоило более подробно описать применение разработанных методик для решения практических задач.

Отзыв на автореферат диссертации Куликова Геннадия Григорьевича, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки РФ, заслуженного машиностроителя РБ, профессора кафедры автоматизированных систем управления ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» содержит замечания:

1. В работе было бы целесообразно в явной форме обозначить эффективность новых свойств предложенных моделей и алгоритмов для синтеза и анализа кибернетической системы управления тепловыми режимами. Например, обеспечения соответствия принципу необходимого разнообразия Эшби для эффективного управления и др.

2. К сожалению, разработанные теоретические и методические положения, модели и алгоритмы представлены на общепринятых инженерно-математических языках, что вызовет дополнительные трудности при их «автоматизированном» использовании в САПР. Целесообразно было бы для описания использовать и формальные языки символьного анализа, например, Ansys, Maple, MathCad, OWL, EXPRESS, IDEF и др.

Отзыв на автореферат диссертации ФКП «НИЦ РКП», подписанный главным научным сотрудником, доктором технических наук, профессором Галеевым Айвенго Гадыгеевичем, начальником КТВИ-618 Митрофановым

Владимиром Фёдоровичем и утверждённый первым заместителем генерального директора Малявиным Геннадием Ивановичем, содержит замечание:

1. В качестве замечания стоит отметить, что из содержания автореферата следует критерий останова итерационного процесса решения задачи идентификации в виде достижения квадратичным температурным функционалом дисперсии экспериментальных температур, в то время как полученные значения функционала превышают это значение.

Также имеется связанный с этим замечанием вопрос о том, как оценить достоверность идентифицированных функций, которые не сравниваются с расчётными данными.

Отзыв на автореферат диссертации Вараксина Алексея Юрьевича,
доктора физико-математических наук, члена-корреспондента РАН,
заведующего лабораторией ФГБУН «ОИВТ РАН», содержит замечание:

1. По содержанию автореферата имеется вопрос, связанный с тем, насколько приближённый вариационный метод расчёта регуляризирующих параметров предложенного метода учитывает нелинейность постановки задач теплообмена в технических системах, однако, указанный вопрос не является недостатком и является предметом обсуждения, не снижая научную ценность работы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетенцией в отрасли наук, к которой относится диссертационная работа Викулова Алексея Геннадьевича, что подтверждается наличием у них публикаций по теме диссертации в рецензируемых изданиях за последние пять лет.

Выбор Лившица Михаила Юрьевич, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетенцией в математических методах оптимизации и оптимального управления. Лившиц

Михаил Юрьевич является автором и соавтором многочисленных научных трудов, посвящённых системной оптимизации процессов тепло– и массопереноса технологической теплофизики, оптимального управления объектами с распределёнными и сосредоточенными параметрами и их температурными режимами.

Выбор Резника Сергея Васильевича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Ракетно-космические композитные конструкции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» обосновывается его значительными научными достижениями в области теплообмена летательных аппаратов. Научные труды Резника Сергея Васильевича посвящены постановке и проведению тепловых испытаний ракетно-космических композитных конструкций, применению расчётно-экспериментального метода для определения их свойств, математическому моделированию тепловых и технологических процессов в композиционных материалах тепловой защиты аэрокосмических летательных аппаратов.

Выбор Финченко Валерия Семёновича, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника акционерного общества «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» обосновывается его большим опытом в области проектирования и экспериментальной отработки систем обеспечения теплового режима космических аппаратов и теплозащитных материалов. В компетенции Финченко Валерия Семёновича находятся задачи научного обоснования технических требований к обеспечению теплового режима космических аппаратов, разработки математических моделей теплообмена в космических аппаратах для анализа наземных и лётных испытаний, проведения тепловакуумных испытаний объектов космической техники. Научные труды, автором и соавтором которых является Финченко Валерий Семёнович, посвящены системам обеспечения теплового режима автоматических космических аппаратов, расчётно-

экспериментальным исследованиям теплозащитных материалов спускаемых аппаратов, аэротермодинамике спускаемых аппаратов, математическим методам прогнозирования условий входа спускаемых аппаратов в атмосферы планет.

Ведущая организация выбрана в соответствии с её определяющей ролью в области проектирования, отработки и эксплуатации космических аппаратов. Главный научный сотрудник доктор физико-математических наук Алексеев Алексей Кириллович, подписавший отзыв на диссертацию, и генеральный конструктор – первый заместитель генерального директора, доктор технических наук, профессор, академик РАН Микрин Евгений Анатольевич, утвердивший отзыв на диссертацию, являются известными учёными в области автоматического управления космическими аппаратами, математических методов решения обратных задач, применения методологии обратных задач при тепловой отработке космической техники.

Оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют публикации в международных и отечественных рецензируемых изданиях по теме работы, ведущая организация имеет патенты по системам автоматического управления, методам расчёта и средствам контроля тепловых режимов космических аппаратов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана методология комплексной тепловой отработки космических аппаратов на основе двухмодельного метода, иерархической идентификации математических моделей и регуляризации решения задач идентификации, позволяющая повысить точность тепловых расчётов, уменьшить количество и продолжительность режимов тепловакуумных испытаний;
- предложены оригинальный вариационный метод итерационной регуляризации и методики его применения для идентификации математических моделей теплообмена и управления тепловыми режимами космических аппаратов;

– доказана возможность построения метода регуляризации на основе вариационного метода второго порядка и градиентного итерационного метода первого порядка с линеаризацией.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– доказаны вырожденность матрицы коэффициентов или функций взаимодействия математических моделей с сосредоточенными параметрами, существенная математическая некорректность задачи идентификации этой матрицы и необходимость регуляризации её решения, расширяющие границы применимости разработанного модифицированного итерационно-вариационного метода регуляризации на весь класс задач идентификации математических моделей с сосредоточенными параметрами;

– применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы вариационный метод регуляризации и метод итерационной регуляризации;

– изложены результаты отечественных исследований, проведённые за последние 30 лет по тепловой отработке космических аппаратов расчётно-экспериментальным методом, диагностике граничных условий, идентификации математических моделей, точности решения обратных задач теплообмена;

– раскрыты противоречия, связанные с тем, что из неустойчивости решения при нарушении непрерывной зависимости искомых функций от краевых условий следует его неединственность, – в этом случае речь идёт о математической некорректности по Адамару, которая может приводить к существенной некорректности по Тихонову, когда решение не принадлежит одному компакт; если же решение слабо (плохо) обусловлено (малым изменениям краевых условий отвечают большие колебания искомых функций), то речь идёт о неустойчивости по Ляпунову, которая может приводить к корректности по Тихонову, когда решение принадлежит одному компакт;

– изучены связи проблемы математической корректности решения задачи идентификации математических моделей теплообмена с сосредоточенными параметрами с теоремами о неявной функции;

– проведена модернизация методологии тепловой обработки космических аппаратов расчётно-экспериментальным методом, методов регуляризации решения задач идентификации математических моделей теплообмена с сосредоточенными параметрами.

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

– разработаны методики идентификации математических моделей теплообмена, обеспечивающие возможность проведения окончательных тепловых анализов (расчет температурных прогнозов для летных испытаний) автоматических космических аппаратов с использованием математической модели, идентифицированной по термобалансным испытаниям с учетом наземной тепловакуумной обработки аппарата, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56468-2015 – «Аппараты космические автоматические. Системы обеспечения теплового режима»;

– определены перспективы практического использования комплексной методологии при проектировании и тепловой обработке расчётно-экспериментальным методом транспортных космических систем и спускаемых космических аппаратов, долгоресурсных космических аппаратов с негерметичным приборным отсеком, оптических систем и телескопов, антенн и радиотелескопов;

– созданы методики для идентификации теплофизических свойств существующей обобщённой теплофизической математической модели с сосредоточенными параметрами, описывающей теплообмен в космических аппаратах;

– представлены единые аналитические выражения для расчёта неопределённых множителей Лагранжа и размерного шага спуска в случае применения градиентного метода итерационной регуляризации, эквивалентные выражениям безразмерного шага спуска, обратного параметру регуляризации, в случае применения итерационно-вариационного метода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ результаты получены при тепловой обработке составной части космического аппарата в сертифицированной вакуумной камере 600/300, часть из них опубликована в открытой печати и применена для идентификации математических моделей конструктивных элементов, входящих в эту составную часть – проводимостей тепловых интерфейсов, контурной тепловой трубы, сотовой панели, экранно-вакуумной тепловой изоляции и её излучательной способности;
- теория построена на известных и проверенных вариационном методе регуляризации и методе итерационной регуляризации, доказанных теоремах математического, функционального анализа и математической физики;
- идея базируется на поиске решения нелинейных задач идентификации математических моделей теплообмена в космических аппаратах как существенно некорректного решения операторного уравнения первого рода, определяемого методом регуляризации с использованием линеаризации, применяемой в методе итерационной регуляризации, хорошо зарекомендовавшем себя для идентификации математических моделей теплообмена в технических системах;
- использовано сравнение авторских данных, полученных предложенным итерационно-вариационным методом, и данных, полученных методом итерационной регуляризации со спуском по методу сопряжённых градиентов;
- установлено совпадение авторских результатов расчёта идентифицируемых функций с результатами, полученными методом итерационной регуляризации при условии использования функции температуры от времени одного узла модели для идентификации одной координаты искомого вектора-столбца матрицы неизвестных коэффициентов (функций) в случае неустойчивого по Ляпунову решения; для задачи идентификации всех векторов-столбцов матрицы неизвестных коэффициентов (функций), имеющей неединственное решение, одного экспериментально определённого вектора функций температур узлов от времени не достаточно – требуется по одному вектору экспериментальных температур для каждого

вектора-столбца искомой матрицы; вектора температур могут определяться в одном эксперименте, но должны быть линейно независимыми;

– использованы современные автоматизированные средства сбора и обработки экспериментальной информации, представительные выборки результатов наблюдения и измерения.

Личный вклад соискателя состоит в:

– разработке предложенных в диссертации системной (комплексной) методологии, модифицированного итерационно-вариационного метода регуляризации и основанных на нём методик идентификации;

– личном участии в тепловакуумных испытаниях, разработке математических моделей и выпуске тепловых расчётов составной части автоматического космического аппарата;

– непосредственной обработке и интерпретации экспериментальных данных, идентификации математических моделей теплообмена в конструктивных элементах составной части космического аппарата.

На заседании 16.09.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Викулову Алексею Геннадьевичу учёную степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 19, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета
д.т.н., профессор



 Равикович Юрий Александрович.

Учёный секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор

 Зуев Юрий Владимирович

16.09.2019 г.