

## **СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ**

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 13 декабря 2019 года публичной защиты диссертации Танасиенко Федора Владимировича «Математическое моделирование жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов» по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

На заседании присутствовали 18 из 26 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника:

- |  |          |
|--|----------|
| 1. Шрагер Г. Р., доктор физико-математических наук, профессор,<br>председатель диссертационного совета,                      | 01.02.05 |
| 2. Христенко Ю. Ф., доктор технических наук, старший научный сотрудник,<br>заместитель председателя диссертационного совета, | 01.02.04 |
| 3. Пикущак Е. В., кандидат физико-математических наук,<br>ученый секретарь диссертационного совета,                          | 01.02.05 |
| 4. Архипов В. А., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.02.05 |
| 5. Биматов В. И., доктор физико-математических наук, доцент,   | 01.02.05 |
| 6. Глазунов А. А., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.02.05 |
| 7. Зелепугин С. А., доктор физико-математических наук,<br>старший научный сотрудник,   | 01.02.04 |
| 8. Крайнов А. Ю., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.04.14 |
| 9. Кульков С. Н., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.02.04 |
| 10. Лапшин О. В., доктор физико-математических наук,   | 01.04.14 |
| 11. Люкшин Б. А., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.02.04 |
| 12. Макаров П. В., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.02.04 |
| 13. Миньков Л. Л., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.14 |
| 14. Пономарев С. В., доктор физико-математических наук,<br>старший научный сотрудник,  | 01.02.04 |
| 15. Прокофьев В. Г., доктор физико-математических наук,  | 01.04.14 |
| 16. Старченко А. В., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.14 |
| 17. Тимченко С. В., доктор физико-математических наук,<br>старший научный сотрудник,   | 01.02.05 |
| 18. Шрагер Э. Р., доктор физико-математических наук, доцент,   | 01.04.14 |

**Заседание провёл председатель диссертационного совета доктор физико-математических наук, профессор Шрагер Геннадий Рафаилович.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Ф. В. Танасиенко учёную степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.13,  
созданного на базе федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_**

решение диссертационного совета от 13.12.2019 № 403

О присуждении **Танасиенко Федору Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Математическое моделирование жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов»** по специальности **01.04.14** – Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 27.09.2019 (протокол заседания № 382) диссертационным советом Д 212.267.13, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Танасиенко Федор Владимирович**, 1987 года рождения.

В 2010 г. соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнёва».

В 2013 г. соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева».

Работает в должности ведущего инженера отдела систем терморегулирования и тепловых анализов в Акционерном обществе «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный

университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – **Кишкин Александр Анатольевич**, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кафедра холодильной, криогенной техники и кондиционирования, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

**Кузнецов Гений Владимирович**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Научно-образовательный центр И. Н. Бутакова, главный научный сотрудник

**Егоров Кирилл Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра Эб «Теплофизика», доцент  
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Сибирский федеральный университет**», г. Красноярск, в своем положительном отзыве, подписанном **Кулагиным Владимиром Алексеевичем** (доктор технических наук, профессор, кафедра теплотехники и гидрогазодинамики, заведующий кафедрой), указала, что актуальность темы исследования обусловлена необходимостью детального исследования процесса конвективного теплообмена в техническом приложении систем терморегулирования, необходимостью создания достоверной расчетной математической модели для жидкостного контура системы терморегулирования, а также возможным практическим применением полученных результатов при расчете и проектировании систем терморегулирования. Ф. В. Танасиенко создана новая математическая модель комплексной теплопередачи в жидкостном контуре системы терморегулирования; предложено новое решение для уравнения теплопередачи на основе термических сопротивлений, определяющее эквивалент

термического сопротивления на теплообменных поверхностях сложной топологии; разработаны алгоритм и программа расчета системы терморегулирования на основе модели натурального образца космического аппарата, позволяющие на ранних этапах проектирования рассчитывать общеинтегральные параметры системы, проводить моделирование реакций системы на определяющие конструкторские и режимные параметры. Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, могут быть использованы для построения расчетных методик проектирования и оптимизации теплообменных систем с жидкостным контуром на предприятиях, ориентированных на проектирование и производство космических аппаратов. Разработанная соискателем математическая модель и программное алгоритмическое обеспечение могут найти применение в исследованиях теплообменных систем для практических приложений, проводимых в различных научных и учебных заведениях.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 17 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ (из них в российском научном журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science, опубликована 1 работа), в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций опубликовано 10 работ; патентов Российской Федерации получено 2. Общий объем публикаций – 5,88 а.л., авторский вклад – 1,68 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. **Танасиенко Ф. В.** Вычислительный эксперимент по получению характеристик моделируемой системы терморегулирования космического аппарата / Ф. В. Танасиенко, Ю. Н. Шевченко, А. В. Делков, А. А. Кишкин, М. Г. Мелкозеров // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 233–240. – DOI: 10.31772/2587-6066-2018-19-2-233-240. – 0,84 / 0,17 а.л.

2. **Tanasienko F. V.** Two-dimensional thermal model of the thermal control system for nonhermetic formation spacecraft / F. V. Tanasienko, Y. N. Shevchenko, A. V. Delkov, A. A. Kishkin // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – Т. 19, № 3. – Р. 445–451. – DOI:10.31772/2587-6066-2018-19-3-445-451. – 0,74 / 0,18 а.л.

3. Делков А. В. Анализ эффективности систем обеспечения теплового режима космических аппаратов / А. В. Делков, А. А. Кишкин, Н. А. Лавров, **Ф. В. Танасиенко** // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – Т. 51, № 10. – С. 45–48. – 0,71 / 0,18 а.л.

*в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:*

Delkov A. V. Analysis of efficiency of systems for control of the thermal regime of spacecraft / A. V. Delkov, A. A. Kishkin, N. A. Lavrov, **F. V. Tanasienko** // Chemical and Petroleum Engineering. – 2016. – Vol. 51, is. 9-10. – P. 714–719. – DOI: 10.1007/S10556-016-0110-z.

На автореферат поступило 6 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **А. В. Бобков**, д-р техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Технология самолетостроения» Комсомольского-на-Амуре государственного университета, *с замечаниями:* в работе не указаны критерии понятия «перспективного» космического аппарата; в описательной части нарушается единство терминологии по всей работе, например, массовый расход  $\dot{m}$  иногда характеризуется, как массовый поток.
2. **А. А. Жарковский**, д-р техн. наук, проф., профессор Высшей школы энергетического машиностроения Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, *с замечанием:* в работе не представлена в явном виде специфика задачи расчета теплообмена излучением для радиационной панели космического аппарата, и *с вопросами:* предусмотрена ли в модели возможность учета других внешних теплопритоков, кроме солнечного излучения (собственное и отраженное излучение планет, потоки переизлучения от элементов космического аппарата)? Что делать, если массогабаритные характеристики космического аппарата не позволяют иметь панели теплосброса требуемой площади?
3. **А. А. Смирных**, канд. техн. наук, доц., доцент 73 кафедры авиационных двигателей Военного научно-учебного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,

г. Воронеж, *с замечаниями*: имеются формулировки «тепло-массообменного жидкостного контура», «тепло-массообменной связью» и «тепло-массообменной связью через активный жидкостный контур» (рис. 9 и стр. 15 автореферата диссертации, соответственно), но по тексту автореферата нигде не указано, какие именно массообменные процессы протекают, и как это учитывается в ходе формирования математической модели системы терморегулирования космического аппарата; автору следует более внимательно относиться к оформлению материалов автореферата, так как, например, на рис. 2. (стр. 10 автореферата диссертации) указано наличие градиента температур – «grad  $T_y$ », но схематично  $T_1$  и  $T_2$  равны по величине; на рис. 10, 11 (стр. 20, 21 автореферата диссертации) представлены профили изменения величин температуры по длине жидкостного контура при изменении нагрузки модуля полезной нагрузки (МПН-Z) и расхода (соответственно), но не акцентировано внимание, какое расстояние между датчиками температуры (ось абсцисс), что является принципиально важным в исследовании.

4. **А. Ю. Чирков**, д-р физ.-мат. наук, доц., заведующий кафедрой «Теплофизика» Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана, *с замечаниями*: в автореферате недостаточно полно описан используемый численный алгоритм для расчета параметров системы терморегулирования; нет четкого определения границы применимости полученной зависимости для определения коэффициента теплоотдачи, необходимо указать, при каких условиях (в частности, диаметр, расход) возможно ее применение.

5. **О. П. Якубович**, канд. техн. наук, первый заместитель генерального директора – технический директор АО «Красноярский машиностроительный завод», *с замечаниями*: автору следовало бы более детально на практической задаче продемонстрировать применимость разработанных модели и алгоритма расчета в процессе конструирования жидкостной системы терморегулирования; в автореферате не представлены данные по уровню тепловыделения приборов и удельной нагрузки для рассматриваемой системы терморегулирования; для некоторых сокращений (ЭО, ТБИ, ИТП) не приведено пояснение при их первом упоминании в тексте.

6. **С. Н. Ливенцов**, д-р техн. наук, проф., заведующий научно-образовательной лабораторией «Электроника и автоматика физических установок» Национального исследовательского Томского политехнического

университета, *с замечаниями*: в автореферате не приведены данные об адекватности математической модели и о факторах, влияющих на точность результатов моделирования, получаемых с помощью разработанного программного обеспечения; не указано, каким образом в разработанной математической модели учитываются характеристики насосного агрегата; в автореферате не представлены характеристики тепловыделяющих элементов, неясно, учитывается ли в алгоритме случай зонального подвода тепла при частичной нагрузке тепловыделяющих элементов.

В отзывах отмечается, что в России и за рубежом наблюдается тенденция к расширению интенсивности исследований с помощью космических аппаратов. Детальная проработка всех подсистем в части обеспечения надежности необходима на стадии проектирования, изготовления и пуско-наладки, а для космических аппаратов это невозможно без математического и компьютерного моделирования. В связи с этим тема исследования является актуальной. Ф. В. Танасиенко разработана новая математическая модель комплексной теплопередачи в системах терморегулирования с жидкостным контуром перспективных космических аппаратов негерметичного исполнения; разработаны алгоритм и программное обеспечение для проектирования системы терморегулирования. Представленные в работе выводы могут быть использованы для обоснования технических решений при анализе различных схем терморегулирования космических аппаратов. Разработанное программное обеспечение позволяет провести расчетный анализ и максимально достоверно сформировать на ранних этапах проектирования облик систем терморегулирования по массогабаритным и энергетическим характеристикам. Интересным с теоретической и практической точек зрения являются комплексное, последовательное исследование и оптимизация процессов теплообмена в системах терморегулирования космических аппаратов, в частности с учетом термических сопротивлений на теплообменных поверхностях сложной топологии, создание алгоритма расчета параметров комплексной системы терморегулирования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **Г. В. Кузнецов** является известным специалистом в области численного и натурного моделирования теплофизических процессов, исследования теплообмена при фазовых переходах, сопряженного теплообмена; **К. С. Егоров** является известным специалистом в области моделирования процессов

теплообмена, исследования теплофизических свойств смесей газов, исследования теплогидравлической эффективности работы энергетических установок; **Сибирский федеральный университет** известен своими достижениями в области теплофизики и теплотехники, физического и математического моделирования процессов теплообмена, теории подобия теплофизических процессов, теоретической и технической термодинамики.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*разработана* математическая модель комплексной теплопередачи в системе терморегулирования с жидкостным контуром, основанная на уравнениях тепловых балансов и позволяющая диагностировать распределение температур по длине жидкостного контура;

*предложено* новое решение для уравнения теплопередачи на основе термических сопротивлений, определяющее эквивалент термического сопротивления на теплообменных поверхностях сложной топологии, и позволяющее определить систему интегральных тепловых балансов по числу неизвестных;

*получены* новые результаты решения задач теплопередачи на теплообменных поверхностях сложной топологии через приведение к линейным эквивалентным термическим сопротивлениям;

*разработаны* алгоритм и программа расчета системы терморегулирования с жидкостным контуром, позволяющие рассчитать общеинтегральные параметры системы, проводить моделирование реакций системы на определяющие конструкторские и режимные параметры с целью оптимизации по требуемым критериям;

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

*разработана* математическая модель комплексной теплопередачи в жидкостном контуре системы терморегулирования космических аппаратов негерметичного исполнения, позволяющая диагностировать распределение температур по длине жидкостного контура;

*применительно к проблематике диссертации результативно использован* аппарат численного моделирования процессов течения с теплоотдачей в жидкостном контуре системы терморегулирования.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:**

*разработано* программно-алгоритмическое обеспечение, позволяющее провести расчетно-аналитический анализ и максимально достоверно сформировать на ранних этапах проектирования облик системы терморегулирования перспективных космических аппаратов негерметичного исполнения по массогабаритным и энергетическим характеристикам;

представленные в работе результаты исследования процессов теплообмена и теплопередачи в системе терморегулирования космического аппарата негерметичного исполнения были *использованы* для обоснования технических решений при анализе различных схем терморегулирования космических аппаратов Енисей-Э1, Енисей-Э2;

разработанное программное обеспечение *внедрено* в учебный процесс Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева на кафедре «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование» при чтении лекций по курсу «Конвективные системы терморегулирования».

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Полученные результаты могут применяться в исследованиях теплообменных систем для различных практических приложений, проводимых в Сибирском федеральном университете (г. Красноярск), Национальном исследовательском Томском государственном университете, Национальном исследовательском Томском политехническом университете, Казанском национальном исследовательском техническом университете, Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана (национальном исследовательском университете), Сибирском государственном университете науки и технологий им. М.Ф. Решетнева (г. Красноярск), а также в других организациях Российской Федерации и за рубежом. Результаты также могут быть использованы на предприятиях, ориентированных на проектирование и производство космических аппаратов: АО «НПО Лавочкина» (г. Химки Московской области), АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (г. Королёв Московской области), АО «Информационные спутниковые системы»

имени академика М. Ф. Решетнёва» (г. Железногорск Красноярского края), ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва» (г. Королёв Московской обл.) и др., и могут использоваться при подготовке высококвалифицированных специалистов в таких областях, как теплофизика и теоретическая теплотехника.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*теория основана* на известных фундаментальных законах сохранения в теплофизике с использованием общепринятых уравнений;

*использовано* сравнение авторских данных, полученных методом численного моделирования, с данными, полученными экспериментально по результатам термобалансных испытаний системы терморегулирования космического аппарата;

*проведена* верификация алгоритма по результатам термобалансных испытаний космического аппарата, показавшая удовлетворительную точность, достаточную для сравнительного анализа различных конструктивных и режимных решений для системы терморегулирования.

**Научная новизна** результатов диссертационного исследования заключается в том, что создана новая математическая модель комплексной теплопередачи в жидкостном контуре системы терморегулирования, основанная на уравнениях тепловых балансов и позволяющая диагностировать распределение температур по длине жидкостного контура; предложено новое решение для уравнения теплопередачи на основе термических сопротивлений, определяющее эквивалент термического сопротивления на теплообменных поверхностях сложной топологии; разработаны алгоритм и программа расчета системы терморегулирования на основе модели натурального образца космического аппарата негерметичного исполнения, позволяющие на ранних этапах проектирования рассчитывать общеинтегральные параметры системы, проводить моделирование реакций системы на определяющие конструкторские и режимные параметры.

**Личный вклад соискателя состоит в:** участии в определении цели и задач исследования; самостоятельной разработке математической модели комплексной теплопередачи в системе терморегулирования с жидкостным контуром; проведении численных исследований характеристик жидкостного контура; создании программно-алгоритмического обеспечения для проектирования систем

терморегулирования космических аппаратов; непосредственном участии в термобалансных испытаниях космических аппаратов; формулировании положений, вынесенных на защиту. Соотношение для оценки локального коэффициента теплоотдачи было получено автором совместно с научным руководителем.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные математические модели и алгоритмы расчета жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов, имеющие существенное значение для конструирования и проектирования систем теплового обеспечения космических аппаратов.

На заседании 13.12.2019 диссертационный совет принял решение присудить **Танасиенко Ф. В.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета



Шрагер Геннадий Рафаилович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Пикушак Елизавета Владимировна

13.12.2019