

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.10

Соискатель: Семена Николай Петрович

Тема диссертации: Теоретико-экспериментальные методы обеспечения тепловых режимов научных космических приборов

Специальность: 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 24 сентября 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Семене Николаю Петровичу ученую степень доктора технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета - Денискин Ю.И., ученый секретарь диссертационного совета - Денискина А.Р., члены диссертационного совета:* Бойцов Б.В., Абашев В.М., Боголюбов В.С., Долгов О.С., Ендогур А.И., Комков В.А., Куприков М.Ю., Лисейцев Н.К., Панкина Г.В., Парамонов Н.В., Подколзин В.Г., Рахманов М.Л., Сидоренко А.С., Сироткин О.С., Фирсанов В.В., Шайдаков В.И.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.10,
к.т.н., доцент



А.Р. Денискина

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.10,
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 УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от «24» сентября 2019 г. № 20

О присуждении Семене Николаю Петровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Теоретико-экспериментальные методы обеспечения тепловых режимов научных космических приборов» по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» принята к защите 16.04.2019 г., (протокол заседания № 1) диссертационным советом Д 212.125.10, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г.Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета – №714/НК от 02.11.2012 г.

Соискатель Семена Николай Петрович, 1961 года рождения, гражданин Российской Федерации.

Семена Н.П. в 1985 г. окончил Московский авиационный институт имени Серго Орджоникидзе (МАИ), факультет №6 «Летательные аппараты». В 1994 г. после окончания заочной аспирантуры МАИ соискатель защитил кандидатскую диссертацию по специальности 05.07.07 – «Контроль и испытания летательных аппаратов» в Научно-исследовательском институте тепловых процессов им. М. В. Келдыша (ныне ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»). В настоящее время Семена Н.П.

работает в должности заведующего лабораторией Астрофизических рентгеновских детекторов и телескопов в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН).

Докторская диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте космических исследований Российской академии наук.

Научный консультант: Алифанов Олег Михайлович – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник, заведующий кафедрой 601 «Космические системы и ракетостроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Алексеев Владимир Антонович – доктор технических наук, профессор, начальник лаборатории № 65 – заместитель главного конструктора Акционерного общества «Научно-исследовательский институт точных приборов» (АО «НИИТП»).

Просунцов Павел Викторович – доктор технических наук, доцент, профессор факультета «Специальное машиностроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана).

Козелков Андрей Сергеевич – доктор физико-математических наук, начальник научно-исследовательского отдела Российского федерального ядерного центра Всероссийского научно-исследовательского института Экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ),

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В.Фрунзе» (АО «КБ «Арсенал») в своем отзыве, утвержденном Генеральным директором Мильковским Александром Григорьевичем и

подписанном доктором технических наук Ковалевым Александром Павловичем, указала, что основным результатом представленного исследования является создание комплекса взаимосвязанных и взаимодополняющих теоретических и экспериментальных методов, совокупность которых позволяет решить задачу обеспечения требуемого теплового режима современных и перспективных научных космических приборов различного типа, предназначенных для работы в широком диапазоне внешних тепловых условий. Исходя из уникальности, чрезвычайно высокой стоимости научных экспериментов и критической зависимости работоспособности научной аппаратуры от требуемого теплового режима данный результат представляется весьма значимым. Новыми качествами созданной совокупности являются: более высокая достоверность моделирования, возможность сопровождения создания космической аппаратуры с самой ранней стадии разработки с сохранением преемственности моделей и расширение типов приборов и сочетаний внешних условий, для которых могут быть использованы данные методы при решении тепловых задач.

Было также отмечено, что автором решены значимые частные задачи, такие как оптимизация методов и средств тепловакуумных испытаний, задачи по оптимизации тепловых интерфейсов космического аппарата с окружающим пространством, которые автор назвал «тепловым встраиванием»; исследование свойств особых тепловых систем. Данные результаты являются вполне самостоятельным и весьма ценными в практическом плане. В заключении ведущей организации отмечено, что в диссертационной работе Семена Н.П. представлены теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение. Данные положения внедрены в практику и подтверждены большим объемом экспериментальных данных. Таким образом, диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор работы достоин присвоения степени доктора технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Семена Н.П. является автором или соавтором 50 научных трудов.

Основные результаты работы опубликованы в 20 источниках, в том числе:

- в 4-х зарубежных изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования;

- в 9-и журналах, входящих одновременно в международные базы данных и системы цитирования и в перечень ВАК;

- в 6-и журналах из перечня ВАК по специальностям 05.07.00;

- в одном патенте СССР.

Научные публикации соискателя посвящены:

- обобщению, анализу и путям решения тепловых проблем, присущих современным и перспективным научным космическим приборам, а так же обоснованию выделения данных задач в отдельное направление научных исследований;

- описанию процедуры и анализу результатов применения комплексного метода поиска оптимальных решений по обеспечению тепловых режимов научных космических приборов, запущенных в космос: зеркального рентгеновского телескопа ART-XC (проект «Спектр-РГ»), спектрометрического комплекса АЦС (проект EchoMars 2016), плазменного комплекса «Плазма-Ф» (проект «Радиоастрон»);

- описанию и опытному подтверждению экспериментально-аналитического метода, использующего результаты тепловакуумных испытаний в решении обратных тепловых задач для повышения достоверности тепловых расчетов;

- описанию метода эквивалентной температуры, позволяющего определить параметры узловой тепловой модели из результатов конечно-элементного моделирования теплообмена узлов тарированным тепловым потоком на примере использования этого метода в тепловом расчете лунного манипуляторного комплекса (проект «Луна-Глоб»);

- теоретическому и экспериментальному исследованию характеристик короткофокусной двухзеркальной оптической системы с софокусными и несоосными коллимирующим параболоидным и корректирующим гиперболоидным зеркалами, реализованной в имитаторе солнца ИСИ-0,8;

- разработке и обоснованию критериев для формирования масштабной физической тепловой модели, предназначенной для отработки сложных тепловых режимов космических устройств;

- описанию и примерам использования принципа теплового встраивания для компенсации сильной переменности тепловых условий рентгеновского монитора МВН, предназначенного для установки на Международной космической станции, для снижения экстремального нагрева лунного манипуляторного комплекса и для термостабилизации входящего в составе космического радиотелескопа «Радиоастрон» комплекса приборов «Плазма-Ф», за счет оптимального использования тепловых потоков от окружающей конструкции;

- результатам теоретического и экспериментального исследования возможности определения ориентации космического аппарата по температурам разнонаправленных радиаторов-излучателей;

- результатам исследования характеристик взаимодействия термоэлектрического преобразователя с радиатором-излучателем;

- эффекту самофокусировки термдеформированных рентгеновских зеркал, выявленному в процессе исследованию влияния термдеформации зеркал на их характеристики и позволившему решить проблемы терморегулирования первого российского зеркального рентгеновского телескопа ART-XC;

- описанию результатов практической реализации положений диссертационной работы в системах обеспечения теплового режима ряда научных космических приборов различного типа, предназначенных для работы в разных тепловых условиях.

Авторский вклад заключается в анализе и обобщении тепловых проблем научных космических приборов, для которых малопригодны традиционные подходы к вопросам терморегулирования, в постановке задач для решения этих проблем, в разработке методов решения данных задач, в разработке форматов узловых математических моделей, пригодных для использования в созданных методах, в моделировании различных тепловых процессов с использованием данных моделей, в разработке программ экспериментальных исследований, адаптированных для данных методов, в оперативном руководстве данными исследованиями, в

анализе результатов теоретических и экспериментальных исследований тепловых режимов объектов терморегулирования различного типа и в решении тепловых проблем конкретных астрофизических, плазменных и планетных космических приборов, в разработке, теоретическом и экспериментальном исследовании новых схем имитаторов внешних тепловых потоков, в формулировании общих выводов на основании накопленного опыта.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Семена Н. П. Значимость тепловых режимов астрофизических приборов для решения задач внеатмосферной астрономии // Космические исследования, 2018. – Т. 56, № 4. – С.41-56. DOI: 10.31857/S00234060000349-1 (англ. версия: Semena N. P. The Importance of Thermal Modes of Astrophysical Instruments in Solving Problems of Extra-Atmospheric Astronomy // Cosmic Research, 2018. – Vol. 56, No. 4 – P. 273-285. DOI: 10.1134/S0010952518040032).
2. Семена Н. П., Сербинов Д. В. Математическая интерпретация теплового эксперимента, имитирующего условия космического пространства // Тепловые процессы в технике, 2016. – Т. 8, № 9. – С. 423-431.
3. Семена Н. П. Внеосевой короткофокусный имитатор Солнца // Светотехника, 2007. – № 5. – С.33-37 (англ. версия: Semena N.P Extra-Axial Short Focus Solar Simulator // Light & Engineering, 2008. – Vol. 16, №3. – P. 117-122).
4. Семена Н. П. Использование масштабных моделей в наземных экспериментах, воспроизводящих теплообмен в условиях космического пространства // Теплофизика и аэромеханика, 2014. – Т. 21, № 1. – С. 47-58. (англ. версия: Semena N. P. The Use of Scale Models In Ground Tests Reproducing Heat Transfer in Space // Thermophysics and Aeromechanics. 2014. – Vol. 21, No 1. – P. 45-55).
5. Семена Н. П., Коновалов А. А. Методы создания механизмов саморегулирования пассивных систем обеспечения теплового режима устройств космического применения // Теплофизика и аэромеханика, 2007. – Т. 14, № 1. – С. 87-98 (англ. версия: Semena N. P., Konovalov A. A. Methods for Creating the Self-Regulating

Mechanisms of Passive systems for Ensuring Thermal Regime of Devices for Space Application // Thermophysics and Aeromechanics. 2007. – Vol. 14, № 1. – P. 81-91).

6. Семена Н. П. Особенности использования термоэлектрических преобразователей в системах терморегулирования космического применения – Теплофизика и аэромеханика, 2013. – Т. 20, № 2. – С. 213-224 (англ. версия: Semena N. P. The Features of application of Thermoelectric Converters in Spacecraft Systems of Temperature Control // Thermophysics and Aeromechanics. 2013. Vol. 20, No 2. – P. 211-222).

7. Семена Н. П. Определение ориентации космического аппарата на основе анализа поля температур его внешней поверхности // Теплофизика и аэромеханика, 2009. – Т. 16, № 1. – С. 135-147 (англ. версия: Semena N. P. Determination of Spacecraft Orientation by the Temperature Field Analysis of Its Outer Surface // Thermophysics and Aeromechanics, 2009. – Vol. 16, No 1. – P. 129-140).

8. Семена Н. П., Сербинов Д. В., Яскович А. Л., Ткаченко А. Ю., Павлинский М. Н. Влияние теплового режима зеркала косоугольного падения на его характеристики // Приборы и техника эксперимента, 2018. – № 3. – С. 100-110. DOI: 10.7868/S0032816218020222 (англ. версия: Semena N. P., Serbinov D. V., Yascovich A. L., Tkachenko A. Yu., Pavlinsky M. N. The Influence of the Thermal Conditions of a Grazing-Incidence Mirror on its Characteristics Instruments and Experimental Techniques, 2018. – Vol. 61, No. 3. – P. 408-417. DOI: 10.1134/S0020441218020203).

9. Semena N. et al. ART-XC/SRG: Results of thermo-vacuum tests Proc. SPIE 9144, Space Telescopes and Instrumentation 2014: Ultraviolet to Gamma Ray, 91444T (25 July 2014). DOI: 10.1117/12.2055941.

10. Semena N. et al. ART-XC/SRG: Results of qualification thermo-vacuum tests Proc. SPIE 9905, Space Telescopes and Instrumentation 2016: Ultraviolet to Gamma Ray, 990550 (11 July 2016). DOI: 10.1117/12.2231276.

11. Revnitssev M., Semena N., Akimov V., Levin V., Serbinov D., Rotin A., Kuznetsova M., Molkov S., Buntov M., Tambov V., Lapshov I., Gurova E., Simonenkov D., Tkachenko A., Pavlinsky M., Markov A., Konoshenko V., Sibirtsev D. The MVN: X-ray monitor of the sky on Russian segment of ISS // Proc. SPIE 8443, Space Telescopes and

Instrumentation 2012: Ultraviolet to Gamma Ray, 844310 (September 17, 2012); DOI: 10.1117/12.925916.

12. Семена Н. П., Коновалов А. А. Использование топологии платы для обеспечения теплового режима сверхбольшой интегральной схемы в электронном блоке космического применения // Теплофизика и аэромеханика, 2006. – Т. 13, № 1. – С. 115-124 (англ. версия: Semena N. P., Konovalov A. A. Using PCB Layout for Maintenance of a Thermal Mode in Verylarge-scale Integrated Circuits of Space-Application Electronic Blocks // Thermophysics and Aeromechanics. 2006. – Vol. 13, No 1. – P. 103-110).

13. Козлов О. Е., Семена Н. П., Сербинов Д. В. Использование трансформирующихся конструкций для обеспечения допустимого температурного режима лунных научных приборов // Космонавтика и ракетостроение. – 2016, № 2 (87). – С. 133-141.

14. Ануфрейчик К. В., Семена Н. П., Чулков И. В. Повышение характеристик бортовых информационных систем за счет применения узкоспециализированных программно-аппаратных комплексов // Авиакосмическое приборостроение, 2006. – № 5. – С. 36-39.

15. Pavlinsky M., Akimov V., Levin V., Lapshov I., Tkachenko A., Semena N., Buntov M., Glushenko A., Arefiev V., Yaskovich A., Sunyaev R., Churazov E., Sazonov S., Revnivitsev M., Lutovinov A., Molkov S., Kudelin M., Garanin S., Grigorovich S., Litvin D., Lazarchuk V., Roiz I., Garin M., Babyshkin V., Lomakin I., Menderov A., Moskvinov D., Gubarev M., Ramsey B., Kilaru K., O'Dell S. L., Elsner R. The ART-XC instrument on board SRG Mission // Proc. SPIE 8443, Space Telescopes and Instrumentation 2012: Ultraviolet to Gamma Ray, 84431T (17 September 2012); DOI: 10.1117/12.925376.

16. Семена Н. П., Коновалов А. А. Проточные системы терморегулирования для малогабаритных устройств космического применения // Авиакосмическое приборостроение. 2006. – № 7. – С. 47-55.

17. Семена Н. П. Встраивание математической тепловой модели российского приборного комплекса ACS в общую модель европейского космического аппарата TGO миссии ExoMars // Космическая техника и технологии, 2018. – № 3(22). – С. 110-119.

18. Семена Н. П. Численное моделирование тепловых режимов российского приборного комплекса АЦС, интегрированного в европейский космический аппарат EхоMars // Математическое моделирование и численные методы, 2018. – № 1. – С. 55-70; DOI: 10.18698/2309-3684-2018-1-5569.

19. Семена Н. П. Обзор неба в рентгеновских лучах // Природа, 2015. – № 10. – С. 91.

20. Патент № 1725768 (СССР) Осветительная система / Л. В. Козлов, Н. П. Семена – опубл. в Б.И. 1992 № 13.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы. В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, указаны степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность, новизна и значимость, а также представлено заключение о соответствии диссертации критериям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям.

Отзыв на диссертацию ведущей организации – Акционерного общества «Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе», г. С-Петербург

Отзыв положительный. Имеется замечание:

В обзоре значительное внимание уделяется приборам, работающим на криогенном уровне температур, что является избыточным для обзорной части, поскольку основная часть работы посвящена более высокотемпературным устройствам.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Алексева Владимира Антоновича – доктора технических наук, профессора, начальника лаборатории №65 – заместителя главного конструктора Акционерного общества «Научно-исследовательский институт точных приборов».

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Без ущерба для удовлетворения требованиям ВАК к диссертационной работе можно уменьшить ее общий объем.

2. То же самое следует отнести и к объему справочной и другой информации, относящейся к основным методам имитации внешних тепловых потоков при

тепловакуумных испытаниях: падающих лучистых потоков и поглощенных тепловых потоков, хотя диссертант использует эти методы профессионально, подтверждая свою высокую компетентность.

3. С осторожностью отношусь к использованию масштабных тепловых моделей с целью уменьшения стоимости тепловакуумных испытаний, но их использование полезно на начальных этапах разработки научных приборов и самих космических аппаратов, тем не менее, на заключительных этапах все равно вынуждены подтверждать результатами приемно-сдаточных испытаний создаваемого объекта в целом, так как дополнительно необходимо определять критерии подобия для выбранной конструкции исследуемого узла объекта.

4. Обращаю внимание на одно замечание, которое сводится к тому, что для каждого нового научного космического аппарата, учитывая сложность определения критериев подобия, особенно при различных давлениях окружающей среды и состава теплоносителя, требуются специалисты высокого уровня, таких как уважаемый диссертант, реализовавший на практике масштабную тепловую модель.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Просунцова Павла Викторовича – доктора технических наук, доцента, профессора факультета «Специальное машиностроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В работе отсутствует аналитический обзор работ, посвященных созданию методов обеспечения тепловых режимов космических аппаратов и их научных приборов, что затрудняет оценку достижений автора.

2. Автором не формализован принцип, по которому осуществляется выбор математической модели – конечно-элементной или узловой. Так, в п.5.2.2 произведен переход от использования узловой модели к конечно-элементной, но

критерий перехода представлен только в качественной форме (очень сложная структура, трудно прогнозируемы тепловые связи).

3. Также автором не формализован принцип выбора точек измерения температуры при термобалансном эксперименте. Лишь отмечается что «...точки могут быть размещены на элементах, критически зависимых от температуры...», хотя известен алгоритм выбора оптимальных точек измерений, основанный на анализе функций чувствительности.

4. Для определения неизвестных или трудно определяемых значений тепловых нагрузок, характеристик материалов, зон контактов и уточнения параметров узловой модели автором используется аппарат обратных задач теплообмена. Однако не сами формулировки обратных задач, ни анализ их решения в части точности и устойчивости не приведены.

5. Заключение к главам работы имеют большой объем (до 8 страниц).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Козелкова Андрея Сергеевича – доктора физико-математических наук, начальника научно-исследовательского отдела Российского федерального ядерного центра Всероссийского научно-исследовательского института Экспериментальной физики.

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Объем диссертации можно существенно уменьшить, исключив очень детализированное (и не всегда нужное) описание приборов и известных теоретических выкладок. Из-за слишком детального описания многих уже известных данных диссертация очень тяжело читается.

2. Предлагаемые методы не претендуют на универсальность, они разработаны для научных космических аппаратов и апробированы на них. Температурный диапазон, в котором проводилась реальная проверка применения этих методов при наземных экспериментах или в процессе летных испытаний, составляет примерно $-120...+100^{\circ}\text{C}$. Возможное использование предлагаемых идей для более широкого температурного диапазона может рассматриваться только теоретически.

3. Слабое математическое описание предлагаемых узловых методов решения. Приводится только общее описание сути метода без какого-либо математического обоснования выборов методов и дальнейших математических выкладок его практической реализации (каким методом решается полученная СЛАУ, насколько она обусловлена и т.д.).

4. Практически не затрагивается вопрос об оценке погрешности предлагаемых математических методов расчета тепловых потоков.

5. Практическое применение разрабатываемых в диссертации методов не вызывает сомнения, однако не рассматривается вопрос о нормативно-правовом обеспечении применения их при отработке изделий космической промышленности.

Отзыв на автореферат диссертации Алексеева Алексея Кирилловича – доктора технических наук, главного научного сотрудника научно-технического центра расчетно-теоретического обеспечения Публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П.Королева» (ПАО «РКК «Энергия»), **Герасимова Юрия Ивановича** – доктора технических наук, главного научного сотрудника научно-технического центра расчетно-теоретического обеспечения ПАО «РКК «Энергия», **Басова Андрея Александровича** – кандидата технических наук, начальника систем терморегулирования ПАО «РКК «Энергия».

Отзыв положительный. Имеется замечание:

К недостаткам приведенных в автореферате материалов следует отнести отсутствия разъяснений действия механизма компенсации погрешности экспериментально аналитического метода при введении ограничительного доверительного интервала восстанавливаемых параметров математической модели (стр. 15 абзац. 2).

Отзыв на автореферат диссертации Кожеватова Ильи Емельяновича – доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики» Российской академии наук (ИПФ РАН).

Отзыв положительный. Имеется замечание:

К недостаткам автореферата можно отнести отсутствие формализации некоторых процедур, важных для понимания возможности практического использования предлагаемых методов. В частности, целесообразно разъяснить принципы формирования узловой тепловой модели из полноразмерного объекта.

Отзыв на автореферат диссертации Борисова Максима Владимировича – кандидата технических наук, заместителя генерального конструктора Акционерного общества «Ракетно-космический центр «Прогресс» (АО «РКЦ «Прогресс»), **Китаева Александра Ириковича** – главного конструктора – начальника отделения 1550 АО «РКЦ «Прогресс».

Отзыв положительный. Имеется замечание:

Автореферат не свободен от недостатков. В частности, это касается недостаточно точного определения областей использования предлагаемых схем имитатора солнечного и инфракрасного излучения. Поскольку данные схемы не имеют широкого распространения, целесообразно было представить ограничения в их применении.

Отзыв на автореферат диссертации Рогачева Владимира Григорьевича – доктора физико-математических наук, заместителя директора Института лазерно-физических исследований (ИЛФИ) Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), **Григоровича Сергея Викторовича** – кандидата технических наук, начальника научно-конструкторского отделения ИЛФИ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

Отзыв положительный. Имеется замечание:

К недостаткам автореферата можно отнести излишний объем обзорной главы работы, которая содержит описание задач, выходящих за рамки диссертации. Возможно, это оправдано для полного текста диссертационной работы, но является избыточным для ограниченного объема автореферата.

Отзыв на автореферат диссертации Гаврикова Бориса Владимировича – начальника комплекса Федерального казенного предприятия «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности» (ФКП «НИЦ РКП»), **Галеева Айвенго Гадыевича** – доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника ФКП «НИЦ РКП».

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Имеется некоторое несоответствие графического и текстового материала автореферата. В частности, на рисунке № 1 представлена обширная графическая информация, которая никак не объясняется и не комментируется в тексте.

2. Избыточная информация представлена в перечне статей. Для каждой статьи в нем приведена русскоязычная и англоязычная версия. Достаточно было ограничиться русскоязычными версиями.

Отзыв на автореферат диссертации Шаборчина Александра Федоровича – кандидата технических наук, ведущего конструктора Акционерного общества «Научно-производственное объединение им. С.А.Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»), **Финченко Валерия Семеновича** – доктора технических наук, ведущего научного сотрудника АО «НПО Лавочкина».

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В работе предлагается восстанавливать недостоверные параметры тепловой математической модели прибора из результатов тепловакуумных испытаний путем решения обратной тепловой задачи. В автореферате представлен общий математический алгоритм ее решения, применимый и для нестационарных и для стационарных тепловых режимов. При этом количество восстанавливаемых параметров ограничено числом стационарных тепловых режимов испытаний. В автореферате данное ограничение никак не объяснено.

2. В автореферате используются термины «концептуальная тепловая модель» и «стандартная тепловая модель». Однако в тексте автореферата не даны определения этих терминов.

Отзыв на автореферат диссертации Винокурова Юрия Николаевича – кандидата технических наук, начальника отдела теплового проектирования КБ «Салют» Акционерного общества «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В.Хруничева» (АО ГКНПЦ им. М.В.Хруничева), **Шкребенко Марины Петровны** – кандидата технических наук, начальника сектора по проектированию СОТР и СОЖ КБ «Салют» АО ГКНПЦ им. М.В.Хруничева».

Отзыв положительный. Имеется замечание:

В качестве замечания следует отметить отсутствие в автореферате рекомендаций по применению конкретных средств терморегулирования для оптимального решения рассмотренных задач.

Отзыв на автореферат диссертации Никифорова Виктора Евгеньевича – кандидата технических наук, старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова Российской академии наук.

Отзыв положительный. Имеется замечание:

В автореферате достаточно декларативно представлены экспериментальные данные, полученные в процессе работы. Приводятся только итоговые результаты и окончательные выводы.

Отзыв на автореферат диссертации Винокурова Дмитрия Константиновича – кандидата технических наук, старшего научного сотрудника отдела «Тепловые режимы космических аппаратов и воздействие факторов космического пространства» Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения».

Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Автор решает задачу теплового проектирования путем последовательного численного решения прямой задачи на основе данных, достоверность которых не оценивается, с последующим проведением экспериментов и уточнением исходных

данных численным решением обратной задачи. Затем уточненные данные применяются при численном моделировании более сложных систем, для которых проведение эксперимента затруднительно. В качестве математической модели используются уравнения теплового баланса для узловой модели, т.е. метод сосредоточенных параметров. Входящие в систему уравнений (1) члены, учитывающие радиационный теплообмен, определяются угловыми коэффициентами. Однако данное представление радиационных связей не учитывает переотражения излучения всеми поверхностями исследуемой системы тел.

2. Из автореферата не понятно, как обеспечивается соблюдение критериев подобия при формировании тепловых узлов в масштабных тепловых моделях.

3. Автор не указывает, какими программными продуктами проводились расчеты.

Отзыв на автореферат диссертации Смирнова Андрея Владимировича – кандидата физико-математических наук, заведующего проектно-комплексной лаборатории АКЦ ФИАН Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук.

Отзыв положительный. Имеется замечание:

В качестве рекомендаций и замечаний следует отметить, что автором в работе совершенно не упомянут уже разрабатываемый сегодня в России международный проект «Спектр-М», включенный В ФКП России до 2015 г., где обозначенные автором проблемные вопросы являются одними из ключевых.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Семены Н.П., и подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Алексева В. А. – доктора технических наук, профессора, начальника лаборатории № 65 – заместителя главного конструктора Акционерного общества «Научно-исследовательский институт точных приборов» в качестве официального оппонента обусловлен его высокой компетентностью в области создания систем обеспечения тепловых режимов космической аппаратуры.

Выбор Просунцова П. В. – доктора технических наук, доцента, профессора факультета «Специальное машиностроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» обоснован его высокой компетентностью в теории моделирования тепловых режимов космических устройств.

Выбор Козелкова А. С. – доктора физико-математических наук, начальника научно-исследовательского отдела Российского федерального ядерного центра Всероссийского научно-исследовательского института Экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ) обоснован его высокой компетентностью в общей теории тепловых процессов.

Ведущая организация – Акционерное общество «Конструкторское бюро «Арсенал» им. М.В.Фрунзе **выбрана** на основании её достижений в области создания и эксплуатации ракетно-космических комплексов, а также широкого перечня видов работ, выполняемых в рамках лицензированной деятельности, к которым относятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию, изготовлению, утилизации космических систем (комплексов), технических и стартовых комплексов, ракетных и ракетно-космических комплексов, наземных комплексов управления орбитальными средствами, технических комплексов космического аппарата и их составных частей, технических космических средств разведки, опытных образцов ракетных двигателей и их составных частей, твердотопливных ракетных двигателей и их составных частей, орбитальных средств и средств подготовки их к запуску, контрольно-проверочной аппаратуры, технологического оборудования, позволяющих определить научную и практическую ценность диссертации.

Список основных публикаций сотрудников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Крушенко Г.Г., Голованова В.В. Совершенствование системы терморегулирования космических аппаратов // Вестник Сибирского

государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева, 2014. – № 3 (55). С. 185-189

2. Двирный В.В., Голованова В.В., Петяева Н.Н. Инновации в области газорегулируемых тепловых труб // Решетневские чтения, 2016. – Т. 2. № 20. С. 449-450.

3. Двирный В.В., Крушенко Г.Г., Голованова В.В., Двирный Г.В., Петяева Н.Н., Кирьянова К.А. // Совершенствование агрегатов для транспортировки тепла в космических аппаратах // Исследования наукограда, 2016. – № 3-4 (18). С. 12-16.

4. Мурадимов М.Ж., Двирный В.В., Двирный Г.В., Кукушкин С.Г., Голованова В.В., Сидорова Е.С. // Тепловая схема малого космического аппарата типа «Юбилейный» и определение параметров теплообменного устройства // Исследования наукограда, 2015. – № 1 (11). С. 18-23.

5. Двирный В.В., Кукушкин С.Г., Голованова В.В., Двирный Г.В., Пискулина М.А., Плотников К.О. Возможности инноваций в системах терморегулирования космических аппаратов и их агрегатах // Исследования наукограда, 2015. – № 2 (12). С. 10-12.

6. Юранев О.А. Исследования различных способов захлаживания криогенных топливных баков изделий ракетно-космической техники // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение, 2018. – № 3 (120). С. 50-57.

7. Белоглазов А.П., Еремин А.Г., Ладыко М.А. Исследование возможности использования углеродного материала в конструкции холодильника-излучателя космического аппарата // Решетневские чтения, 2018. – Т. 1. № 22. С. 80-81.

8. Ананьев В.В., Голованова В.В. Термоэлектрический охладитель грунта // Решетневские чтения, 2018. – Т. 1. № 22. С. 70-72.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

создана теоретическая система положений, позволяющая решить сложные тепловые проблемы современных научных космических приборов, не решаемых традиционными методами.

В частности:

- **разработан** комплексный метод поиска оптимальных решений по обеспечению тепловых режимов космических научных приборов, объединяющий три метода моделирования – математические узловой и конечно-элементный, а также экспериментальный термобалансный на принципах оптимального информационного взаимодействия этих методов и рационального выбора области их использования;

- **разработан** экспериментально-аналитический метод, обеспечивающий повышение достоверности математического моделирования тепловых режимов космических научных приборов за счет определения наиболее недостоверных параметров узловой тепловой модели путем их восстановления из результатов термобалансного эксперимента;

- **разработан** метод эквивалентной температуры, позволяющий определить параметры узловой тепловой модели из результатов конечно-элементного моделирования теплообмена узлов тарированным тепловым потоком;

- **предложены и реализованы** три способа сокращения затрат на тепловакуумные испытания: использование короткофокусной двухзеркальной оптической системы для имитатора солнца, применение теплообменных экранов в имитаторах внешних тепловых потоков, замена полноразмерных объектов испытания масштабными тепловыми моделями, построенными с помощью критериев подобия, основанных на узловой тепловой модели объекта;

- **предложен** принцип теплового встраивания космического научного прибора в окружающие тепловые условия, предполагающий максимально возможное использование этих условий для терморегулирования прибора, и основанный на решении обратной тепловой задачи по определению оптимальной конфигурации

теплоизлучающих и теплопоглощающих площадей на внешней поверхности прибора;

- **выявлены и исследованы** новые свойства известных систем: возможность определения ориентации космического аппарата по температурам разнонаправленных радиаторов-излучателей, сложная обратная связь в системе «термоэлектрический преобразователь – радиатор-излучатель», самофокусировка термдеформированной рентгеновской оптической системы;

- **решены проблемы** обеспечения тепловых режимов сорока космических приборов разного типа, в том числе первого российского зеркального рентгеновского телескопа, предназначенных для проведения научных исследований на орбитах вокруг Солнца, Меркурия, Луны, Земли и Марса, на поверхностях Луны и Марса, а также в точке либрации L2;

- **новые понятия** не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **создана и апробирована** система теоретических положений, позволяющая решать сложные проблемы по формированию прецизионных тепловых режимов научных космических приборов, что является одним из важнейших условий возможности решения современных и перспективных задач космических исследований;

- **получены и проверены решения** теоретических задач, имеющих существенное значение для перспективных научных космических проектов: по определению ориентации космического аппарата по полю температур внешней поверхности; по определению параметров взаимодействия термоэлектрического преобразователя и радиатора-излучателя; по оптимизации схемы имитатора солнечного излучения; по определению влияния термдеформации рентгеновских зеркал на их характеристики.

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

- разработанная диссертантом система теоретических положений позволила решить тепловые проблемы изготовленных научных приборов, входящих в состав

комплексов научной аппаратуры космической рентгеновской обсерватории «Спектр-РГ», запущенной в точку либрации L2, космической радиообсерватории «Спектр-Р», функционировавшей на высокоапогейной орбите, марсианского орбитального аппарата TGO, меркурианского орбитального модуля МРО;

- на основе разработанных теоретических положений созданы системы обеспечения тепловых режимов изготовленных научных приборов, входящих в состав приборных комплексов космических проектов, находящихся в завершающей стадии подготовки к запуску: «Луна-Глоб»; «ЕхоMars 2020»; «Монитор всего неба» на МКС;

- на основе разработанной системы решаются задачи обеспечения тепловых режимов перспективных научных проектов, находящихся на стадии проектирования: «солнечный зонд», «ГАММА-400», «Монитор всего неба М2»;

- разработанная система позволила осуществить тепловую интеграцию российской научной аппаратуры в европейские приборные комплексы «ЕхоMars 2016», «ЕхоMars 2020» и «Вері Colombo»;

- разработанная система показала свою эффективность для решения проблем новых, не имеющих отечественных аналогов, приборов, таких как первый российский зеркальный рентгеновский телескоп ART-XC.

- результаты исследования внедрены:

1. При выполнении работ по обеспечению тепловых режимов приборов и приборных комплексов в рамках российских и международных научных космических проектов, реализуемых в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) или с участием ИКИ РАН, перечень которых представлен ниже:

- зеркальный рентгеновский телескоп ART-XC, входящий в состав космической обсерватории «Спектр-РГ», запущенной в точку либрации L2 13.07.2019 г.;

- приборный спектрометрический комплекс АЦС, входящий в состав марсианского орбитального модуля TGO (проект ЕхоMars 2016), запущенного на марсианскую орбиту 14.03.2016 г.;

- приборный плазменный комплекс «Плазма Ф», входящий в состав комплекса научной аппаратуры космического радиотелескопа «Спектр-Р»,

функционировавшего на высокоэллиптической земной орбите с 18.07.2011 по 2019г.;

- сканирующее устройство УФ спектрометра «Фебус», входящего в состав меркурианского орбитального модуля МРО (проект Veri Colombo), запущенного к Меркурию 20 октября 2018 г.;

- рентгеновский монитор СПИН-Х1-МВН, прошедший наземную тепловакуумную отработку, находящийся в стадии изготовления летного образца, предназначенный для установки на Международной космической станции в 2021 г. в рамках космического эксперимента «МВН»;

- приборы, прошедшие наземную тепловакуумную отработку, находящиеся на стадии изготовления летных образцов, предназначенные для марсианского посадочного модуля проекта «ЕхоMars 2020» (планируемый запуск – 2020 г.): оптический блок ISEM OB, устанавливаемый на выносной штанге марсохода; блок электроники ISEM BE и прибор МДС-Л, устанавливаемые в марсоходе;

- приборы, прошедшие наземную тепловакуумную отработку, находящиеся на стадии изготовления летных образцов, входящие в состав комплекса научной аппаратуры посадочных модулей проектов «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс», планируемый запуск 2020 и 2021 гг. соответственно: пылевой монитор лунный ПМЛ; лунный манипуляторный комплекс (ЛМК); оптический блок лунного ИК спектрометра ЛИС; комплекс камер ТВ-РПМ; датчик ионов Ариес-Л; сейсмометр посадочный широкополосный «Сейсмо-пш-НЧ»;

- приборы, запущенные 09.11.2011 г. на опорную орбиту в составе космического аппарата «Фобос-Грунт», аварийно сведенного с орбиты 15.01.2012 г.: манипуляторный комплекс; стереокамера Camera stereo (LAS); эшелле-спектрометр ТИММ; микроскоп-спектрометр MicrOmega; лазерный времяпролетный масс-спектрометр Лазма; массспектрометр вторичных ионов Манага-Ф;

- микроспутник «Колибри», функционировавший на околоземной орбите с 20.03.2002 по 03.05.2002 гг.

- привод высокого разрешения (ПВР-ТМ), предназначенный для установки на Российском сегменте Международной космической станции.

2. При создании и эксплуатации экспериментальных установок в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте космических исследований Российской академии наук, перечень которых приведен ниже:

- имитатор солнечного излучения ИСИ-0,8 для оснащения тепловакуумной установки ТВУ-2,5;

- имитаторы тепловых потоков для тепловакуумных испытаний оптического блока и кареток телескопа «Содарт», телескопа «Еувита» в тепловакуумной камере ТВУ-100Г;

- тепловакуумная установка ТВУ-0,2.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **корректность основных теоретических положений работы** подтверждена результатами использования разработанной совокупности теоретико-экспериментальных методов для обеспечения теплового режима реальных, запущенных в космос или прошедших стадию тепловакуумной отработки, приборов. Сравнение результатов моделирования, тепловакуумных испытаний и полетной телеметрии позволило подтвердить корректность разработанного принципа теплового встраивания и комплексного метода поиска оптимальных решений. Большое разнообразие типов научных инструментов и внешних тепловых условий, для которых были использованы разработанные методы и подходы, показывает, что созданная совокупность методов носит общий характер и имеет широкую область использования;

- **проведен специализированный эксперимент** для проверки экспериментально-аналитического метода, результаты которого подтвердили значительное повышение достоверности моделирования тепловых режимов космических устройств при использовании этого метода;

- **созданы экспериментальные установки** на основе теоретических разработок диссертации, что позволило подтвердить достоверность этих разработок путем сравнения прогнозируемых и измеренных параметров данных установок;

- все теоретические решения частных задач работы подтверждены результатами экспериментов;

- теоретические положения и допущения, использованные в диссертации, представляются в достаточной степени обоснованными и непротиворечивыми, основанными на общепринятых положениях теории теплообмена, моделирования тепловых процессов и решения обратных тепловых задач;

- установлено качественное соответствие авторских результатов с результатами исследований, представленными в открытых независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

- проведен анализ и обобщение тепловых проблем научных космических приборов, для которых малопригодны традиционные подходы к вопросам терморегулирования;

- выполнена постановка задач для решения выявленных проблем;

- разработаны методы решения поставленных задач;

- разработаны форматы узловых математических моделей, пригодных для использования в созданных методах;

- проведено моделирование различных тепловых процессов с использованием сформированных моделей;

- разработаны программы экспериментальных исследований, адаптированные для разработанных методов;

- осуществлено оперативное руководство проведением экспериментов;

- проведен анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований тепловых режимов объектов терморегулирования различного типа при воздействии разнообразных тепловых условий;

- решены тепловые проблемы конкретных астрофизических, плазменных и планетных космических приборов;

- разработаны и внедрены новые схемы имитаторов внешних тепловых потоков;

- сформулированы общие выводы и рекомендации по обеспечению тепловых режимов научных космических приборов на основании накопленного опыта.

Представленные в диссертационной работе результаты получены при непосредственном участии автора работы, результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях.

На заседании 24.09.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Семене Николаю Петровичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета Д 212.125.10
д.т.н., профессор

 Ю.И. Денискин

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.125.10
к.т.н., доцент

 А.Р. Денискина

24 сентября 2019 года



И.о. начальника отдела УДС МАИ

А.Р. Денискина

