

Отзыв

Официального оппонента

На диссертационную работу Семены Николая Петровича на тему: «Теоретико-экспериментальные методы обеспечения тепловых режимов научных космических приборов», представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

05.07.03 - «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Диссертационная работа посвящена обеспечению тепловых режимов современных космических аппаратов, в ней решаются весьма сложные тепловые проблемы, часто самые главные по сравнению с традиционными. Системы терморегулирования таких приборов имеют более сложную наружную конфигурацию и структуру, которые принципиально отличаются широким разнообразием по сравнению с ненаучными космическими проектами. При этом в одном приборе могут находиться элементы, стабилизируемые на очень разном температурном уровне. Для них выставляются жесткие тепловые ограничения, требующие совершенствования как методов расчета температурных режимов, так и подходов к проектированию систем терморегулирования космических аппаратов.

Исходя из изложенных предпосылок, работа Семены Н.П., целью которой является разработка, совершенствование и реализация теоретико-экспериментальных методов, направленные на решение необходимых задач по их применимости при тепловом моделировании космических устройств, в том числе для повышения мирового престижа, является **актуальной**.

Диссертационная работа изложена на 449 страницах машинописного текста и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и одного приложения. Список используемой литературы содержит 103 отечественных и 97 иностранных источников. Работа иллюстрирована 9 таблицами и 140 рисунками.

Во введении (стр. 7-17) представлено обоснование актуальности, научной новизны, теоретической и практической ценности работы и ее достоверности. Описаны используемые методы. Сформулированы положения, выносимые на защиту и общие сведения о диссертационной работе.

Диссертант для достижения поставленной цели решает две **научные задачи** теплового проектирования, с помощью которых он решает и современные прикладные задачи на примере первого российского зеркального рентгеновского телескопа.

Научная новизна диссертационной работы представлена автором в обобщенном виде, подчеркивающим ее крупное научное достижение, заключающееся в том, что им впервые создана система теоретических и экспериментальных методов, позволяющая оптимальным образом обеспечивать такие тепловые режимы научных космических приборов и приборных комплексов, которые максимально адаптированы для решения актуальных научных задач.

При этом соискатель выделяет теоретическую значимость работы, состоящую из результатов разработанных теоретических положений, которые используются для решения практических проблемных задач терморегулирования сложных космических объектов с научными приборами, которые он разумно разделяет на **четыре группы**.

Практическую значимость работы соискатель представляет в возможности применения совокупности разработанных методов для решения прикладных задач по обеспечению тепловых режимов предназначенных для работы в разных тепловых условиях научных космических приборов, использованных или подготавливаемых для запуска в космос.

Оценка выставляемых на защиту положений и результатов работы, состоящих из 7 пунктов, будет дана после анализа ее содержания и представленных результатов **о степени обоснованности и достоверности** результатов использования разработанной совокупности теоретико-экспериментальных методов для обеспечения теплового режима реальных, запущенных в космос или прошедших стадии тепловакуумной отработки приборов. Сравнение результатов моделирования тепловакуумных

испытаний и полетной телеметрии позволит оценить корректность разработанного принципа теплового встраивания и достоверность разработанных методов теплового моделирования.

В первой главе диссертант профессионально проводит анализ мирового опыта, посвященного обеспечению теплового режима научных приборов в составе космических аппаратов, который позволил диссертанту конкретизировать и сформулировать основные тепловые проблемы, характерные для работоспособности научных приборов в составе космических аппаратов.

В первой главе (стр. 18-52) раскрывается роль тепловых режимов космических приборов в решении научных задач. Диссертант профессионально проводит анализ отечественного и мирового опыта, посвященного обеспечению их теплового режима в составе КА, который позволил ему конкретизировать и сформулировать основные тепловые проблемы, решение которых необходимо для надежной работы научных приборов. Проведенный обзор подтвердил, что обеспечение тепловых режимов научных космических приборов имеет свою специфику, без учета которой нельзя адаптировать методы их теплового моделирования в составе научных космических аппаратов.

Во второй главе (стр. 53-114) диссертант формулирует и описывает комплексный метод поиска оптимальных решений по обеспечению тепловых режимов научных приборов. В основу этого метода, названного «методом поиска оптимальных решений» были заложены три принципа: совместного масштабирования тепловых задач и степени детализации конструкции (названный принципом масштабирования); рационального информационного обмена (названный принципом взаимодействия моделей); восстановления параметров математической модели из эксперимента (названный принципом экспериментально – аналитического моделирования).

При этом все методы основаны на фундаментальных уравнениях сохранения энергии и теплопереноса. Здесь необходимо отметить, что диссертант вводит понятие: «Узловая тепловая модель», которая определяет структуру модели, а не входящие в нее параметры. Особенностью модели является разделение поверхности теплообмена на поверхность внешнего теплообмена и поверхность внутреннего теплообмена, через которую происходит теплообмен с другими тепловыми узлами. В итоге главы диссертант

показывает, что принятая узловая модель адаптируется к специфическим задачам теплового режима научных космических приборов в составе КА.

Третья глава (стр. 115-202) посвящена оптимизации теплового эксперимента, способов и средств для воспроизведения поглощенного теплового потока и использованию масштабных тепловых моделей, основанных на экспериментально – аналитическом методе. Имеются два основных метода имитации внешних тепловых потоков при тепловакуумных испытаниях: метод падающих лучистых тепловых потоков и метод поглощенного теплового потока. Показано, каким образом осуществляется реализация имитаторов поглощенных тепловых потоков на базе теплообменных экранов, а также масштабных тепловых моделей, характеризующихся пониженной стоимостью.

Четвертая глава (стр. 203-313) посвящена новой оригинальной концепции систем обеспечения теплового режима за счет использования анизотропии тепловых условий космического пространства для создания пассивных механизмов. Однако и здесь имеются трудности в их реализации, так как для поддержания заданных температур требуются системы управления нагревателей сложных объектов. Для уменьшения стоимости тепловакуумных испытаний и используют масштабные тепловые модели.

В пятой главе (стр. 314-392) автор, на основе больших собственных знаний, опираясь на разработанные теоретико-экспериментальные методы обеспечения тепловых режимов научных космических аппаратов, решил сложнейшую прикладную научную задачу по обеспечению теплового режима зеркального рентгеновского телескопа ART-XC и одновременно провел исследования, целью которых являлось формирование требований к его тепловому режиму. В результате многократного конечно-элементного моделирования изменяемой конструкции телескопа с соответствующими испытаниями в тепловакуумных камерах был получен удовлетворительный вариант СОТР телескопа с учетом тепловых связей внутри телескопа.

Постановка задачи данного исследования, а также все методы, подходы и результаты, представленные в выносимых на защиту положениях, являются личным вкладом соискателя в диссертационную работу. Заимствованные результаты обозначены в работе соответствующими ссылками.

В работе были использованы методы качественного анализа, методы математического узлового и конечно-элементного теплового моделирования, термобалансный метод экспериментального моделирования тепловых процессов, методы максимального правдоподобия и методы структурного анализа.

В основу методологии положены следующие принципы. На основании анализа мирового опыта и собственного опыта автора были выявлены и обобщены основные проблемы обеспечения прецизионных сложных тепловых режимов космических научных приборов. Данные проблемы включали две составляющие – проблемы, связанные с моделированием тепловых режимов и проблемы формирования этих режимов. Для решения первой группы проблем был выбран способ объединения двух математических методов – узлового и конечно-элементного и одного экспериментального – термобалансного. Объединение осуществлялось на принципах оптимального информационного взаимодействия этих методов и рационального выбора области их использования, а также широкого использования обратных и смешанных тепловых задач. Применение данных принципов позволило получить новые качества объединенного метода моделирования – более достоверное предсказание температуры и расширение области его использования на те этапы создания прибора, на которых ранее моделирование не проводилось. Проблемы, связанные с формированием теплового режима, решались за счет замены традиционного принципа минимизации тепловых интерфейсов прибора с окружающим пространством принципом теплового встраивания, предполагающим максимально возможное использование всех внешних факторов для обеспечения теплового режима.

Высокая степень обоснованности и достоверность результатов подтверждена результатами использования разработанной совокупности теоретико-экспериментальных методов для обеспечения теплового режима реальных, запущенных в космос или прошедших стадию тепловакуумной обработки, приборов. Сравнение результатов моделирования, тепловакуумных испытаний и полетной телеметрии позволило оценить корректность принципа теплового встраивания и достоверность разработанных методов теплового моделирования.

Большое разнообразие типов научных инструментов и внешних тепловых условий, для которых были использованы разработанные методы и подходы, показывают, что созданная совокупность методов носит общий характер и имеет широкую область использования.

С помощью разработанных методов, принципов и аппаратных средств 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 поверхности Луны и Марса, а также в точке либрации L2.

Результаты работы были внедрены при обеспечении тепловых режимов одиннадцати запущенных в космос научных приборов и приборных комплексов и семи, доведенных до стадии летних образцов с планами запуска в ближайшие годы.

В заключении (стр. 393-399) приведены научные результаты и достижения проведенной научной работы. С его доказательностью подтверждено, что диссертационная работа имеет все признаки научной новизны. При этом видно, что в работе научные космические аппараты представлены в качестве отдельного класса объектов, содержащих системы обеспечения тепловых режимов научных космических приборов, адаптированные к этому классу объектов, выделяющих их из существующих традиционных систем терморегулирования космических аппаратов. В результате представленная совокупность приобрела новые признаки и качество.

При общем положительном впечатлении о диссертационной работе необходимо отметить некоторые недостатки и замечания, которые перечислены ниже.

- 1) Без ущерба для удовлетворения требованиям ВАК к диссертационной работе 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.

Данные недостатки и упомянутое замечание 4 не снижают общий высокий уровень работы и ценность полученных научных результатов.

Содержание автореферата полностью отвечает содержанию диссертации.

Сама диссертация полностью соответствует выбранной специальности, ее основные положения и результаты опубликованы в рецензируемых изданиях.

Теперь с уверенностью можно заключить, что разработанные автором и представленные в диссертации теоретико-экспериментальные методы обеспечения тепловых режимов научных космических приборов в составе космических аппаратов представляют собой крупное научное достижение. Представленная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК к докторским диссертациям и, а ее автор – Семена Николай Петрович, достоин присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.03 – прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Доктор технических наук, профессор
начальник лаборатории 65 – заместитель главного
конструктора АО «НИИ ТП»

 08.08.2019г. Алексеев Владимир Антонович



Удостоверяю: Заместитель генерального директора по науке,
доктор технических наук, доктор военных наук, профессор

 Кострюков Василий Федорович

« 08 » 2019г.

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт точных приборов» (АО «НИИ ТП»)

Адрес: 127490, г.Москва, ул.Декабристов, владение 51