



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО "АРСЕНАЛ" ИМЕНИ М.В. ФРУНЗЕ"  
(АО "КБ "АРСЕНАЛ")



**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор

А.Г. Мильковский

" 28 " 08 2019 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Семены Николая Петровича на тему:  
«Теоретико-экспериментальные методы обеспечения тепловых режимов научных космических приборов», представленной к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.07.03 - «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Диссертация Семены Н.П. посвящена проблемам обеспечения тепловых режимов приборов, предназначенных для проведения научных космических экспериментов. Работа включает введение, пять глав, каждая из которых заканчивается отдельным заключением, общее заключение по работе и приложение.

Во введении описаны особенности научных космических приборов, как объектов терморегулирования, обоснована необходимость совершенствования методов обеспечения тепловых режимов таких объектов и сформулированы цель и задачи исследования. Определена новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Описаны используемые в работе методы. Приведено подтверждение достоверности полученных результатов.

В данном разделе сформулированы основные положения и результаты, полученные автором. Кратко охарактеризованы космические эксперименты и приборы, для обеспечения тепловых режимов которых эти результаты были

внедрены. Определен личный вклад автора. Перечислены конференции, на которых автор представлял результаты своей работы и публикации в отечественных рецензируемых журналах из перечня ВАК и в журналах из международных баз цитирования.

Первая глава является аналитическим обзором по теме диссертационной работы. В данной главе на основании мирового опыта и собственного опыта автора сформулированы основные проблемы терморегулирования космических аппаратов научного назначения и проанализированы трудности решения этих проблем. На основании этого анализа составлена иерархия проблем терморегулирования современных и перспективных научных приборов космического применения.

Вторая глава представляет собой теоретическую основу работы. В ней описан предложенный автором комплексный метод поиска оптимальных решений по обеспечению тепловых режимов научных приборов. Он включает известные методы математического и экспериментального моделирования тепловых режимов аппаратуры. Новым в использовании этих методов являются принципы их объединения. К ним относятся:

- масштабирование и преемственность моделей при повышении детализации конструкции прибора в процессе разработки;
- рациональный информационный обмен между моделями различного типа;
- восстановление недостоверных параметров математической модели из результатов оптимизированного для этой цели эксперимента на основе решения некорректных обратных тепловых задач.

Для реализации этих принципов используемые методы моделирования автором были модифицированы.

Третья глава посвящена оптимизации методов и средств тепловакуумных испытаний исходя из принципа максимальной информативности и пригодности результатов для использования в предложенной совокупности методов при минимальных затратах на



эксперимент. Рассмотрены два метода моделирования внешних тепловых условий - метод падающих лучистых потоков и метод поглощенного теплового потока. Сформулированы и обоснованы оптимальные подходы к использованию этих методов. Представлены экспериментальные установки, в которых эти подходы были реализованы. В данной главе также представлены разработанные автором оригинальные критерии для формирования масштабной физической модели для проведения теплового эксперимента, использование которой позволяет значительно сократить затраты на тепловакуумные испытания. Предложен способ ускорения тепловакуумных испытаний на основании использования данных математического анализа характера нагрева.

В четвертой главе предлагаются новые подходы к формированию систем обеспечения теплового режима космических устройств. Принцип минимизации тепловых связей с окружающим пространством предлагается заменить принципом теплового встраивания прибора во внешние условия, предполагающим максимально возможное использование этих условий. Для реализации этого принципа предлагается решать обратные тепловые задачи, исходными данными, для которых являются требуемые температурные диапазоны составных частей космических приборов, а результатами - параметры теплообменных площадей на их внешней поверхности. Описан ряд приборов и тепловых систем, в которых этот принцип был реализован. На основании данного принципа разработан способ нестандартного применения тепловых систем для определения ориентации космического аппарата.

В пятой главе представлены результаты практической реализации разработанных в рамках диссертации методов и подходов при решении проблем обеспечения теплового режима нового для отечественного приборостроения объекта - зеркального рентгеновского телескопа ART-XC, входящего в состав астрофизической обсерватории «СРГ». Кроме того, в данной главе представлены результаты исследования свойства

самофокусировки рентгеновских зеркал при термодетформации, которое было выявлено в рамках работы по решению тепловых проблем телескопа и позволило ослабить чрезвычайно жесткие требования к тепловым режимам рентгеновских зеркал.

В заключении кратко описаны основные результаты работы.

В приложении приведены перечень и описание космических приборов, при обеспечении тепловых режимов которых применен комплекс, представленных в диссертации методов.

Тема исследования является крайне актуальной. Ее актуальность обусловлена тем, что решение современных научных задач требует точной термостабилизации составных частей приборов на строго определенном температурном уровне с минимальными допусками. В современных научных приборах тепловые режимы имеют такую же значимость, как и основные функциональные характеристики.

В результате для обеспечения тепловых режимов научных космических аппаратов требуются специфические методы и подходы, адаптированные именно для аппаратов данного типа.

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.

Однако не менее значимы и частные задачи, решение которых обеспечивает возможность использования вышеописанной совокупности. К данным задачам относятся: оптимизации 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.

Несомненным достоинством работы является широкое внедрение и экспериментальное подтверждение разработанных теоретических положений. Предложенная совокупность методов апробирована при обеспечении тепловых режимов сорока научных приборов, многие из которых запущены в космическое пространство или доведены до стадии летных образцов. Методы и подходы к проведению тепловакуумных испытаний были реализованы в виде реальных экспериментальных установок. Результаты решения частных задач, таких, например, как использование тепловых систем для определения ориентации космического аппарата, так же подтверждены соответствующими экспериментами.

Это позволяет сделать заключение о высокой степени достоверности и доказанности полученных результатов.

Изыскания автора имеют высокую важность для науки. Практически в работе показано, что обеспечение теплового режима научных космических приборов должно рассматриваться как отдельное направление в области терморегулирования космических устройств. Для этого направления должны разрабатываться специальные методы моделирования и формирования тепловых режимов. Поэтому полученные результаты, заключающиеся в создании таких методов, являются востребованными и имеют широкую область использования. В частности это подтверждается тем, что методы, разработанные автором, успешно применялись для очень разных типов космических аппаратов: низко и высокоорбитальных, лунных, марсианских и меркурианских.

Отдельного внимания заслуживает система обеспечения теплового режима первого российского зеркального телескопа ART-XC. В этом случае

разработанная совокупность методов была применена к абсолютно новому типу объектов, в обеспечении теплового режима которых отсутствовал отечественный опыт. Поэтому данный пример является показательным в части использования разработанных методов и подходов для решения тепловых задач при отсутствии опыта их решения.

Основные результаты и положения работы являются новыми. Объединяя в единый комплекс набор известных методов теплового моделирования и дополняя их новыми подходами, автор смог получить новые качества этого комплекса за счет организации взаимодействия этих методов, новых подходов к их применению, модификации методов для возможности использования в едином комплексе и оптимального распределения задач между ними. 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.

В работе так же представлены новые решения более узких задач, обеспечивающих функциональность предложенной совокупности методов и при этом имеющих самостоятельную область использования. К таким результатам относится оптимизация методов тепловакуумных испытаний, обеспечение теплового встраивания космических устройств в окружающие условия. Несомненный интерес также представляет предложение по возможности использования тепловых систем для решения задач навигации.

Комплекс решенных в диссертации задач позволяет заключить о достижении заявленной цели работы, состоящей в разработке, совершенствовании и реализации теоретико-экспериментальных методов, совокупность которых позволяет обеспечить тепловые режимы космических приборов, требующиеся для решения современных значимых научных задач.

Анализ публикаций по результатам диссертации показывает, что все



основные результаты работы получены лично автором.

Работа не лишена некоторых недостатков. В частности, 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. Однако этот и подобные ему погрешности изложения материала носят скорее стилистический характер и не снижают общего высокого уровня работы.

Содержание автореферата диссертации полностью соответствует тексту самой диссертации.

В целом можно заключить, что в диссертационной работе Семены 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».

Отзыв составлен на основании заключения проектно-конструкторского отделения 224 по результатам обсуждения диссертационной работы на его заседании (протокол от «~~24~~» *ср.* 2019 г.).

Отзыв составил

Д.т.н

  
А.П. Ковалев

Акционерное общество «Конструкторское бюро «Арсенал» им. М.В. Фрунзе (АО «КБ «Арсенал»). Адрес 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола д.1- 3. Телефон: (812)542-29-73, e-mail: [kbarsenal@kbarsenal.ru](mailto:kbarsenal@kbarsenal.ru).  
Официальный сайт: [www/kbarsenal.ru](http://www/kbarsenal.ru).