



# ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»



Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, Российская Федерация, 141400  
тел. (495) 629-67-55, факс (495) 573-3595,  
e-mail: npoi@iaspace.ru, http://www.iaspace.ru

13.12.2013

№

515/14001

на №

от

Председателю  
диссертационного совета Д 212.125.10  
д.т.н., профессору Ю.И. Денискину

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д.4

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель генерального директора-  
генеральный конструктор  
кандидат технических наук

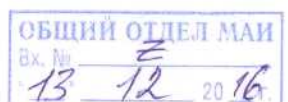


М. Б. Мартынов

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Болотной Камиллы Игоревны

«Разработка методического обеспечения эксплуатации инфракрасных имитаторов внешних тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»



### **Актуальность темы исследования.**

В связи с наблюдающейся тенденцией усложнения конструкций КА, обусловленной повышением объема и уровня решаемых задач, а также в связи с появлением различных типов аппаратов, имеющих в своем составе крупногабаритную аппаратуру астрофизического назначения возникают большие трудности при их наземной экспериментальной тепловой отработке, что связано с ограниченными размерами и ограниченными функциональными возможностями имеющихся экспериментальных установок. Это побуждает разработчиков космической техники искать более совершенные по точности моделирования внешних тепловых нагрузок и более рациональные по экономическим показателям методы моделирования внешнего теплообмена. При этом все больший интерес проявляется к упрощенным средствам. Эти средства - различные по конструкции, способу подвода энергии имеют одну общую особенность, заключающуюся в том, что энергия испускаемого ими излучения заключена в основном в инфракрасной области спектра. Но при использовании таких средств возникают проблемы методического характера, связанные с формированием управляющих воздействий на их элементы, при которых обеспечивалась бы максимально возможная для используемой системы точность моделирования расчетной тепловой нагрузки.

Диссертационная работа Болотной К.И. посвящена разработке методического обеспечения моделирования внешних тепловых нагрузок на поверхность КА в наземных экспериментальных установках с помощью упрощенных средств, а именно - с помощью различного рода инфракрасных источников излучения, располагаемых вокруг испытываемого объекта. В связи с этим рассматриваемая работа представляется актуальной.

**Целью диссертационной работы** является разработка методов определения энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов,



обеспечивающих более высокую, по сравнению с известными, точность моделирования внешних тепловых нагрузок на поверхность космических аппаратов.

**Структура и содержание диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованных источников из 69 наименований; содержит 120 страниц основного текста, 20 рисунков, 6 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертации, излагается цель работы и перечислены задачи, которые должны быть решены для реализации цели работы.

В первой главе диссертации анализируются возможные способы моделирования внешних тепловых нагрузок на поверхность КА. На основе проведенного анализа сделан вывод о необходимости оснащения тепловакуумных установок средствами приближенного воспроизведения расчетных внешних тепловых нагрузок даже в том случае, когда в состав установки входит имитатор солнечного излучения. Помимо анализа известных имитационных средств в главе большое внимание уделяется вопросу о возможности создания инфракрасного имитатора с условно точечными излучающими модулями. Автором разработана схема модуля, в состав которого входят галогенные кварцевые лампы накаливания, используемые как удобный в эксплуатации источник тепловой энергии. Схема примечательна тем, что она позволяет, используя благоприятные эксплуатационные характеристики галогенных кварцевых ламп накаливания, преобразовать сложный и весьма неопределенный спектр излучения этих ламп в простой инфракрасный спектр.

Во второй главе диссертации проводится сравнительное исследование методических подходов к решению задачи определения оптимальных энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов. Режим работы имитатора обычно характеризуется совокупностью значений

интенсивности излучения его элементов (модулей) в направлении своих нормалей, то есть величинами  $J_j(0)$   $j = 1 \dots n$ , где  $n$  - число излучателей.

В качестве критерия оптимальности режима работы имитатора выбирается минимум целевой функции  $\psi$ , представляющей собой сумму квадратов “ взвешенных ” погрешностей воспроизведения расчетных значений внешних тепловых потоков к выделенным тепловоспринимающим элементам испытуемого объекта. В работе рассматривались два подхода к решению задачи определения оптимального режима работы имитаторов. Оба подхода основаны на поиске вектора  $J(0) = \{J_j, j = 1, 2 \dots n\}$  минимизирующего функцию  $\psi$ . При использовании одного подхода искомый вектор определяется из условия минимума функции  $\psi$  как функции многих переменных. Представленный в диссертационной работе другой подход основан на использовании градиентных методов минимизации целевой функции  $\psi$  - метода наискорейшего спуска и метода сопряженных градиентов.

Проведен сравнительный анализ этих подходов. Установлено, что градиентные методы оптимизации и метод, основанный на использовании необходимого условия существования экстремума функции многих переменных, дают мало отличающиеся результаты по точности моделирования тепловых нагрузок, но положение точек минимума целевой функции отличается весьма существенно, что свидетельствует о наличии у минимизируемой (целевой) функции не одного минимума.

Значительное внимание во второй главе уделяется методам определения угловых коэффициентов между тепловоспринимающими элементами испытываемого объекта и элементами излучающих элементов имитаторов, поскольку эти коэффициенты входят в выражения для минимизируемых целевых функций. В частности, излагается новый простой и, в тоже время, весьма эффективный подход к определению угловых



коэффициентов между тепловоспринимающими элементами и нитями сетчатого нагревателя, а также алгоритм расчета угловых коэффициентов между тепловоспринимающими элементами и самими сетками.

Рассмотренные в диссертации методики определения оптимальных энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов позволяют выявить абсолютные и относительные значения интенсивностей излучения модулей имитатора, обеспечивающих минимальное значение целевой функции. Однако практическую ценность от решения задачи минимизации целевой функции представляют лишь относительные значения интенсивностей. По сути дела эти значения характеризуют относительные значения электрических мощностей, подводимых к модулям имитатора. Поэтому необходимым условием реализации оптимального энергетического режима эксплуатации имитатора является установление связи между интенсивностью излучения модулей имитатора и подводимой к ним электрической мощностью. Решению этой задачи посвящена третья глава диссертации. В ней излагаются экспериментальный и аналитический подходы к определению этой зависимости.

. В четвертой главе диссертации иллюстрируется эффективность разработанного подхода к определению энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов на примере использования известного инфракрасного имитатора (ИКИ) тепловакуумной установки ВК 600/300 для решения задач термостатирования изделия “Спектр-РГ” при проведении комплексных его электрических испытаний и для воспроизведения внешних тепловых нагрузок на изделие “Луна-Глоб” при его тепловакуумных испытаниях.

### **Научная новизна.**

Претендующие на научную новизну основные положения, представленные с необходимым обоснованием автором диссертации в главах 1-3, можно охарактеризовать следующим образом:

1. Установлено наличие не одного, а нескольких минимумов целевой функции, характеризующей среднеквадратичную погрешность воспроизведения заданных тепловых нагрузок на элементы поверхности испытуемого объекта при испытаниях в имитаторах с дискретными источниками излучения.
2. Разработаны экспериментальный и аналитический подходы к определению коэффициентов связи между подводимой к модулям имитатора с линейчатыми излучателями электрической мощности и интенсивностью их излучения.
3. Для имитаторов с сетчатыми нагревателями разработан новый метод определения энергетического режима работы, обеспечивающий минимальные погрешности моделирования внешних тепловых нагрузок.
4. Разработана принципиальная схема условно точечного модуля инфракрасного имитатора, основанного на использовании галогенных кварцевых ламп накаливания как источников энергии для излучающей черной рабочей поверхности модуля.

### **Практическое значение:**

1. Разработанные в диссертации методики и компьютерные программы использованы во ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» при подготовке методического обеспечения испытаний изделия «Луна-Глоб» на установке ВК600/300.

2. Разработанный в диссертации новый подход к расчету облученности элементов поверхностей испытуемых объектов нитями сетчатых нагревателей используется при подготовке автономных испытаний фрагментов изделий, создаваемых на предприятии НПО им. С.А. Лавочкина.



**Публикации.** Основные результаты работы опубликованы в четырех статьях в рекомендованном ВАК периодическом издании «Тепловые процессы в технике».

**Замечания:**

1) Весьма важный вывод о наличии у целевой функции нескольких минимумов не нашел в диссертации достаточно полного обоснования. Есть основания предположить, что точки минимума целевой функции зависят не только от применяемого метода минимизации, но и начальных значений оптимизируемого вектора. В работе не представлен анализ зависимости положения точки минимума целевой функции от начального ее положения.

2) Сделанный автором диссертации вывод о преимуществе имитаторов с условно точечными излучателями перед другими имитаторами представляется спорным в случае, когда внешняя поверхность испытуемого объекта близка к цилиндрической поверхности с образующей, параллельной продольной оси объекта. Именно такая форма наружной поверхности часто имеет место при использовании на космическом аппарате экранно-вакуумной теплоизоляции.

3) В работе отмечается, что галогенные кварцевые лампы накаливания можно применять лишь в качестве условно точечных источников излучения в том случае, когда поверхность испытуемого объекта является серой. Однако эти лампы можно применять и при испытаниях объектов, наружные поверхности которых не являются серыми, но имеют однородные радиационно-оптические характеристики.

4) Во второй главе приводятся три таблицы, в которых иллюстрируются результаты расчетов вектора интенсивности излучения модулей цилиндрического имитатора, выполненных с помощью трех анализируемых в главе подходов. Из сопоставления таблиц следует вывод

о наличии трех минимумов у целевой функции. Этот вывод мог бы более наглядно продемонстрирован с помощью графиков.

### **Заключение.**

Отмеченные недостатки не снижают ценности и практической значимости работы. Диссертация Болотной К.И. представляет собой законченное исследование, посвященное актуальной теме. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 –“Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов”, а ее автор, Болотная Камилла Игоревна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук.

Материалы диссертации Болотной К.И. «Разработка методического обеспечения эксплуатации инфракрасных имитаторов внешних тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата» прошли обсуждение на НТС ОКБ протокол № 9 от 08.12.2016, по результатам которого был утверждён отзыв.

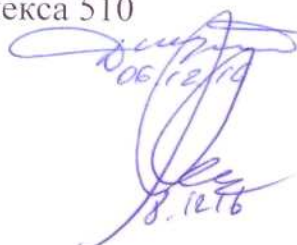
Заместитель генерального конструктора  
по общему проектированию



06.12.16

Москатыньев И.В.

Заместитель начальника комплекса 510



06.12.16

Тулин Д.В.

Учёный секретарь НТС ОКБ,  
кандидат технических наук



8.12.16

Шостак С.В.