

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ФКП «НИЦ РКП»,
доктор технических наук

Н.П. Сизяков

13 декабря 2021 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Шеметовой Елены Владиславовны
«Экспериментальное моделирование внешних тепловых нагрузок
на поверхность космического аппарата в инфракрасном имитаторе
с блочными линейчатыми излучателями»

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных
аппаратов»

Актуальность темы диссертации

Среди различных видов тепловых испытаний космических аппаратов особое место занимают тепловакуумные испытания (ТВИ), отличительной особенностью которых является имитация в экспериментальных установках – тепловакуумных камерах (ТВК) - условий космических полета или пребывания на поверхности небесных тел, не имеющих атмосферы. Для воспроизведения при ТВИ тепловых потоков от Солнца, Земли и других планет применяются имитаторы солнечного излучения (ИСИ) и инфракрасные излучатели (ИКИ), представляющие собой системы инфракрасных автономно управляемых источников излучения, размещаемых вокруг объекта испытаний (ОИ), а в ряде случаев - включенными в состав самого ОИ.

Для повышения качества работы и эффективности средств имитации тепловых потоков при ТВИ актуальной задачей является разработка специального методического и программного обеспечения для методической,

Отдел документационного
обеспечения МАИ

13.12.2021 г.

математической и информационной поддержки на всех этапах тепловакуумной отработки, включая:

- на этапе подготовки к ТВИ - выбор оптимальной схемы размещения и режимов работы ИКИ;
- в ходе ТВИ управление процессами настройки и функционирования ИКИ, выбор оптимальных и быстрых решений в непредвиденных ситуациях;
- после ТВИ расчет тепловых потоков по фактическим режимам работы ИКИ для оценки результатов ТВИ и уточнения тепловой математической модели ОИ по результатам тепловакуумной отработки.

Цель диссертационной работы

Разработка методического обеспечения экспериментального моделирования тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата в инфракрасных имитаторах с блочными линейчатыми излучателями для повышения точности моделирования и упрощения системы управления энергетическими характеристиками имитаторов.

Новизна полученных результатов

- 1 Разработана новая принципиальная схема инфракрасного имитатора модульного типа с блочными линейчатыми излучателями.
- 2 Разработана методика определения оптимального энергетического режима работы инфракрасного имитатора модульного типа с блочными линейчатыми излучателями.
- 3 Разработана радиационная модель трубчатой кварцевой лампы накаливания с вольфрамовой спиралью.
- 4 Выявлены причины появления недопустимо больших погрешностей моделирования тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата при использовании трубчатых кварцевых ламп накаливания.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Разработанная методика оптимизации энергетических режимов работы имитаторов модульного типа с блочными линейчатыми излучателями использовалась в АО «НПО Лавочкина» при подготовке рабочих программ

проведения автономных тепловакуумных испытаний в вакуумной камере ВК-27 с использованием системы сетчатых нагревателей отдельных фрагментов создаваемых на предприятии изделий.

Материалы диссертации являются результатом авторских исследований, проводимых на кафедре 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в рамках государственного задания в сфере научной деятельности по научному проекту № FSFF-2020-0016, выполняемого при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа объемом 111 страниц состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 69 наименований; содержит 25 рисунков и 3 таблицы.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, приведен предварительный анализ возможных подходов к решению задачи физического моделирования условий внешнего теплообмена КА при его тепловакуумной обработке, сформулированы цель диссертации, задачи, решаемые в ходе работы, и положения, выносимые на защиту. Показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, степень разработанности темы исследования. Содержится информация о степени достоверности и апробации результатов исследования.

В первой главе диссертации рассматривается вопрос о перспективах экспериментального моделирования внешнего теплообмена КА в условиях, приближающимся к натурным. Показано, что экспериментальное моделирование влияния космического вакуума, радиационных свойств космического пространства являются вполне решаемыми с нужной точностью задачами. Моделирование воздействия нежесткого электромагнитного излучения Солнца на КА, функционирующего в космосе в режиме постоянной солнечной ориентации не является проблемой. Однако моделирование

совместного воздействия переменных по времени и ориентации полей излучения, исходящего от Солнца, планет, частей самого космического аппарата, не вошедших в состав объекта испытаний, во многих случаях является практически неразрешимой задачей. В этом случае важное значение приобретают приближенные методы воспроизведения расчетных значений внешних тепловых нагрузок с помощью инфракрасных источников излучения, что в совокупности с системами выкуумирования и системой криогенных экранов, моделирующих «холодный» и «черный» космос, позволяет воспроизводить с приемлемой точностью влияние внешнего теплообмена на тепловое состояние КА. Совокупность инфракрасных источников излучения, объединенных в определенной конструкции, называют инфракрасными имитаторами.

В результате с соответствующим обоснованием сформулированы основные требования к конструкции и излучающим элементам инфракрасных имитаторов.

Во второй главе представлено описание и краткий анализ характеристик известных средств приближенного моделирования внешних тепловых нагрузок на поверхность КА. Проанализированы достоинства и недостатки инфракрасных имитаторов модульного типа с условно линейчатыми излучателями, имитаторов на основе трубчатых ламп накаливания, инфракрасных имитаторов с условно точечными излучателями, термоэкранов, термоэкранов в сочетании с системой галогенных ламп накаливания, сетчатых нагревателей, поверхностных управляемых электронагревателей.

Показано, что важное значение имеют приближенные методы моделирования внешнего теплообмена КА с помощью инфракрасных источников излучения.

Третья глава диссертации посвящена исследованию методов определения оптимальных энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов с учетом зависимости спектральных радиационных характеристик излучателей имитатора от оптимизируемого вектора управления $J(0)$, в качестве которого

обычно принимается интенсивность излучения модулей имитатора. Показано, что для испытываемых объектов с несерыми покрытиями наружных поверхностей необходима корректировка известных методик решения задачи выбора оптимальных режимов работы имитаторов, используя итерационный процесс поиска решения задачи, заключающийся в многократном определении вектора $J(0)$ и одновременном уточнении значений поглощательной способности элементов поверхности испытываемого объекта на основании полученных на каждой итерации значений вектора $J(0)$.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию проблемы создания инфракрасного имитатора модульного типа с линейчатыми излучателями, скомпонованными в отдельные автономно управляемые блоки, а также исследованию вопроса о целесообразности использования в конструкции блочных модулей трубчатых ламп накаливания с вольфрамовой спиралью, в частности галогенных.

В заключении обобщаются результаты выполненного исследования и представлены выводы по работе.

В целом диссертация оформлена в соответствии с требованиями, достаточно структурирована и написана научно-техническим языком. Материал изложен последовательно и логично.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается удовлетворительным совпадением результатов вычислительных экспериментов, проведённых с использованием разработанных методик, вычислительных алгоритмов и компьютерных программ, с результатами физических экспериментов, полученными в АО «НПО Лавочкина» при проведении автономных тепловакуумных испытаний отдельных фрагментов разрабатываемых изделий.

Обоснованность выводов, сформулированных в диссертации

В результате проведённого исследования разработано методическое обеспечение экспериментального моделирования тепловых нагрузок на

поверхность космического аппарата в инфракрасных имитаторах с блочными линейчатыми излучателями. Это позволит повысить точность моделирования тепловых нагрузок и упростить систему управления энергетическими характеристиками имитаторов данного типа.

При реализации и использовании предложенной методики определения оптимального энергетического режима работы инфракрасного имитатора модульного типа с блочными условно линейчатыми излучателями существенно повысится точность экспериментального моделирования внешних тепловых нагрузок на поверхность космических аппаратов за счёт приближения спектра излучения модулей имитатора к спектру излучения серых тел в длинноволновой инфракрасной области спектра. Кроме этого упростится система управления имитатором за счёт многократного снижения числа каналов управления его модулями.

На основе разработанной радиационной модели трубчатой кварцевой лампы накаливания с вольфрамовой спиралью установлено, что неблагоприятный в инфракрасной области спектра характер зависимости спектральной степени черноты вольфрама от длины волны излучения может приводить к появлению недопустимо больших погрешностей моделирования внешних тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата при использовании этих ламп в инфракрасных имитаторах.

Личный вклад автора

Все изложенные в диссертации результаты получены лично автором, либо при его непосредственном участии.

Апробация работы и публикации

Представленные в диссертации результаты докладывались на XLIV Молодежной международной научной конференции «Гагаринские чтения» (Москва, 2018 г.), XXV научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника» (Судак, 2018 г.), XLIV академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти С.П. Королёва – пионеров освоения космического пространства (Москва, 2020 г.),

XLII Международной научно-практической конференции «World Science: problems and innovation» (Пенза, 2020), XXVIII научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника» (Судак, 2021 г.)

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 3-х статьях, из них 2 – в журналах, входящих в Перечень ВАК, 1 – в издании, цитируемом международной базой SCOPUS, а также в 5-ти трудах и материалах научных конференций.

Замечания к диссертационной работе

1 Используемая в диссертационной работе при расчетах плотности лучистых тепловых потоков на поверхность объекта испытаний математическая модель расчета плотности потока излучения на элемент поверхности, не учитывает взаимную «видимость» элементами поверхности ОИ друг друга, переизлучение и переотражение падающих потоков.

Данный подход является слишком упрощенным подходом, снижающим разработанные для этих расчетов программы практической ценности с учетом сложной формы КА и современных внешних покрытий, имеющих зеркальные свойства, применяемых для КА.

2 Применяемые в практике ТВИ на предприятиях отрасли ИКИ, как правило, имеют в своем составе кроме излучающих элементов, отражатели, и в ряде случаев, элементы ограждения прямого потока излучателя на поверхности стендовых систем ТВК и ОИ. Например ИКИ, используемые АО ИСС в практике ТВИ создаваемых КА в конфигурации с не огражденной галогенной лампой, используется очень редко. В представленных в диссертационной работе формулах для построения математической модели имитатора и в методическом подходе к определению локальных угловых коэффициентов не учитывается возможность наличия в ИКИ отражателей и элементов ограждения прямого потока от излучателя.

3 В диссертационной работе автор описывает радиационную модель кварцевой трубчатой галогенной лампы накаливания (ГЛН) с вольфрамовой

спиралью. В практике отечественных предприятий имеется положительный опыт использования этих ламп при ТВИ как для построения систем ИКИ, так и в качестве ИСИ. Спектр излучения этих ламп известен. В диссертационной работе автор не представил сравнение результатов расчетов по разработанной им радиационной математической модели с результатами измерений спектра из известных источников, которые могли бы свидетельствовать об адекватности построенной модели.

4 В ряде разделов диссертационной работы имеются неудобочитаемые абзацы текста.

Рекомендации

Разработанная принципиальная схема ИКИ модульного типа с блочными условно-линейчатыми излучателями и методика определения оптимального энергетического режима его работы позволит повысить точность экспериментального моделирования внешних тепловых нагрузок на поверхность КА и оптимизировать схему управления ИКИ.

В работе отмечается сходимость результатов вычислительных экспериментов, проведенных с использованием данной методики, с результатами физических экспериментов, полученных при проведении автономных тепловакуумных испытаний отдельных фрагментов разрабатываемых изделий.

Материалы диссертационной работ могут быть применены в качестве теоретических исходных данных при дальнейшей разработке методического обеспечения для инфракрасных имитаторов внешних тепловых нагрузок с целью повышения точности их моделирования.

Заключение

Диссертационная работа Шеметовой Е.В. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной под руководством доктора технических наук, старшего научного сотрудника Колесникова Анатолия Васильевича, содержащей решение актуальной научной задачи – конструирования инфракрасного имитатора с минимально допустимым

количеством автономно «запитываемых» модулей, а также разработки методического обеспечения управления его энергетическими характеристиками, имеющей существенное значение для развития направления 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Таким образом считаем, что диссертационная работа Шеметовой Елены Владиславовны «Экспериментальное моделирование внешних тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата в инфракрасном имитаторе с блочными линейчатыми излучателями» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Отзыв на диссертационную работу Шеметовой Е.В. рассмотрен и утвержден на заседании Президиума НТС ФКП «НИЦ РКП», протокол № 7/12 от 09.12.2021.

Заместитель генерального директора
по научной работе, к.т.н., доцент

И.А. Юрьев

Федеральное казенное предприятие «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности»

Адрес: Россия, 141320, Московская обл., г. Пересвет, ул. Бабушкина, д. 9

Юрьев Игорь Анатольевич, заместитель генерального директора по научной работе, кандидат технических наук, доцент, тел. 8(496)546-33-10, e-mail: mail@nic-rkp.ru.

*Подпись Юрьев И.А. заверено
Руководитель
персоналом*



Игорь Анатольевич Юрьев
12.2021