

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

«Московский государственный  
технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44  
E-mail: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)  
ОГРН 1027739051779  
ИНН 7701002520 КПП 770101001

29.08.2019 № 01.03-10/787

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председателю диссертационного  
совета Д 212.125.10 при ФГБОУ ВО  
«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
институт)» (МАИ)  
профессору, д.т.н. Ю.И. Денискину  
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д.4

**Уважаемый Юрий Иванович!**

Направляем Вам отзыв официального оппонента д.т.н., профессора С.В. Резника на диссертационную работу Ш.О. Сыздыкова «Экспериментальное моделирование тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата с помощью инфракрасных излучающих систем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Приложение: Отзыв 2 экз., каждый на 9 л.

**Первый проректор –  
проректор по научной работе**

**В.Н. Зимин**

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 24 09 2019

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук,  
профессора Резника Сергея Васильевича на диссертационную работу  
Сыздыкова Шалкара Оразовича  
«Экспериментальное моделирование тепловых нагрузок на поверхность  
космического аппарата с помощью инфракрасных излучающих систем»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы  
летательных аппаратов»

**Актуальность темы исследования.** На всех этапах проектирования космических аппаратов (КА) теоретические и экспериментальные методы исследования тесно связаны между собой. На стадии технического проекта особую важность приобретают наземные термовакуумные испытания. Ценность информации, получаемой в таких испытаниях, в сильной степени зависит от точности воспроизведения ожидаемых условий работы КА, в первую очередь, тепловых режимов.

Моделирование тепловых режимов в наземных экспериментальных установках связано с большими трудностями, обусловленными необходимостью воспроизведения в эксперименте изменения ориентации КА относительно источников внешних тепловых воздействий. Поэтому даже при наличии в экспериментальной установке достаточно совершенного имитатора Солнца почти всегда возникает необходимость дооснащения ее дополнительными средствами внешнего нагрева. Одни из них могут моделировать воздействие на КА потоков собственного и отраженного планетой солнечного излучения, другие – влияние на испытываемый объект частей того же аппарата, не вошедших в состав испытываемого объекта по причине ограниченности размеров экспериментальной установки. Дополнительные средства нагрева могут отличаться конструкцией, способом подвода энергии и спектральным составом излучения, которое в основном испускается в инфракрасной полосе спектра.

Применяемые в крупных термовакуумных установках инфракрасные имитаторы, как правило, являются имитаторами модульного типа с условно

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 24 09 2019

Применяемые в крупных термовакуумных установках инфракрасные имитаторы, как правило, являются имитаторами модульного типа с условно линейчатыми излучателями. Для таких имитаторов используется достаточно эффективное методическое обеспечение. Но есть имитаторы, в которых испытуемый объект нагревается с помощью излучающих панелей или галогенных ламп накаливания (ГЛН). Такие имитаторы также нуждаются в методическом обеспечении для определения энергетических режимов обеспечивающих требуемую точность воспроизведения расчетных внешних тепловых нагрузок на испытуемый объект. На решение этой актуальной задачи направлены исследования диссертации Сыздыкова Ш.О.

**Цель диссертационной работы** заключалась в разработке методического обеспечения экспериментального моделирования тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата с помощью инфракрасных излучающих систем.

Данная формулировка не безупречна. Как видно, автор намерен разрабатывать новые инструменты методического обеспечения испытаний КА, эффективность которых еще предстоит выяснить. Другими словами, формулировка цели не содержит обязательств достижения и конкретизации показателей ожидаемого положительного эффекта, достигаемого с помощью научных исследований диссертанта, например, сокращения времени подготовки испытаний, повышения точности воспроизведения внешних тепловых нагрузок, экономии энергетических ресурсов и т.д. и т.п.

**Структура диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемых источников из 78 наименований; содержит 115 стр. основного текста и 23 рисунка и 3 таблицы.

**Во введении** приведено обоснование актуальности выбранной темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, охарактеризована новизна полученных результатов и обоснована их достоверность.

Во введении имеется ряд неточностей. В частности, на стр. 5 автор, характеризуя средства воспроизведения тепловых потоков, действующих на КА при наземных испытаниях, пишет «...основная энергия испускаемого ими излучения сосредоточена в средней и дальней инфракрасной полосе спектра с длиной волны, в основном превышающей 2-3 мкм...». Это не совсем так, например, максимум энергетической интенсивности ГЛН в номинальном режиме работы приходится на длину волны, близкую к 1 мкм, поскольку температура излучающей спирали 3000 К. Вряд ли стоило на стр. 6 смешивать вместе «излучающие панели», «термочехлы» и «термоэкраны», относящиеся к источникам, так называемого фонового излучения.

**В первой главе** диссертации проанализированы известные методы и средства экспериментального моделирования внешнего теплообмена КА. На основе проведенного анализа делается вывод о том, исследование тепловых режимов КА в условиях, максимально приближенным к натурным, часто сопряжено с необходимостью воссоздания в эксперименте переменных по времени и взаимной ориентации полей излучения, источниками которых является Солнце и планеты, в частности Земля. Данное обстоятельство порождает большие технические трудности. В связи с этим по мнению автора важное значение приобретают *приближенные методы моделирования* внешнего теплообмена в установках, оснащенных имитаторами солнечного излучения с инфракрасными источниками излучения. В главе приводится описание и анализ различных оптических схем имитаторов, в которых реализуются приближенные методы моделирования воздействия на поверхность испытываемого объекта потоков теплового излучения, источником которых может быть Солнце, тепловое излучение планет, а также излучение тех частей КА, которые не вошли в состав испытываемого объекта.

На стр. 18 отмечены удобство в эксплуатации и сравнительная легкость компоновки в конструкции имитатора инфракрасных трубчатых кварцевых ламп накаливания, т.е. ГЛН. Однако далее автор делает неверный вывод о

том, что «...использование этих ламп затруднено из-за недостаточной изученности вопросов, связанных с методикой определения энергетического режима работы ламп, входящих в состав имитатора». Энергетические режимы работы ГЛН основательно изучены. Их технические характеристики и методы расчета испытательных и технологических установок описаны в литературе (Баранов, А.Н. Статические испытания сверхзвуковых самолетов / А.Н. Баранов, А.Г. Белозеров, Ю.С. Ильин, В.Ф. Кутьинов. М.: Машиностроение, 1974. 343 с.; Зворыкин, Д.Б. Отражательные печи инфракрасного нагрева / Д.Б. Зворыкин, А.Т. Александров, Б.П. Байкальцев М. Машиностроение, 1985. 176 с.; Афанасьев, В.А. Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов / В.А. Афанасьев, В.С. Барсуков, М.Я. Гофин и др. Под ред. Н.В. Холодкова. М.: Изд-во МАИ, 1994. 412 с.).

Следует отметить, что автор, декларируя на словах необходимость при испытаниях точного воспроизведения внешних тепловых нагрузок (стр. 5, 6, 12, 13, 14, 15 и др.) не дает четкого определения параметров, которые должны быть достаточно точно определены. Нужно догадываться, что это? Вероятно, плотность падающих тепловых потоков, а может быть их спектральный состав, а может быть угловая структура этих потоков или все вместе? При этом, пусть не четко определенное стремление достижения высокой точности, совершенно не сочетается с установкой на использование приближенных методов моделирования. Так, на стр. 14 читаем «...важное значение приобретают приближенные методы моделирования внешнего теплообмена». Почему приближенные методы важны для высокоточного моделирования? Скорее всего это – неудачная фраза.

**Вторая глава** диссертации посвящена исследованию методов определения оптимальных энергетических режимов работы имитаторов различных типов с инфракрасными источниками теплового излучения. Методы оптимизации режимов работы инфракрасных имитаторов

модульного типа с линейчатыми и условно точечными излучателями, ранее были исследованы Палешкиным А.В. и Болотной К.И. В диссертации Сыздыкова Ш.О. разработаны методические подходы и алгоритмы решения задач определения оптимальных режимов работы имитаторов, в которых источниками теплового излучения разной интенсивности являются термоэкраны (термочехлы) и галогенные лампы накаливания (ГЛН). Из-за отличия от методов решения аналогичных задач для имитаторов модульного типа диссертантом рассматриваются три варианта постановки задачи:

-внешние тепловые нагрузки моделируются только с помощью термоэкранов.

-тепловые нагрузки имитируются с использованием системы ГЛН.

-моделирование внешних тепловых нагрузок осуществляется при одновременном использовании термоэкранов и ламп.

Для расчета облученности поверхности испытуемого объекта ламповыми модулями в диссертации излагается новый методический подход, основанный на представлении каждой лампы в виде совокупности цилиндрических излучающих элементов и на замене каждого цилиндрического элемента плоским элементом, ориентация которого изменяется по определенному закону, в зависимости от взаимного положения и координат тепловоспринимающего элемента и цилиндрического элемента. Большое внимание уделяется проверке правомерности такой замены.

Алгоритмы решения задачи определения оптимальных режимов работы термоэкранов и ламповых модулей для трех рассмотренных вариантов постановки задачи были реализованы в вычислительных экспериментах, поставленных для оценки погрешностей моделирования внешних тепловых нагрузок на объекте с несложной формой наружной поверхности. Результаты вычислительных экспериментов для различных вариантов внешнего теплового нагружения дают основание заключить, что совместное

использование термозкранов и ГЛН позволяет с удовлетворительной точностью воспроизводить внешние тепловые нагрузки на объекты с несложной формой наружной поверхности.

**В третьей главе** излагается методика оценки влияния погрешностей моделирования внешних тепловых нагрузок на тепловое состояние КА. Выявлены соотношения, позволяющие оценить влияние погрешностей моделирования внешних тепловых нагрузок на тепловое состояние радиационных теплообменников, отсеков КА, оснащенных активными системами терморегулирования, отсеков, тепловой режим которых обеспечивается с помощью пассивных средств. Особое внимание в главе уделяется определению плотности результирующего теплового потока через пакет реальной экранно-вакуумную теплоизоляцию (ЭВТИ), на возмущение внешнего теплового потока. Такое особое внимание к ЭВТИ обусловлено тем, что это – важнейший элемент системы обеспечения теплового режима КА. В известных работах обычно рассматривается влияние возмущения внешнего теплового воздействия на результирующий тепловой поток через ЭВТИ для двух идеализированных случаев. В первом теплоперенос через пакет ЭВТИ осуществляется только лучистым способом, а во втором теплоперенос через ЭВТИ происходит также, как и через элемент оболочки с термическим сопротивлением, независимым от температуры. При этом результаты оценок для этих двух идеализированных случаев могут отличаться многократно. Поэтому исключительно важной является задача разработки такой методики, в которой достаточно корректно описывался процесс теплопереноса в реальном пакете теплоизоляции. Результаты разработки такой методики представлены в диссертации. Получены соотношения, позволяющие оценить влияние погрешности моделирования внешнего теплового потока, поглощаемого поверхностью ЭВТИ на теплоперенос через пакет этой изоляции при различном числе ее экранов и при различной степени ее обжатия.

### **Научная новизна.**

1. Разработан методический подход и алгоритм решения задачи оптимизации температурных режимов термоэкранов (термочехлов) при испытаниях КА в термобарокамерах, не оснащенных специальными имитаторами внешних тепловых нагрузок.

2. Разработана методика расчета облученности элементов испытуемого объекта в имитаторах с трубчатыми источниками излучения.

3. Разработана методика определения оптимального энергетического режима имитатора, имеющего в своем составе совокупность термоэкранов и систему ГЛН,

4. Выявлена связь между погрешностями моделирования внешнего теплового потока и погрешностями в величине результирующего теплового потока через пакеты теплоизоляции с различным числом экранов и при различной степени обжатия пакета, характеризуемой величиной отношения кондуктивной и лучистой составляющих результирующего теплового потока.

### **Практическое значение**

Научные результаты диссертации используются во ВНИИЭМ при подготовке испытаний КА в термовакуумной камере Climats.

**Апробация и публикации.** Основные результаты работы опубликованы в 5 статьях в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК по специальности 05.07.03 «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов». Автор трижды докладывал отдельные результаты работы на Гагаринских чтениях.

### **Замечания и пожелания:**

1. При выборе методических подходов к экспериментальному моделированию процессов радиационного теплообмена не приведены требования к точности воспроизведения тепловых режимов КА при наземных термовакуумных испытаниях.



2. Для исследования корректности нового алгоритма расчета облученности тепловоспринимающих элементов испытуемого объекта цилиндрическими излучателями имитатора в п 2.3.5 целесообразнее было бы сопоставить результаты расчетов угловых коэффициентов по новой и известной методике для идентичных условий взаимного расположения излучателя и тепловоспринимающего элемента.

3. При оценке влияния погрешностей моделирования внешних тепловых нагрузок на теплоперенос через реальную экранно-вакуумную теплоизоляцию (ЭВТИ) предполагалось отсутствие газообразной среды между экранами. Однако в большинстве термовакуумных установок давление газа во время испытаний не удается снизить менее  $10^{-4}$  Па. и нужны дополнительные оценки с учетом теплопереноса в остаточном газе.

4. Имеются недостатки в оформлении, неточности и неисправленные опечатки в тексте, в частности:

- во введении и далее автор использует сокращения КА, ИО без предварительной их расшифровки. В то же время не ясно почему не введено сокращение ГЛН для многократно употребляемого сочетания «галогенные лампы накаливания»?

- на стр. 5 слово «излучения» следует заменить на «излучение»; на стр. 12; на стр. 17 слово стеклографитовые следует писать слитно; на стр. 27 в слове «электронагревателей» пропущена буква «к».

- на стр. 12 имеется фраза о экономических факторах, влияющих на выбор научно-технических решений, которыми автор диссертации не занимался.

Список литературы содержит 78 источников. При оформлении автор пытался следовать ГОСТ 7.0.5-2008. Однако это ему плохо удалось. Только 10 из 78 правильно оформлены.

**Заключение.** Отмеченные недостатки, конечно, не украшают диссертацию, вызывают досаду, но не снижают ценности и практической

значимости диссертации. Проведенные исследования можно характеризовать как научно обоснованные методические разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач в сфере наземной экспериментальной отработки КА при моделировании внешнего теплообмена. Результаты работы можно рекомендовать к использованию в организациях, занимающихся проведением наземной экспериментальной отработки КА.

Диссертация Сыздыкова Ш.О. представляет собой законченное научное 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, Сыздыков Шалкар Оразович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой СМ-13  
«Ракетно-космические композитные  
конструкции» ФГБОУ ВО «МГТУ им.  
Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)»  
(специальность 05.07.01)

Резник Сергей Васильевич

Адрес: 105005 Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5, стр. 1  
Телефон +7(499) 261-17-43, +7(499) 263-65-22  
+7(909)676-39-53 E-mail: [sreznik@bmstu.ru](mailto:sreznik@bmstu.ru)

Подпись Резника С.В. заверяю



ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА  
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОМ  
НАЗАРОВ О. В.  
ТЕЛ. 8-499-263-60-48