

## ОТЗЫВ

научного руководителя д.т.н. Колесникова А.В. о диссертационной работе Болотной К.И. на тему «Разработка методического обеспечения эксплуатации инфракрасных имитаторов внешних тепловых нагрузок на поверхность КА», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Диссертационная работа Болотной К.И. посвящена разработке методического обеспечения проведения различного рода испытаний КА в условиях моделирования внешних тепловых нагрузок с помощью упрощенных средств, что чаще всего имеет место в экспериментальных установках, которые или не имеют имитатора солнечного излучения, или имеют его, но такой, который не в состоянии обеспечить нужные режимы проведения испытаний либо в силу ограниченности своих размеров, либо по причине невозможности воспроизводить поле излучения, изменяющее свою пространственную ориентацию относительно испытываемого объекта.

Работа включает в себя введение, 4 главы, заключение и список использованных источников.

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. Это дает возможность решать задачу выбора оптимального режима работы имитатора не только в случае испытываемых объектов с серыми характеристиками наружных поверхностей, но и для объектов с несерыми наружными поверхностями.

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 испытываемого 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.

Рассмотренные в диссертации методики выявления оптимальных энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов позволяют выявить лишь 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. Выявлению этой связи 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 ВК600/300 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.

Обобщая приведенную характеристику диссертационной работы Болотной К.И., можно сказать, что в этой работе излагаются решения ряда задач, обеспечивающих, в основном, потребности создания методического обеспечения проведения различных испытаний КА в условиях физического моделирования внешних тепловых нагрузок. При этом следует заметить, что 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 методы определения 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, обеспечивающего 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.

Можно считать, что диссертационная работа Болотной К.И. представляет собой исследование, результаты которого имеют большую практическую значимость. Работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени

кандидата технических наук, а ее автор, Болотная Камилла Игоревна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук.

Научный руководитель  
д.т.н., с.н.с., профессор кафедры 610  
«Эксплуатация ракетно-космических систем»  
Московского авиационного института  
(национального исследовательского университета)



А.В. Колесников

Подпись д.т.н., профессора А.В. Колесникова заверяю

И.о. декана факультета №6 «Аэрокосмический»



О.В. Тушавина

