

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМИТАТОРОВ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ДЛЯ ТЕРМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ

SIMULATION AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE OPTICAL-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF HEAT FLUX SIMULATORS FOR THERMAL VACUUM TESTS.

А.А.Филатов¹, А.А.Кишалов¹, П.Г.Смирнов^{1,2}, А.А.Моисеев¹ / petr.s.8314@mail.ru

A.A.Filatov, A.Kishalov, P.G.Smirnov, A.A.Moiseev

¹ ООО «НПО Гелиосфера»,

² БГТУ «Военмех»

Рассмотрены сопряженные лучевые и тепловые модели одиночных излучателей и панелей имитаторов теплового потока. Показана эквивалентность лучевой и тепловой моделей и отмечен факт, что моделирование на основе расчета хода лучей (ray tracing) и моделирование методом дискретных ординат (DO ordinates) приводят к хорошо совпадающим результатам. Рассмотрен вопрос экспериментальной верификации предложенных моделей и отмечено хорошее совпадение результатов моделирования с экспериментом. Показана возможность расширения функционала виртуальной лаборатории термовакuumных испытаний на случай испытаний с имитаторами тепловых потоков.

Coupled ray and thermal models of single and multiple sources of heat flux simulators are considered. The equivalence of the ray tracing and thermal models is shown and the fact is noted that the simulation based on ray tracing and the simulation by the discrete ordinates method (DO ordinates) lead to good coinciding results. The issue of experimental verification of the proposed models is considered, and good agreement between the simulation results and experiment is noted. The possibility of expanding the functionality of the virtual laboratory of thermal vacuum tests in the case of tests with simulators of heat flows is shown.

Ключевые слова: термовакuumные испытания, имитатор тепловых потоков, радиационный теплообмен, трассировка лучей.

Key words: thermal vacuum testing, heat flow simulator, radiation heat transfer, ray tracing.

В ходе термовакuumных испытаний для моделирования тепловых потоков (ИТП) на поверхностях космических аппаратов используются имитаторы тепловых потоков, обеспечивающие заданное распределение потока на протяженной поверхности. Такие имитаторы представляют собой массив источников ИК-излучения с возможностью регулировки плотности потока в широком диапазоне. В качестве источника излучения в имитаторе тепловых потоков применяется галогенная лампа накаливания, расположенная в рефлекторе.

Целью данной работы является разработка методики расчета массивов излучателей, составляющих имитатор тепловых потоков.

С точки зрения теплового моделирования лампа является сложным объектом. Лампа состоит из вольфрамовой спирали накала и кварцевой колбы, заполненной буферным газом. Максимум излучения спирали при температуре ~2500К [1] лежит до 3000 нм в области прозрачности колбы. Сама колба нагревается за счет длинноволновой части

излучения нити, лежащей после ~ 4000 нм и за счет теплового потока через буферный газ. Нагревая колба так же является источником ИК-излучения.

Поэтому при численном расчете имитатора тепловых потоков, состоящего из массива ламп и отражателей, для снижения вычислительных затрат требуется упрощенная модель источника ИК-излучения – колба лампы заменяется на излучающую поверхность, на которой задан тепловой поток, соответствующий мощности лампы. Для проверки корректности такого допущения рассматриваются две задачи в двумерной постановке: на расстоянии 2000 мм от контрольной поверхности с температурой 20°C расположены три источника излучения на расстоянии 489 мм друг от друга (рис. 1(а)). В модели рассматривается элемент симметрии $\frac{1}{2}$.

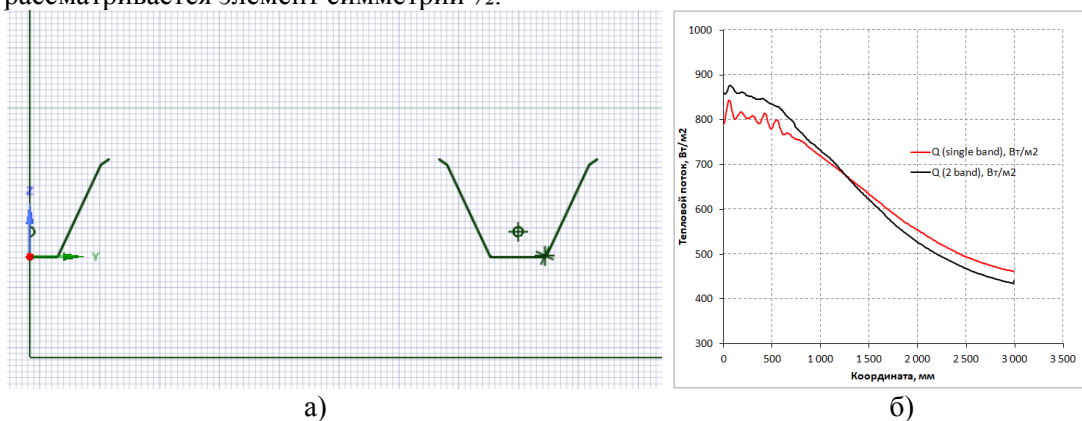


Рис. 1. а) Фрагмент расчетной геометрии. б) Тепловой поток на поверхности.

Источники излучения заданы в виде: излучающая поверхность с тепловым потоком и модель лампы с нитью накала, излучающей в двух диапазонах длин волн – первый (I) $100 \dots 3500$ нм и второй (II) $3500 \dots 50000$ нм. Нить накала моделируется как тело с объемным источником тепловыделения. Для второго диапазона стекло колбы непрозрачно. Для каждого из диапазонов рассчитан средний коэффициент излучения по данным [3]: I - 0.295, II - 0.162. Для рефлектора задано зеркальное отражение. Расчет излучения осуществляется с использованием метода дискретных ординат (DO) [2].

Оба подхода дали совпадающие в достаточной мере тепловые потоки на контрольной поверхности (рис. 1(б)), поэтому, можно говорить о допустимости такого метода моделирования.

Используя замену лампы излучающей поверхностью, произведен расчет панели имитатора тепловых потоков (рис 2(а)).

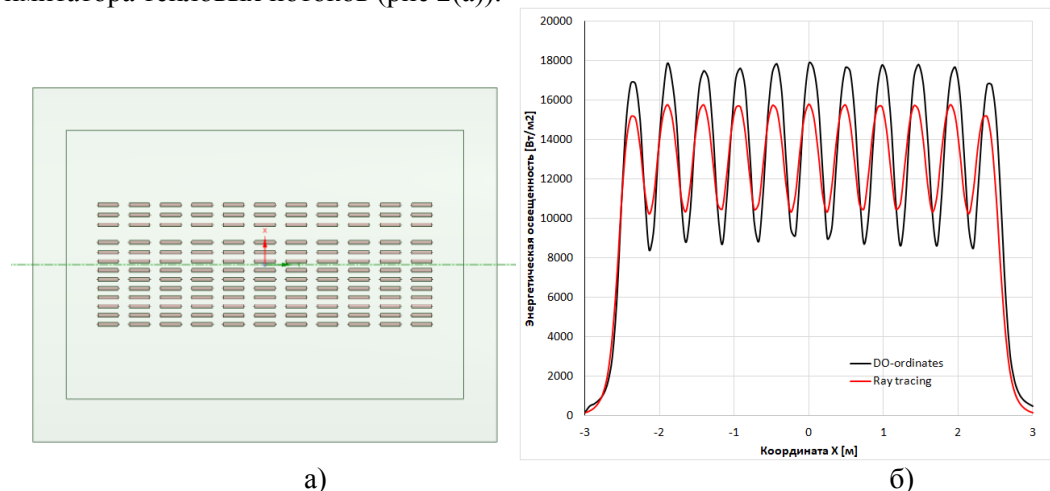


Рис. 2. а) Панель ИТП. б) Тепловой поток на поверхности в поперечном сечении по оси X.

Панель состоит из 143 ламп с рефлекторами длиной 330 мм и расположенных на расстоянии от 100 мм от контрольной поверхности. Мощность каждой лампы 1000 Вт. Данная задача так же решалась методом трассировки лучей. В результате было получено, что оба метода решения дают некоторое расхождение по амплитуде распределения теплового потока на поверхности, интегральное же значение теплового потока одинаковое.

На рис. 3 приведено сравнение экспериментальных данных по измерению теплового потока от массива ламп без отражателей и расчета методом трассировки лучей.

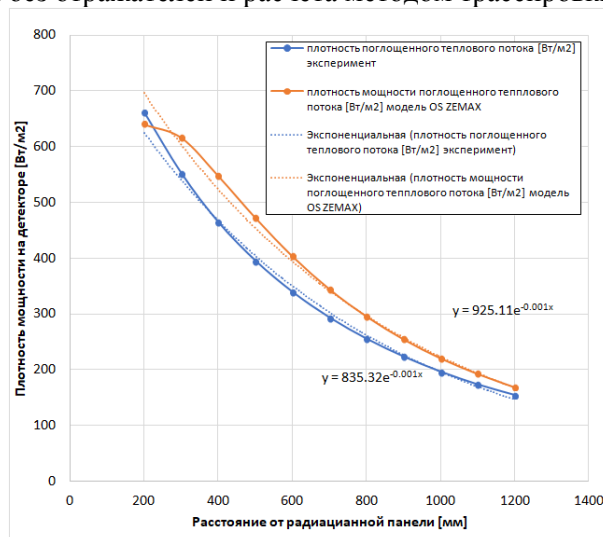


Рис. 3. Сравнение расчета трассировкой лучей и эксперимента.

По приведенным данным можно сделать вывод о корректности проведенного эксперимента и использовать эти данные для проверки и корректировки тепловой модели ИТП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе была разработана методика численного расчета излучающих элементов имитатора тепловых потоков в упрощенной постановке без полного моделирования элементов ламп. Методика позволяет сократить время на проектирование имитаторов тепловых потоков под заданные параметры распределения излучения по поверхности объекта испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.С. Куликов, В.В. Бирюк, В.В. Моисеев, Экспериментальное исследование теплового режима трубчатой галогенной лампы, Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2019. №56.
2. M.F.Modest., Radiative heat transfer. Second Edition. Academic Press. 2003
3. Излучательные свойства твердых материалов: справ. / под ред. А.Е. Шейндлина. –М.: Энергия, 1974. – 471 с.