

УДК 536.33:614.841

М ь о Т а н

О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ РЕФЛЕКТОРА ДЛЯ НАГРЕВАТЕЛЯ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассмотрены вопросы практического использования разработанной ранее методики и алгоритма расчета радиационно-кондуктивного теплообмена в нагревательном модуле с газоразрядными источниками излучения для оценки эффективности используемых в нем рефлекторов.

В тепловых испытаниях летательных аппаратов и теплонагруженных элементов их конструкций широко используют стенды и установки, в которых испытуемые объекты нагревают потоком концентрированного излучения, генерируемого галогенными лампами или трубчатыми газоразрядными источниками излучения (ГИИ). Для концентрации излучения применяют рефлекторы (отражатели) различной формы. При заданной схеме пространственного расположения источников излучения форма отражателя во многом определяет плотность падающего потока и равномерность его распределения по поверхности нагрева.

Поскольку изготовление отражателей, особенно водоохлаждаемых, связано с достаточно сложной технологией и высокой стоимостью, то важное значение приобретают исследования их эффективности на этапе эскизного проектирования.

Модель и алгоритм расчета радиационно-кондуктивного теплообмена в установках с ГИИ приведены в работах [1, 2]. Изложенная методика расчета позволяет определять отдельные составляющие баланса потоков излучения и осуществлять поиск рациональной формы отражателя, а также пространственного расположения источников излучения.

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния формы отражателя и пространственного расположения ГИИ на распределение потока падающего излучения, которые получены на основе указанной методики, а также предложен критерий оценки эффективности рефлекторов различной формы. Эталонным объектом испытания служила стальная пластина.

Число источников излучения в установках с ГИИ обычно равно одному или кратно трем, поэтому в качестве базового нагревателя рассматривается модуль с тремя ГИИ.

Сравнительный анализ зависимости распределения потока излучения, падающего на поверхность стальной пластины, и температуры ее поверхности от формы отражателя на первом этапе исследования выполнен для двух форм отражателя: трапециевидный рефлектор с различным углом раскрытия створок (отражатель 1), индивидуальный для каждого ГИИ (отражатель 2). Спектральный коэффициент диффузного отражения рефлектора из алюминия, подвергнутого механической обработке, выбирался в диапазоне длин волн, характерном для излучения ГИИ, от 0,6 до 1,5 мкм в интервале $R = 0,83 \dots 0,99$ [3]. Плотность потока излучения на внешней цилиндрической поверхности ГИИ равна 104 Вт/см^2 . Теплофизические характеристики пластины приняты следующими: $\rho = 7817 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $C_p = 460 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, а ее толщина $h = 1,5 \text{ мм}$. На фронтальной и тыльной поверхностях, если на последней нет изоляции, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 10 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ и температура среды $T_c = 298 \text{ К}$. Поглощательная и излучательная способности на нагреваемой поверхности пластины $A = \varepsilon = 0,9$ и на тыльной ее стороне $A = \varepsilon = 0,6$.

Отражатель 1. Результаты расчета плотности потока излучения, падающего на пластину в ее середине ($x_3 = 125 \text{ мм}$), по ее ширине (x_2) при расстоянии между пластиной и срезом отражателя $x_1 = 25 \text{ мм}$, а также распределение температуры по нагреваемой поверхности приведены на рис. 1. Плотность потока падающего излучения определяли в начальный момент времени прогрева пластины, когда роль собственного ее излучения мала, и в дальнейшем оставалась неизменной. Из рис. 1 видно, что в центральной части пластины и на ее краях ($x_2 = 150 \text{ мм}$ и $x_2 = 0$ или 300 мм) плотность потока падающего излучения и его среднее значение ($23,5 \text{ Вт/см}^2$) различаются на 57,5 %. На участке x_2 от 75 мм до 225 мм это различие составляет около 30 %.

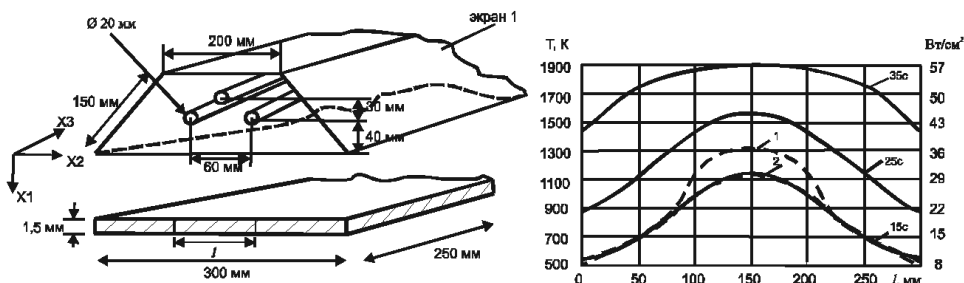


Рис. 1. Распределение потока падающего излучения (---) ($x_1 = 25 \text{ мм}$ — кривая 1 и $x_1 = 50 \text{ мм}$ — кривая 2), а также температуры (—) по ширине поверхности испытываемого образца в моменты времени 15, 25 и 35 с при $x_1 = 25 \text{ мм}$ для $q_{пад}$ — (кривая 1)

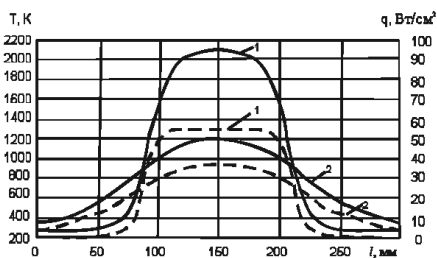
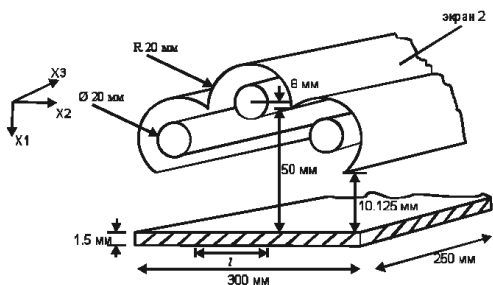


Рис. 2. Распределение плотности потока падающего излучения (---) и температуры (—) в момент $\tau = 15$ с по ширине поверхности (x_2) испытуемого образца в начальный момент нагрева при $x_3 = 125$ мм и значения $x_1 = 50$ мм (от среза среднего экрана) — кривая 1 и $x_1 = 100$ мм — кривая 2

С увеличением расстояния между пластиной и срезом нагревателя до $x_1 = 50$ мм (вместо 25 мм) наблюдается уменьшение плотности потока падающего излучения в центре до 30 Вт/см² и на периферии до 8 Вт/см². На ширине пластины 150 мм неравномерность потока с увеличением x_1 от 25 до 50 мм сокращается с 30 до 20 %.







Отражатель 2. В целях выравнивания распределения плотности потока падающего излучения и температуры по нагреваемой поверхности в ее рабочей зоне l рассмотрен вариант расположения ГИИ и индивидуальных рефлекторов, показанный на рис. 2. Расстояние от среза среднего рефлектора до поверхности пластины составляло 50 мм. Из рис. 2 видно, что различие плотности потока излучения на краях рабочей зоны поверхности (от 100 до 200 мм) и в ее центре от среднего значения составляет около 4 %. Для трапециевидного отражателя аналогичный показатель составляет около 10 %. При этом плотность потока падающего излучения у отражателя 2 более чем в 2 раза превышает плотность потока падающего излучения отражателя 1.

Из приведенных примеров видно, что отражатели различной формы формируют на нагреваемой поверхности потоки излучения, отличающиеся не только плотностью, но и характером распределения в рабочей зоне (см. рис. 1 и 2). В связи с этим для оценки эффективности отдельных отражателей автором предложено использовать критерий

$$\bar{k}_{\text{эф}} = \int_0^l q_{\text{пад}}^p(x) dx / \int_0^l q_{\text{пад}}^{\Sigma}(x) dx,$$

где l — ширина рабочей зоны в направлении x_2 ; $q_{\text{пад}}^p(x) dx$ и $q_{\text{пад}}^{\Sigma}(x) dx$ — плотности потоков падающего излучения от рефлектора и суммарного излучения от рефлектора и ГИИ. В таблице приведены значения указанного критерия и $q_{\text{пад}}^{\Sigma}(\text{max})$ в центре пластины для нагревательных блоков с одинаковым пространственным расположением трех источников и рефлекторами различной формы.

Значения критерия $k_{эф}$ для рефлекторов различной формы

Ширина рабочей зоны l , мм	Тип рефлектора					
						
50	0,138	0,138	0,173	0,219	0,272	0,357
100	0,138	0,152	0,175	0,220	0,28	0,344
150	0,14	0,155	0,184	0,229	0,2804	—
200	0,145	0,167	0,204	0,233	—	—
$q_{пад}^{\Sigma}$ (max), Вт/см ²	36,5	37	38	41	45	50

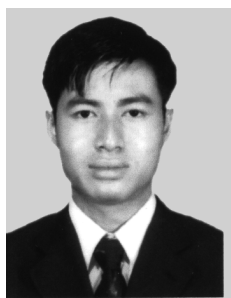
Предлагаемый критерий является универсальным и пригоден для оценки эффективности рефлекторов различной формы в нагревательных блоках с любым числом источников излучения.

Таким образом показано, что на основе предложенного критерия, используемого совместно с методикой и алгоритмом расчета радиационно-кондуктивного теплообмена в системе “нагреватель с ГИИ–объект испытания” [1, 2] можно оценить эффективность рефлекторов различной формы с заданным в них расположением источников излучения. Такую оценку нагревателя можно выполнить на этапе его проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мь о Т а н, М о с а л о в Ф. Ф., Б а с л ы к К. П., Е л и с е е в В. Н. Анализ влияния спектральных характеристик излучения на температурное состояние двухслойной пластины // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. – 2006. – № 3. – С. 24–36.
2. Мь о Т а н, Б а с л ы к К. П., Т о в с т о н о г В. А., Е л и с е е в В. Н. Алгоритм расчета радиационно-кондуктивного теплообмена в установках с газоразрядными источниками излучения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. – 2007. – № 4. – С. 33–46.
3. Н о в и ц к и й Л. А., С т е п а н о в Б. М. Отрицательные свойства материалов при низких температурах: Справочник. – М: Машиностроение. 1980. – 224 с.

Статья поступила в редакцию 20.12.2007



Мь о Т а н родился в 1976 г., окончил МГТУ им Н.Э. Баумана в 2004 г. Аспирант кафедры “Космические аппараты и ракетно-носители” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор двух научных работ в области теплообмена.

Myo Thant (b. 1976) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2004. Post-graduate of “Spacecrafts and Launch Vehicles” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 2 publications in the field of heat exchange.