



РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛООВОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ АКТИВНОГО ТЕПЛООВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В. А. СТОРОЖЕНКО, С. Н. МЕШКОВ, А. А. ГАПТРАКИПОВ

Предложен метод нахождения оптимальных конструкционных параметров, обеспечивающих минимальную неравномерность плотности потока энергии от площадочных нагревателей для проведения активного теплового неразрушающего контроля (АТНК). Разработан реальный площадочный нагреватель на основе стандартных галогенных ламп.

A method is proposed to find optimal structural parameters, providing minimal non-uniformity of the density of energy flow from area heaters to conduct active thermal non-destructive testing (ATNDT). An actual area heater based on halide lamps is developed.

Современные тепловизионные комплексы являются высокоскоростными регистрирующими системами, способными получать и обрабатывать информацию с крупногабаритных объектов контроля (ОК), что значительно повышает его производительность. Для эффективного использования в АТНК тепловизионных комплексов необходимо наличие площадочного нагревателя с достаточно высокой плотностью потока энергии и равномерным его распределением по поверхности ОК. При этом плотность потока энергии должна составлять $10^4 \dots 10^5$ Вт/м², а неравномерность нагрева поверхности не должна превышать 3...5 % по площади не менее 10×10 см². Высокие требования к неравномерности нагрева связаны с тем, что участки с температурой, отличающейся от средней, при проведении АТНК могут восприниматься оператором как дефекты, что значительно снижает достоверность контроля [1].

В настоящее время существуют высокоинтенсивные источники (кварцевые спиральные нагреватели, галогенные лампы, спиральные нагреватели с открытым телом накала), однако построение на их базе площадочных нагревателей с довольно высокой равномерностью нагрева при сравнительно малых расстояниях до поверхности ОК является малоизученной проблемой. Авторам удалось найти считанные публикации [2–4], в которых эта проблема рассматривается, причем далеко не в полном объеме.

Постановка задачи. Для целей АТНК основными параметрами нагревателя являются: плотность потока энергии ψ [Вт/м²], создаваемая источником на заданной площадке, и неравномерность нагрева на заданной площади η [%]. Рассмотрим нагреватель излучательного типа (рис. 1), состоящий из трубчатых излучателей (например, галогенных ламп) и плоского отражателя с закругленными краями. Обозначим мощность излучения Q , длину тела накала L . Задачей проектирования является определение минимального числа нагревателей и их расположения (параметры h, a, d), обеспечивающих требуемые значения величин ψ и η на заданной площади S .

Расчет пространственно-энергетических характеристик поля освещенности, создаваемого полосовыми и площадочными источниками теп-

лового возбуждения (ИТВ). Освещенность, создаваемая одним цилиндрическим излучателем, параллельным плоскости XOY и оси OZ , выражается формулой

$$E = \frac{Qh}{8\pi L(h^2 + y^2)} \left[\arctg \frac{L/2 + x}{\sqrt{h^2 + y^2}} + \frac{1}{2} \sin \left(2 \arctg \frac{L/2 + x}{\sqrt{h^2 + y^2}} \right) + \arctg \frac{L/2 - x}{\sqrt{h^2 + y^2}} + \frac{1}{2} \sin \left(2 \arctg \frac{L/2 - x}{\sqrt{h^2 + y^2}} \right) \right], \quad (1)$$

где h — расстояние от источника излучения до поверхности ОК; x, y — координаты, в которых вычисляется плотность потока энергии; L — длина излучателя; Q — его мощность [5].

Для системы из N излучателей с отражателем поле освещенности объекта может быть рассчитано как суперпозиция полей освещенности, создаваемых каждым излучателем (реальным или мнимым) в отдельности [5]:

$$E = \sum_{i=1}^N E(x, a((N+1)/2 - i), h) + k \sum_{i=1}^N E(x, a((N+1)/2 - i), h + d) + kE(x, -a(N-1)/2, h) + kE(x, a(N-1)/2, h), \quad (2)$$

где k — коэффициент отражения поверхности отражателя.

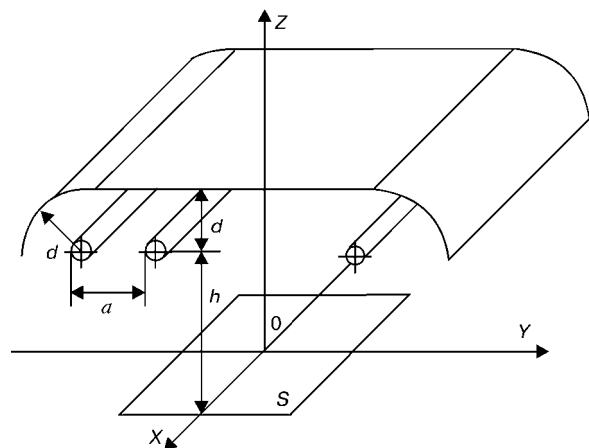


Рис. 1. Структурная схема нагревателя

Таблица 1. Минимальная неравномерность нагрева поверхности объекта источниками излучения в зависимости от их количества

Параметр	N, шт.				
	2	3	4	5	6
η , %	34,8	16,9	8,9	7,6	3,9
a , мм	60	41	33	29	29

Таблица 2. Оптимальные характеристики нагревателей с зеркальным отражателем

Тип лампы (излучателя)	h , мм	a , мм	d , мм	E , кВт/м ²	η , %
КГ-220-360	150	46	15	10	6,9
КГ-220-425	20	23,5	15	45,6	2,5

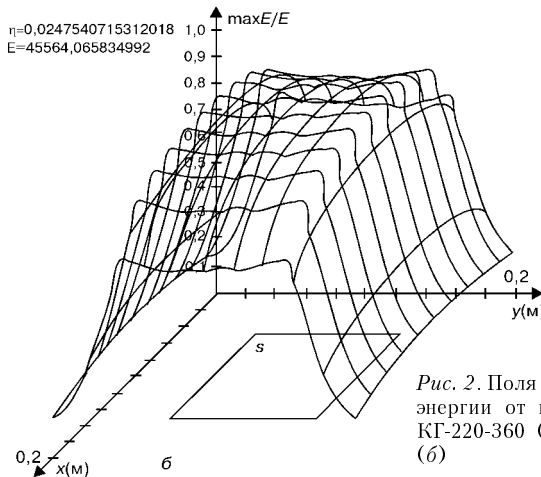
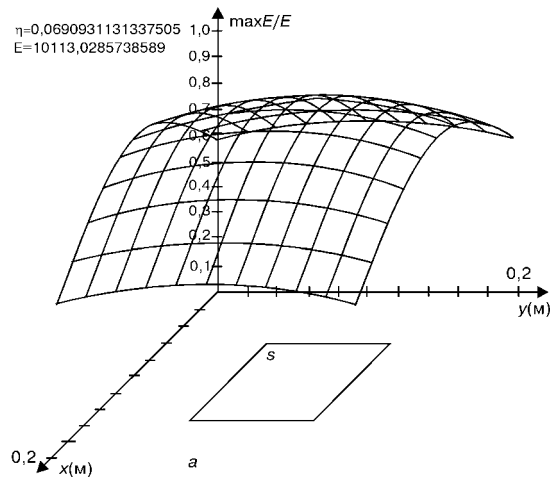


Рис. 2. Поля плотности потока энергии от галогенных ламп КГ-220-360 (а) и КГ-220-425 (б)

Решение задачи. Для решения задачи в качестве излучателей выбраны стандартные галогенные лампы КГ-220-360 и КГ-220-425 со следующими характеристиками: $L_1 = 128$ мм; $Q = 360$ Вт; $L_2 = 226$ мм; $Q_1 = 425$ Вт; диаметр колбы лампы $D = 8$ мм.

Проведен расчет неравномерности нагрева для точечных источников, удаленных от поверхности объекта на расстояние $h = 20$ мм, для расстояний между источниками a , обеспечивающих минимальную неравномерность нагрева на отрезке длиной $l = 100$ мм (табл. 1). Согласно полученным данным при увеличении количества источников можно добиться более низкой неравномерности освещенности поверхности объекта. В результате было выбрано минимально возможное количество источников излучения $N = 6$.

Используя формулу (2) для решения задачи с выбранными типами излучателей, получили оптимальные характеристики нагревателей с зеркальным отражателем (табл. 2). Соответствующие поля плотности потока энергии показаны на рис. 2. В соответствии с данными табл. 2 для излучателей первого типа невозможно получить решение, удовлетворяющее требуемой неравномерности потока энергии. Это связано со значительным влиянием на неравномерность освещения поверхности объекта длины источника излучения, если она сравнима с длиной освещаемой поверхности.

Путем вычислительного эксперимента установлено, что при варьировании расстояния между отражателем и источниками излучения можно добиться уменьшения неравномерности нагрева поверхности на 0,5 % при уменьшении освещенности на 20 %.

По результатам исследования авторами создан реальный комплекс контроля теплоизолирующих материалов из стеклопластиков размерами 10×10 см с

разработанным нагревателем из шести элементов галогенных ламп КГ-220-425 (расстояние между лампами $a = 23,5$ мм между источниками и поверхностью ОК $h = 20$ мм, между источниками и отражателем $d = 15$ мм). В качестве сканирующего устройства может быть применена ИК камера IRTIS-200, обеспечивающая следующие параметры: чувствительность 0,05 °С; время сканирования кадра 1,5 с; поле зрения камеры 25×20°; разрешение кадра 256×256.

Итак, решена задача оптимизации неравномерности освещенности для конструкционных параметров рассматриваемого ИТВ со стандартными элементами излучения (количество источников излучения, их высота над освещаемой поверхностью, расстояние между ними) и рассмотрено влияние изменения расположения отражателя в ИТВ на неравномерность освещенности поверхности.

1. *Стороженко В. А., Вавилов В. П., Волчек А. Д.* Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом. — Киев: Техника, 1988. — 127 с.
2. *Левитин И. Б.* Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве. — Л.: Энергоиздат, 1981. — 264 с.
3. *Рычков В. И., Пальцев М. Б.* Расчет облученности и коэффициентов облученности от цилиндрических источников излучения с произвольным пространственным распределением потока // Тр. МЭИ. Сер. Светотехника. — 1971. — Вып. 92. — С. 57–65.
4. *Епанешников М. М., Сидорова Т. Н.* Расчет распределения светового потока от линейного излучателя // Светотехника. — 1969. — № 4. — С. 48–55.
5. *Мешков С. Н., Гаттракитов А. А.* Площадочный нагреватель для активного теплового неразрушающего контроля (АТНК) // Неруйнівний контроль конструкційних та функціональних матеріалів: 36. наук. праць Фіз.-мех. ін-ту ім. Г. В. Карпенка НАНУ. Сер. Фізичні методи та засоби контролю середовища, матеріалів та виробів. — Львів, 2002. — Вып. 7. — С. 172–174.