DOI: 10.17117/na.2015.06.095

Поступило в редакцию: 19.05.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.06.095.pdf>

Бактыбаева Д.К., Юхнов В.Е.
Прогнозирование стационарного теплового режима
теплоприемника при воздействии тепловым
излучением высокой интенсивности

Baktybaeva D.K., Yukhnov V.E.
Prediction of stationary thermal mode of heat when
exposed to thermal radiation of high intensity

Работа посвящена исследованию факторов влияющих на процесс теплообмена излучением между источником теплового излучения высокой интенсивности и теплоприемником с целью уменьшения средней установившейся температуры последнего, что позволяет в целом оценить эффективность применения защитных средств от теплового излучения

Ключевые слова: температура, термонара, тепловое излучение, источник теплового излучения

The work is devoted to the study of factors affecting the process of heat exchange by radiation between a source of heat radiation and heat receiving high intensity in order to reduce the average temperature of the latter established that allows a whole to assess the effectiveness of protective measures against heat radiation

Key words: temperature, thermocouple, thermal radiation, the source of thermal radiation

Бактыбаева Дана Кайрлановна

Магистр

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

г. Томск, Проспект Ленина, 30 А

Baktybaeva Dana Kairlanovna

Master

Tomsk polytechnic university

Tomsk, Lenin Avenue, 30 A

Юхнов Вячеслав Евгеньевич

Кандидат технических наук, доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

г. Томск, Проспект Ленина, 30 А

Yukhnov Vyacheslav Evgenievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tomsk polytechnic university

Tomsk, Lenin Avenue, 30 A

В представленной работе рассматривается известная радиационная тепловая система «нагреватель – поглотитель». В такой системе исследование переноса энергии в виде теплового излучения основано на эмпирических данных. Независимыми переменными в экспериментальном исследовании являлись время, температура нагревателя, геометрические размеры нагревателя и поглотителя, расстояние между ними, а зависимой переменной являлась температура поглотителя. Свойства нагревателя и поглотителя принимались постоянными, не зависящими от температуры.

Целью работы являлось получение аналитических зависимостей позволяющих определить среднюю установившуюся температуру и поверхностную плотность потока теплоприемника, имеющего ограждения состоящее из двух экранов, в зависимости от температуры и расстояния до источника

Произведены экспериментальные и теоретические исследования, где была предложена конструкция схемы измерения радиационного нагрева тонкой металлической пластины (теплоприёмника) и проведены работы по её наладке для экспериментального исследования процесса теплообмена излучением между источником теплового излучения и теплоприемником, получены данные о влиянии температуры источника, расстояния, на стационарное тепловое состояние теплоприёмника.

Работа посвящена исследованию факторов влияющих на процесс теплообмена излучением между источником теплового излучения высокой интенсивности и теплоприемником с целью уменьшения средней установившейся температуры последнего, что позволяет в целом оценить эффективность применения защитных средств от теплового излучения

Рассматривается процесс теплообмена излучением между источником теплового излучения и теплоприемником, расположенных на одной горизонтальной оптической оси на расстоянии x при известной температуре окружающей среды T_1 . Схема к физической постановке задачи приведена на рисунке 1. Окружающая среда – неподвижный воздух с известной постоянной относительной влажностью. Источником теплового излучения является пламя горелки, температура T_0 которого определяется с помощью термоэлектрического преобразователя (тип хромель-копель). Теплоприемником служит тонкая прямоугольная пластина из алюминиевой фольги размером $a_2 \times b_2$. Поверхность пластины покрыта слоем сажи со степенью черноты 0,9. Температура поверхности пластины T_2 определяется с помощью термоэлектрического преобразователя.

Рис. 1. Обобщенная схема экспериментальной установки

Дополнительно рассматриваются процессы теплообмена излучением с учетом установки металлического экрана и водяной завесы.

В качестве допущения принято, что перенос тепла теплопроводностью, конвекцией между источником и теплоприемником пренебрежимо мал по сравнению с лучистым тепловым потоком. Расстояние x изменяется от $8 \cdot 10^{-2}$ до $20 \cdot 10^{-2}$ м. Расстояние между двумя металлическими пластинами от $0,5 \cdot 10^{-2}$ до $8 \cdot 10^{-2}$ м. Температура источника теплового излучения T_0 изменяется от 993 до 1353 К.

К расчетным характеристикам экспериментальной установки, в таблице 1 приведены характеристики, которые учитываются в основных расчетах данной работы.

Таблица 1. Расчетные характеристики экспериментальной установки

Геометрия поверхности 10-2м	Теплоприемник	Металлическая пластина	Тепловой источник (пламя)	Водяная завеса
	$a=0,4$ $b=0,4$	$a=8$ $b=8$	$r=4$	$a=4$ $b=30$
Площадь поверхности 10-4 м2	$F=16$	$F=64$	$F=21,6$	$F=120$
Толщина 10-2 м	$\kappa=0,02$	$\kappa=0,04$	$\kappa=8$	$\kappa=0,04$

Влияние расстояние от источника теплового источника на температуру элементарного теплоприемника

Рис. 2. Зависимость температуры теплоприемника от расстояния x и при $h_0 = \infty$

- 1) зависимость температуры при 993K; 2) зависимость температуры при 1113K
3) зависимость температуры при 1233K; 4) зависимость температуры при 1353K

Влияние положение стальных экранов на температуру элементарного теплоприемника

Рис. 3. Обобщенный график зависимости температуры тела от расстояния x и $h_0 = 0$

- 1) зависимость температуры при 993K;
- 2) зависимость температуры при 1113K;
- 3) зависимость температуры при 1233K;
- 4) зависимость температуры при 1353K

Рис. 4. Обобщенный график зависимости температуры теплоприемника при температуре источника 993K от расстояния x и при:

- 1) $h_0 = 0,005$ м 2) – $h_0 = 0,02$ м
- 3) – $h_0 = 0,04$ м 4) $h_0 = 0,08$ м

Рис. 5. Обобщенный график зависимости температуры теплоприемника при температуре источника 1113K от расстояния x и при:
1) $h_0=0,005$ м 2) – $h_0=0,02$ м 3) – $h_0=0,04$ 4) $h_0=0,08$ м

Рис. 6. Обобщенный график зависимости температуры теплоприемника при температуре источника 1233K от расстояния x и при:
1) $h_0 = 0,005$ м 2) – $h_0 = 0,02$ м 3) – $h_0 = 0,04$ 4) $h_0 = 0,08$ м

Рис. 7. Обобщенный график зависимости температуры теплоприемника при температуре источника 1353K от расстояния x и при:
1) $h_0 = 0,005$ м 2) – $h_0 = 0,02$ м 3) – $h_0 = 0,04$ 4) $h_0 = 0,08$ м

При закрытых экранах температура вычисляется следующим образом:

$$T_0 = 993\text{K}, T_2 = 0,0206x^2 - 0,992x + 41,373 + 273;$$

$$T_0 = 1113\text{K} T_2 = 0,0083 x^2 - 0,8045x + 42,413 + 273, \text{K};$$

$$T_0 = 1233\text{K} T_2 = 0,0396 x^2 - 1,9337x + 53,417 + 273, \text{K};$$

$$T_0 = 1353\text{K} T_2 = 0,011 x^2 - 1,2747x + 51,615 + 273, \text{K};$$

Температура теплоприемника вычисляется следующим образом при температуре источника $T_0 = 993 \text{ K}$:

$$h_0 = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 73,905x - 0,312 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 94,752 - 0,391 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 85,466x - 0,354 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 85,885x - 0,357 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

где T_2 , температура теплоприемника,

h , расстояние между экранами,

x , расстояние от источника до теплоприемника (от $8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ до $20 \cdot 10^{-2} \text{ м}$).

Температура теплоприемника вычисляется следующим образом при температуре источника $T_0 = 1113 \text{ K}$:

$$h_0 = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 132,59x - 0,455 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 150,4x - 0,492 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 131,52x - 0,448 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 137,3x - 0,48 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

Температура теплоприемника вычисляется следующим образом при температуре источника $T_0 = 1233 \text{ K}$:

$$h_0 = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 274,61x - 0,648 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 310,54x - 0,681 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 352,92x - 0,73 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 317,88x - 0,691 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

Температура теплоприемника вычисляется следующим образом при температуре источника $t = 1353 \text{ K}$

$$h_0 = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 332,74x - 0,672 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 406,55x - 0,743 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 359,36x - 0,699 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

$$h_0 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м: } T_2 = 365,26x - 0,705 \cdot 10^{-2} + 273, \text{K};$$

Рассмотрено так же два случая расположения приемника относительно источника: за водяной завесой относительно с экраном (сплошным) и за водяной завесой с экраном со щелью.

Таблица 2. Показания коэффициентов при экранировании

Тело	Коэффициент поглощения	Коэффициент отражения	Коэффициент проницаемости	Σ
Источник излучение	1	0	0	1
Водяная завеса	<1	0	<1	1
приемник	1	0	0	1
Металлические закрытые экраны	0	<1	<1	1

В зависимости с показаниями таблицы 2, видно что причина

Таблица 3. Средние результаты измерение температуры теплоприемника при температуры источника в зависимости от x, h при различных экспериментах

x, м	Температура источника $T_1=993$ К			
	$h_0=0,005$ м	$h_0=0$	$h_0=\infty$	с водяной завесой
	T_2, K	T_2, K	T_2, K	T_2, K
0,08	310	308,7	311,3	-
0,09	308	308	310	-
0,10	307	307	310	-
0,11	306	306	308	-
0,12	306	305,7	307	298
0,13	305	304,7	306	297
0,14	305	303,7	305,3	296
0,15	305	302,7	304,7	296
0,16	305	302	304	295,7
0,17	304,3	301,7	303	295,3
0,18	304,3	301	303	295,3
0,19	303,3	301	303	295
0,20	302,6	300,6	302	295

Рис. 8. Зависимость температуры теплоприемника от расстояния x при $h_0 = 0,005$ м

Рис. 9. Зависимость температуры теплоприемника от расстояния x при $h_0 = 0$ м (с закрытыми экранами)

Рис. 10. Зависимость температуры теплоприемника от расстояния x при $h_0 = \infty$ (с открытыми экранами)

Рис. 11. Зависимость температуры теплоприемника от расстояния x при водяной завесе

Для выяснения влияния ширины зазора между экранами на температуру облучаемого образца проведено четыре опыта при изменении h от $0,5 \cdot 10^{-2}$ до $8 \cdot 10^{-2}$ м. На основе опытных данные получены четыре приближенные зависимости, графики которых приведены в приложении А, имеющие вид степенной функции. Проведенный анализ зависимости температуры теплоприемника T_2 от расстояния между экранами h во всем диапазоне x положений теплоприемника от источника излучения показал, что увеличение ширины зазора между экранами h от $2 \cdot 10^{-2}$ до $8 \cdot 10^{-2}$ м приводит к возрастанию температуры образца не более чем на 6 % по сравнению с температурой образца T_2 при ширине зазора между экранами $h=0,5 \cdot 10^{-2}$ м. Следовательно, температура теплоприемника слабо зависит от расстояния между экранами более $0,5 \cdot 10^{-2}$ м и такое влияние сопоставимо с погрешностью измерения температуры.

На рисунках 6-9 приведены обобщенные результаты исследования, расстояние между двумя экранами составляет: $h_0=0,5 \cdot 10^{-2}$ м, $2 \cdot 10^{-2}$ м, $4 \cdot 10^{-2}$ м и при $8 \cdot 10^{-2}$ м.

Список литературы:

1. Стыров В.В. Тепловое излучение. ТПИ им. С.М. Кирова. Томск: Темплан. 1980. 95 с.
2. Марголин И.А., Румянцев Н.П. Основы инфракрасной техники. М.: Воениздат, 1955. 264 с.
3. Феоктистова Т.Г., Монахова С.В. Защита от теплового излучения.
URL: <http://www.pdfactory.com>
4. Вавилов С.И. Глаз и солнце. М.: Наука, 1981. 128 с.
5. Исследование теплообмена и свойств переноса излучения. Новосибирск, 1979. 167 с.
6. Виноградов А.Г. Поглощение тепловыми излучениями водяными завесами // Пожаробезопасность. М.:Пожнаука, 1998. С. 72-84.
7. Барышников Н.В., Пискунов Т.С. Исследование влияния излучения рабочего лазера на работу систем автоюстировки высокоточных лазерных приборов.
URL: <http://www.technomag.edu.ru/doc/241632.html>
8. Низовцев М.И., Терехов В.И., Хайритдинов И.К. Межрамные экраны и жалюзи с теплоотражающими покрытиями // Светопрозрачные физические величины: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 232 с.
9. Кравченко К.С., Ревинская О.Г. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме. Томск: Томский политехнический университет, 2011. 88 с.
10. Кокунин В.А. Статистическая обработка данных при малом числе опытов // Украинский биохимический журнал. 1975. Т. 47. № 6. 776-790 с.
11. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.:Энергоиздат, 1981. 416 с.
12. Baktybaeva D.K., Yukhnov V.E., Yukhnov V.E. Temperature of a solid under the influence of heat radiation of high intensity // Электроэнергетика глазами молодежи. Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). Т. 2. С. 437-440.

References:

1. Styrov V.V. Thermal radiation. Tutorial. Tomsk: Templan. 1980. 95 p.
2. Margolin I.A., Rumyantsev N.P. Fundamentals of infrared technology. M.: Voenizdat, 1955. 264 p.
3. Feoktistova T.G., Monahova S.V. Protection from thermal radiation.
URL: <http://www.pdfactory.com>
4. Vavilov S.I. Eye and sun. M.: Science, 1981. 128 p.
5. The study of heat transfer and properties of radiation transfer: proceedings of the. Novosibirsk, 1979. 167 p.
6. Vinogradov A.G. The absorption of thermal radiation by water curtains // Fire safety. M.: Pozhnauka, 1998. Pp. 72-84.
7. Baryshnikov N.V., Piskunov T.S. Study of the influence of radiation of the working laser systems for automatic adjustment of high-precision laser devices.
URL: <http://www.technomag.edu.ru/doc/241632.html>
8. Grigoreva I.S., Meilihova E.Z. Physical quantities. M.: Energoatomizdat, 1991. 232 p.
9. Kravchenko K.S., Revinskaya O.G. Methods of processing of results of measurements and evaluation of errors in laboratory training workshop. Tomsk: Tomsk politechnik university, 2011. 88 p.
10. Kokunin V.A. Statistical processing of data with a small number of experiments // Ukrainian biochemical journal. 1975. Vol. 47. № 6. 776-790 p.
11. V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel Heat transfer. M.: Energoatomizdat, 1981. 416 p.
12. Baktybaeva D.K., Yukhnov V.E. Temperature of a solid under the influence of heat radiation of high intensity // Electrical engineering youth. National research Tomsk Polytechnic University (TPU). T. 2. Pp. 437-440.