

В. П. ДУЩЕНКО, канд. физ.-мат. наук,

А. Ф. БУЛЯНДРА, канд. техн. наук,

И. М. КУЧЕРУК инж., Р. С. ПЕТРОВА, канд. пед. наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СОЗДАНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛЕЙ ОБЛУЧЕННОСТИ СИСТЕМ «СВЕТЛЫХ» ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Расчет и конструирование терморadiационных установок пищевой промышленности с применением «светлых» инфракрасных (ИК) излучателей, а также обеспечение высоких качественных показателей обрабатываемых продуктов требуют знания полей облученности, создаваемых отдельно взятыми и системами ИК излучателей. Знание полей облученности отдельно взятых излучателей дает возможность подобрать такие расстояния между излучателями и между излучателями и обрабатываемым материалом, что поля облученности, создаваемые системами ИК излучателей, будут равномерными.

При терморadiационной обработке пищевых продуктов выбор типа ИК излучателя можно считать обоснованным, если длина волны  $\lambda_{\text{max}}$ , на которую приходится максимальное значение спектральной интенсивности величины излучения, лежит в области спектра, где спектральный коэффициент отражения  $\rho$ , обрабатываемых материалов имеет минимальное значение. Значительный технологический эффект может быть достигнут при значительной глубине проникновения ИК излучений.

Сопоставив спектральные характеристики ИК излучателей с оптическими свойствами обрабатываемых продуктов, необходимо произвести энергетический расчет ИК установок. Для этого необходимо знание полей облученности, создаваемых ИК излучателями.

В работе рассматриваются результаты экспериментального исследования некоторых спектральных характеристик и полей облученности «светлых» ИК излу-

чателей. Характеристики «светлых» ИК излучателей, выпускаемых в СССР, приведены в таблице.

Тип источника	Номинальное напряжение, в	Потребляемая мощность, Вт	Диаметр колбы, мм	Наибольшая высота в развернутом виде, мм	Яркость температуры электроизлучения, °C	Длина волны макс., мкм
ЗС-1	127	500	180	267	2240	1,340
ЗС-2	127	250	180	267	2140	1,380
ЗС-3	220	500	180	267	2400	1,316

Величины яркостной температуры  $\lambda_{\max}$  авторами получены при помощи образцового пирометра ОП-4 и инфракрасного спектрометра ИКС-12. Результаты эксперимента представлены на рис.

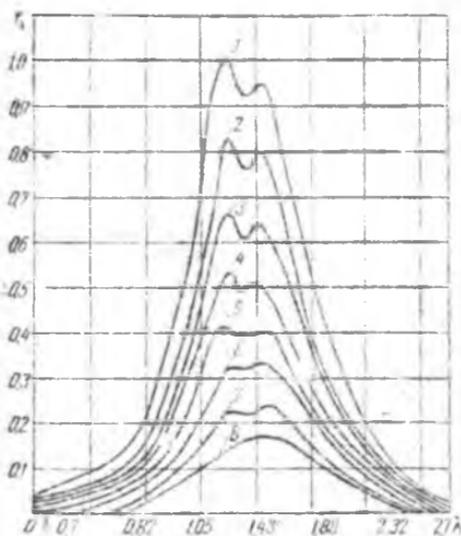


Рис. 1. Спектральная интегральная величина излучения  $r_{\lambda}$  лампы ЗС-3 в относительных единицах при напряжениях питания:

1 — 220; 2 — 200; 3 — 180; 4 — 160; 5 — 140; 6 — 120; 7 — 100; 8 — 80 в.

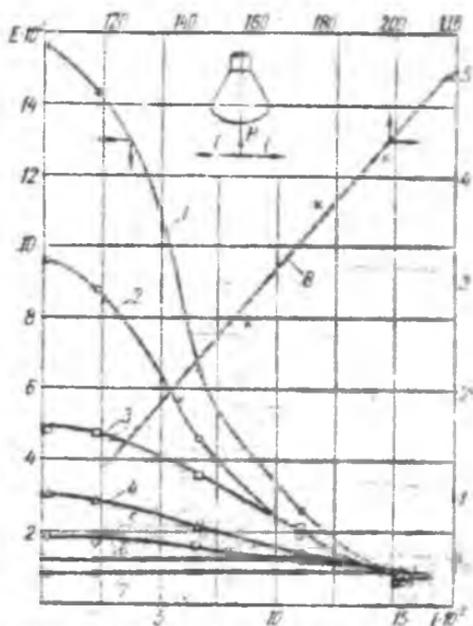


Рис. 2. Поля облученности  $E$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) излучателя ЗС-3 при различных высотах:

1 — 0,1; 2 — 0,2; 3 — 0,3; 4 — 0,4; 5 — 0,5; 6 — 0,6; 7 — 0,7; 8 — 0,8 м;  $i = 0$ .

Из рисунка видно, что для ЗС-3 при номинальном напряжении питания  $\lambda_{\max} = 1,316$  мкм. С уменьшением последнего до 80 в  $\lambda_{\max}$  смещается до 1,562 мкм.

Исследование полей облученности, создаваемых ИК излучателями, может быть произведено при помощи приборов с чувствительными термоэлектрическими

приемниками лучистой энергии (радиометр системы Бойко [3], балансомер и пиранометр Янишевского [4], тепловые приемники разработанные в ИТТФ АН УССР [1] и др.).

Авторами был использован балансомер М-10, конструкция которого несколько видоизменена. Во избежание перегрева «холодных» спаев термобатарей балансомера последние термостатировались г. точной водой от ультратермостата при температуре 20° С.

Определение переводного множителя балансомера проводилось путем сравнения его показаний с показаниями эталонного актинометра, который в свою очередь градуировался по показаниям образцового прибора — компенсационного пиргелиометра.

Величины облученности для лампы ЗС-2, полученные при помощи балансомера и прибора ИТТФ УССР, совпадают между собой и данными, полученными П. Д. Лебедевым [2] при помощи радиометра системы Бойко.

На рис. 2 приведены поля облученности, создаваемые лампой ЗС-3 при разных расстояниях  $H$  от ИК излучателя. Ввиду того что нить накала расположена несимметрично относительно продольной оси симметрии и находится не точно в фокусе параболического отражателя лампы, облученности в разных направлениях при одинаковых расстояниях от оси симметрии отличаются между собой до 25%. Поэтому величины облученностей замерялись в двух взаимноперпендикулярных направлениях и усреднялись. Поля облученности ламп ЗС-3 при небольших  $H$  имеют явно выраженный максимум в центре под лампой и только начиная с  $H=0,5$  м их можно считать равномерными. Но величины облученности в центре при этом сильно уменьшается. Зависимость величины облученности от напряжения питания имеет линейный характер.

По полям облученности можно рассчитать терморрадиационный к. п. д. излучателя  $\eta$ . Для этого необходимо определять численное значение объема тела вращения кривой  $E = f(l)$  при  $H = \text{const}$  и разделить на потребляемую мощность. Наиболее точно к. п. д. излучателя получится при минимальных значениях величин  $H$ , так как при этом лучистый поток более полно охватывается кривой поля облученности. Определение к. п. д. получено при  $H = 0,1$  м.

В этом случае кривая поля облученности с достаточной для практики степенью точности может быть аппроксимирована двумя эмпирическими формулами

$$E = -2,3368l^2 + 15\,540 \text{ вт/м}^2; \quad (1)$$

$$0 < l < 0,040 \text{ м.}$$

$$E = \frac{l - 112,5}{0,008 - 0,0003l} + 2534 \text{ вт/м}^2; \quad (2)$$

$$0,040 < l < 0,247 \text{ м.}$$

Тогда

$$\eta = \frac{v_1 + v_2}{V_{\text{потр}}} \cdot 100 = 78,5\%,$$

где  $v_1$  и  $v_2$  — соответственно объемы тел вращения, описываемые двумя участками кривой поля облученности.

В промышленных терморрадиационных установках ИК излучатели чаще всего размещают по вершинам квадрата или равностороннего треугольника. Поэтому авторы исследовали поля облученности, создаваемые четырьмя излучателями в ограждении из полированного дюралюминия (ограждение в сечении —  $0,7 \times 0,7$  м) и без ограждения при  $H = 0,2 - 0,8$  м и при различных расстояниях между излучателями  $L$ , расположенные в вершинах квадрата. Как видно из рис. 3, облученность

ти в точке, лежащей на вертикальной оси симметрии системы четырех излучателей ( $l = 0$ ), при наличии ограждения увеличиваются на 5—10%, а при  $l = 0,35 \text{ м}$  — на 50—60% по сравнению с облученностями при отсутствии ограждения. Это говорит о том, что при наличии ограждения улучшается равномерность полей облученности. Следовательно, наиболее эффективными являются ерморрадиационные установки с крытого или полузакрытого типа с внутренними ограждениями из материалов с большим коэффициентом отражения.

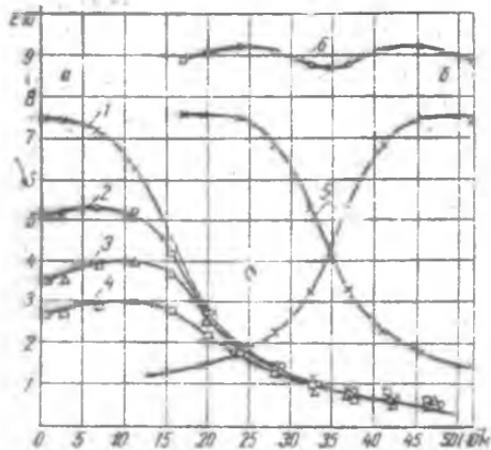


Рис. 3. Поля облученности  $E$  ( $\text{вт}/\text{м}^2$ ) системы «светлых» ИК излучателей, размещенных в вершинах квадрата при  $H=0,3 \text{ м}$  и различных расстояниях между ними:  $a$  — без ограждения; 1 —  $L = 0,18$ ; 2 —  $L = 0,22$ ; 3 —  $L = 0,26$ ; 4 —  $L = 0,30 \text{ м}$ ; 5 — в ограждении; 6 —  $L = 0,18 \text{ м}$ ; 6 — результирующее при  $L = 0,18 \text{ м}$ .

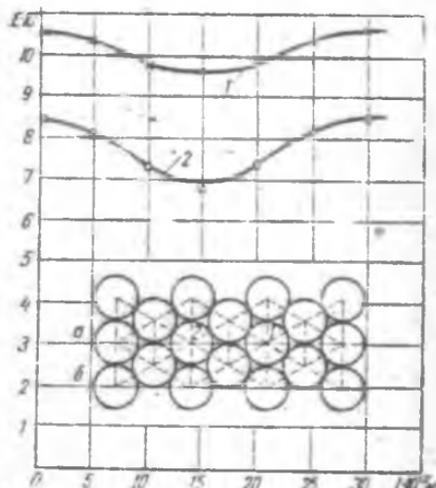


Рис. 4. Поля облученности  $E$  ( $\text{вт}/\text{м}^2$ ) системы «светлых» ИК излучателей, размещенных по вершинам равностороннего треугольника, при  $H = 0,3 \text{ м}$ ;  $L = 0,18 \text{ м}$ :

1 — в сечении  $a$ ; 2 — в сечении  $б$ .

С увеличением  $H$  равномерность облучения улучшается, но величина интенсивности при этом уменьшается. Так, при изменении  $H$  от 0,3 до 0,6 м  $E$  при  $l = 0$  уменьшается примерно в 3 раза.

Обработка опытных данных дает возможность установить правило размещения ИК излучателей типа ЗС: наилучшая равномерность облученности создается при условии

$$H = 1,75L. \quad (3)$$

Формула (3) справедлива для  $H > 0,3 \text{ м}$ . При выполнении этого правила максимальное отклонение облученности от среднего значения для различных  $H$  и  $L$  составляет 5—8%.

Зная эпюры облученности для отдельно взятых ИК излучателей, можно графоаналитическим методом построить поля облученности для системы, состоящей из любого числа излучателей. Такие расчеты нами проведены для ламп ЗС-3 при  $H = 0,3 \text{ м}$  и  $L = 0,18 \text{ м}$  при размещении их по вершинам равностороннего треугольника вдоль сечения  $a$  и  $б$  (рис. 4) для системы, состоящей из 18 ламп. Для сечения  $б$  облученности на 25—40% ниже, чем для сечения  $a$ . Применение ограждения позволяет значительно уменьшить эту неравномерность. При расположении ИК

излучателей по вершинам равностороннего треугольника облученность увеличивается примерно на 35% по сравнению с расположением по вершинам квадрата при прочих равных условиях.

## Литература

1. Г е р а щ е н к о О. А., Ф е д о р о в В. Г. Техника теплотехнического эксперимента. Киев, «Наукова думка», 1964.
2. Л е б е д е в П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок. М.—Л., Госэнергоиздат, 1953.
3. Л е б е д е в П. Д. Сушка инфракрасными лучами. М.—Л., Госэнергоиздат, 1955.
5. Я н и ш е в с к и й Ю. Д. Активометрические приборы и методы наблюдения. Алма-Ата, Гидрометеониздат, 1957.

*Поступила 5 января 1968 г.*