

# ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В БЕЗВАКУУМНЫХ ПОНДЕРОМОТОРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЯХ ИЗЛУЧЕНИЯ ОКГ

*Г. П. Стародубцев, Ю. М. Надежкин,*

С а р а т о в

*Р. А. Валитов*

М о с к в а

При конструировании пондеромоторных измерителей излучения ОКГ всегда приходится устранять влияние тепловых эффектов, обусловленных термодиффузией и конвективным движением воздуха. Для этого обычно предусматривается вакуумирование приемного элемента. Вакуумные пондеромоторные измерители чрезвычайно чувствительны к вибрациям и плохо демпфируются. Кроме того, необходимо поддержания глубокого вакуума ограничивает спектральный диапазон измерителя и создает дополнительные технологические и эксплуатационные трудности. В связи с этим интересна разработка измерителя, способного действовать при атмосферном давлении [1].

При атмосферном давлении основную погрешность прибора, обусловленную тепловыми эффектами, составляет конвективное движение воздуха. В этом случае в отличие от радиометрического эффекта тепловые эффекты, вызванные конвекцией, достигают значительной величины и без специальных мер не позволяют измерить давление излучения. Рекомендации, направленные на уменьшение тепловых эффектов при атмосферном давлении, приведены в работах [1, 2]. Согласно этим рекомендациям, приемный элемент, изготовленный из плоской, прозрачной для излучения пластины, размещается по возможности более вертикально в металлической камере, тесно охватывающей его края. Использование этих рекомендаций позволило [1, 2] впервые сконструировать безвакуумный пондеромоторный измеритель энергетических характеристик нешироких пучков видимого излучения ОКГ.

Для расширения спектрального и динамического диапазона и для увеличения апертуры пондеромоторного измерителя изучались тепловые эффекты, вызванные конвекцией, как функция

количества поглощаемой в приемном элементе мощности в зависимости от объемной камеры и параметров, определяющих нарушение симметрии движения воздуха по обе стороны приемного элемента.

Возникающие на приемном элементе силы являются интегральной характеристикой движения воздуха в камере. Учитывая это обстоятельство и используя свойства симметрии формальных решений уравнений гравитационной конвекции, можно показать, что основной вклад в погрешность измерения механического действия излучения вносит момент сил [3]

$$M = \rho g \beta V_k \theta_0 R (K_1 \alpha + K_2 b_1 l / D + K_3 b_1 t / D), \quad (1)$$

где  $\rho$ ,  $\beta$  — плотность и коэффициент термического расширения воздуха;

$g$  — ускорение свободного падения;

$V_k$  — объем камеры;

$\theta_0$  — температура приемного крыла;

$R$  — расстояние между центром крыла и нитью, несущей маятник;

$K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  — коэффициенты, зависящие от размеров приемного элемента и камеры;

$\alpha$  — угол между приемным элементом и вертикалью;

$D$  — расстояние между входными окнами;

$l$  — смещение приемного элемента из центрального положения по направлению к входным окнам;

$t$  — толщина приемного элемента;

$b_1$  — параметр, характеризующий степень нарушения симметрии температуры воздуха относительно горизонтальной плоскости  $\sigma$ , проходящей через центр приемного элемента.

Нарушение симметрии температуры воздуха относительно горизонтальной плоскости  $\sigma$  возникает при неточном попадании луча в центр крыла и за счет переноса тепла конвекцией в верхнюю часть объема камеры. При невысоких уровнях поглощаемой мощности  $P$ , когда переносом тепла конвекцией можно пренебречь (если неточность попадания  $\Delta$  луча в центр камеры достаточно мала), параметр  $b_1 \ll 1$ . В этом случае основную погрешность прибора обуславливает первый член выражения (1), зависящий от угла  $\alpha$  между приемным элементом и вертикалью. При этом существенный вклад в погрешность прибора может внести второй член выражения (1), если  $\alpha \approx b_1 l / D$ . При измерении мощности высокого уровня, когда перенос тепла конвекцией существенно нарушает симметрию распределения температуры в камере, основная погрешность измерения вызывается первым и вторым членом выражения (1). Третий член выражения (1) изменяет знак в зависимости от того, на какую сторону приемного элемента поступает излучение. Этот эффект влияет на погрешность прибора лишь при измерении интенсивного излучения, когда  $b_1 \approx 1$  и  $t > l$ .

В работе [3] найдено, что при невысоких значениях  $P$  коэффициент  $K_1$  равен  $4 \cdot 10^{-2}$ , если высота  $H$  приемного элемента много больше  $D/2$  и принимает значения порядка  $10^{-1}$ , если  $H \approx D/2$ . Коэффициент  $K_2$  не превышает нескольких сотых, если корпус камеры выполнен из хорошо рассеивающего тепло металла.

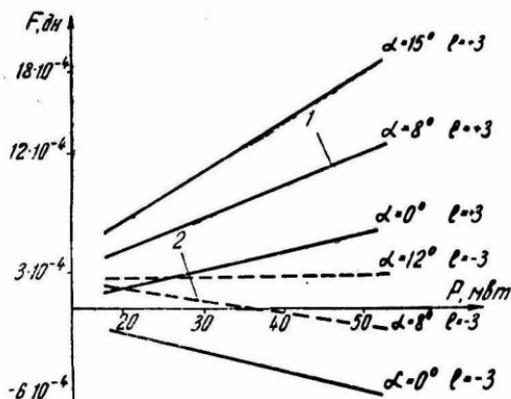


Рис. 1. Зависимость тепловых эффектов от поглощаемой мощности.

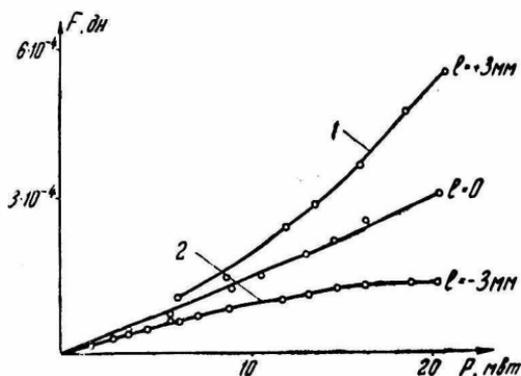


Рис. 2. Зависимость тепловых эффектов от поглощаемой мощности при  $\alpha = 8^\circ$ .

при  $l = -3 \text{ мм}$ . Сплошные линии соответствуют значению  $l = +3 \text{ мм}$  (за положительное направление  $l$  принимались смещения, соответствующие повороту крутильного маятника против часовой стрелки).

На рис. 2 даны результаты измерения силы  $F$  ( $\alpha = 8^\circ$ ) при невысоких уровнях поглощаемой мощности (за положительное направление  $\alpha$  принимался поворот приемного элемента, когда его верхний край смещался в сторону положительных  $l$ ). Линии 1, 2 на рис. 1 являются продолжением соответствующих линий на рис. 2 в область более высоких значений  $P$ . Из рисунков видно,

корпус камеры выполнен из хорошо рассеивающего тепло металла.

Тепловые эффекты, обусловленные нарушением симметрии температуры воздуха, возникающим из-за переноса тепла конвекцией в верхнюю часть объема камеры, изучались экспериментально в работе [4]. Были проведены измерения момента сил  $M$  при различных значениях угла  $\alpha$  и смещениях  $l$  в диапазоне поглощаемой мощности  $0 - 50 \text{ мвт}$ . Измерения проводились для цилиндрической медной камеры, содержащей приемный элемент, расположенный вдоль ее оси. Диаметр камеры —  $27 \text{ мм}$ . Размеры приемного элемента  $9 \times 9 \times 0,1 \text{ мм}$ . Установлено, что возникающая на приемном элементе сила  $F$ , закручивающая нить прибора, линейно зависит от угла  $\alpha$  и смещения  $l$ . Результаты измерения приведены на рис. 1, где точки, лежащие на пунктирных линиях, измерялись

что зависимость тепловых эффектов от мощности  $P$  приобретает существенно нелинейный характер при  $P \approx 20$  мвт, что дает представление о пределах применимости линеаризованных уравнений, которые использовались в работе [4] для вычисления коэффициента  $\kappa_1$ . Измерение момента  $M$  при различных значениях радиуса цилиндрической камеры показало, что представленные на рисунках значения усилия  $F$ , зависящего от  $\alpha$ , уменьшается с уменьшением радиуса. Усилие  $F$ , зависящее от  $l$ , возрастает при уменьшении объема камеры.

Приведенные на рисунках данные позволяют определить величину погрешности измерения давления излучения в заданном интервале значений  $\alpha$  и  $l$ , а также в динамическом и спектральном диапазонах прибора, если известен коэффициент поглощения приемного элемента.

Полученные результаты использовались для уменьшения и определения погрешности пондеромоторного измерителя мощности непрерывного ИК излучения и измерителя энергии широких пучков излучения ОКГ. В пондеромоторном измерителе ИК-излучения использовался приемный элемент, выполненный из пластины КРС-5. Измерению разработанным измерителем мощности ИК-излучения сопутствовали тепловые эффекты, величина которых иногда оказывалась соизмеримой с давлением излучения. В подобных случаях проводили симметризацию измерителя изменением угла  $\alpha$  и смещением  $l$  до значений, при которых тепловые эффекты достигали минимальной величины. Для оценки погрешности измерителя, вносимой тепловыми эффектами, строились графики, аналогичные приведенным на рисунках.

Установлено, что вносимая тепловыми эффектами погрешность измерителя в динамическом диапазоне не превышает нескольких процентов при  $\alpha < 1^\circ$  и  $l < 0,5$  мм.

Для уменьшения эффектов в измерителе широких пучков видимого излучения применена перестраиваемая камера с подвижными входными окнами, что позволяет выбрать оптимальную в динамическом диапазоне величину ее объема и облегчает симметрирование измерителя. По предварительным оценкам погрешность измерителя, вносимая тепловыми эффектами, не превышает двух процентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Г. Кокодий, Р. А. Валитов. «Измерительная техника», 1969, № 12.
2. Н. Г. Кокодий, Р. А. Валитов. ПТЭ, 1969, № 4.
3. Г. П. Стародубцев. «Электронная техника», серия 11, вып. 1, 1971.
4. А. А. Антоненко и др. «Электронная техника», сер. 11, вып. 2, 1971.

БИБЛИОТЕКА

Х И Р Э

Инв. № 592716