

## Метод измерения теплового излучения.

Осовский И.А.

Морской ГидроФизический институт  
НАН Украины.  
г. Севастополь, ул. Капитанская 2.

Предлагается простое и на взгляд автора - эффективное решение проблемы калибровки радиометров фактически совместившее калибровку с измерением.

Метод состоит из непосредственного измерения и измерения смеси «эталонного» излучения и неизвестного измеряемого. Осуществляется соответствующей ориентацией радиометра и зеркально - отражающего эталона, причем значительно снижаются требования к величине излучательной способности эталона.

### Анализ проблемы.

Процесс измерения радиометром теплового излучения можно упрощенно представить как получение выходного сигнала, возникающего в следствии преобразования интенсивности излучения сфокусированного по углу (для простоты в изложении опускаем очевидные усреднения и фильтрации по длине волны). Рассмотрим фокусировку сферически симметричной фокусирующей системой сферически однородного излучения (т.е. зависящего только от угла  $\alpha$ , образованного направлением распространения излучения и оптической осью системы). В предположении линейности тракта преобразования интенсивность - сигнал:

$$U = k \int i(\alpha) \eta(\alpha) d\Omega + kI_0 + U_0,$$

где:

$U$  - выходной сигнал радиометра при регистрации измеряемого излучения,

$k$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от характеристик конкретного прибора, физический смысл которого нетрудно восстановить,

$i(\alpha)$  - интенсивность излучения,

$\eta(\alpha)$  - функция распределения, отражающая вероятность прохождения излучения через фокусирующую систему,

$d\Omega = d\Omega ds$ , - интегрирование по телесному углу и площади,

$U_0$  - смещение, возникающее в тракте преобразования интенсивность - сигнал,

$I_0 = \int i_0(\alpha) d\Omega$  - смещение, возникающее до тракта преобразования, например в элементах фокусирующей системы[1].

Обычно пытаются уменьшить смещения за счет применения удачных (вероятней всего - усложнённых) конструкций[2] и хорошего технического исполнения радиометров, однако от их принципиального присутствия избавиться не возможно, причем границы допустимого пренебрежения зависят от требуемой точности измерений, что при необходимости ее повышения приводит к проблематичности пригодности ранее используемых конструкций.

В связи с этим возникает проблема калибровки, т.е. определения для каждой конструкции смещений, причем с частотой большей частоты их изменения[1]. Обычно, калибровку осуществляют сравнением с эталонным источником теплового излучения (и/или, так называемой, модуляцией излучения):

$$U_{\Sigma T} = k \int (\epsilon_{\Sigma T}(\alpha) i_{\Sigma T}(\alpha) + \int \rho(\alpha, \alpha') i_{\Phi}(\alpha') d\alpha') \eta d\Omega + U',$$

где:

$U_{\Sigma T}$  - выходной сигнал,  $U' = kI_0 + U_0$ ,

$\epsilon_{\Sigma T}(\alpha) = \int \rho(\alpha, \alpha') d\alpha'$  - излучательная способность,

$\rho(\alpha, \alpha')$  - индикатриса рассеяния,

$i_{\Sigma T}(\alpha)$  - интенсивность излучения абсолютно черного тела, имеющего температуру эталона.

Вследствие нечерноты (т.е. не равенства нулю индикатрисы рассеяния) эталона в «эталонном» сигнале кроме «эталонной» интенсивности (первое слагаемое) присутствует и некая неизвестная «фоновая» (второе слагаемое) - попадающая на эталон и отражающаяся в поле зрения радиометра.

Как видно из  $U_{\Sigma T}$  для уменьшения погрешности, вносимой вторым слагаемым, не достаточно увеличения излучательной способности эталона, например созданием шероховатости поверхности, которое вероятней всего приводит лишь к уменьшению коэффициента зеркального отражения и повышению неравномерности распределения температуры поверхности, и, кроме того, точность калибровки становится зависимой от величин углового распределения индикатрисы рассеяния эталона и интенсивности «фоновой» излучения (которое в зависимости от типа измерений может даже значительно превышать излучение эталона и изменяться во время и при изменении условий измерений).

Теперь, анализируя угловое распределение «фоновой» излучения вообще, осталось лишь заметить, что в частности в него входит и измеряемое излучение.

#### Синтез метода.

Поскольку, полная минимизация индикатрисы рассеяния не возможна, а общая не достаточна - ищем способ

обнулить часть «фоновой» излучения не содержащую неизвестного измеряемого.

Это реализуется выбором индикатрисы рассеяния эталона в виде дельта - функции  $\rho(\alpha, \alpha') = \rho_0 \delta(\alpha - \alpha')$  (что соответствует случаю зеркального отражения). Тогда интеграл во втором слагаемом в  $U_{\Sigma T}$  берётся и пропорционален первому слагаемому в  $U$ , т.е. равен величине интенсивности отраженного от эталона измеряемого излучения. Тогда:

$$U - U_{\Sigma T} = k \int \epsilon_{\Sigma T}(\alpha) (i(\alpha) - i_{\Sigma T}(\alpha)) \eta(\alpha) d\Omega.$$

#### Заключение.

Данный метод не зависит от фоновой излучения вообще, что позволяет производить измерения в любых условиях.

Применение данного метода возможно для:

- 1) непосредственно измерений,
- 2) проверки существующих методов,
- 3) разработки радиометров теплового излучения (ИК, СВЧ...),
- 4) дополнения существующих радиометров.

#### Литература.

1. В.А.Мироненко, С.В.Станичный, Ю.В.Терехин, А.В.Цветков.

«Оценка возможности использования двухспектрального метода восстановления температуры морской поверхности в «окне» 10 - 13 мкм. по данным самолетных измерений».

В сборнике «Проблемы исследования океана из космоса», с. 42, г. Севастополь, 1984 г.

2. Takeo Yamada, Naoki Harada, Kiyotaka Imai.

«Method for continuously measuring surface temperature of heated steel strip». United States Patent N 4553854, Int. Cl. G01J 5/10, Nov. 19, 1985.