

УДК 621.383

Методика измерений относительной спектральной чувствительности образцового приемника излучения

В. Л. Бакуменко, В. П. Бегучев, А. С. Брюхов, Е. В. Дегтярев, И. В. Князев,

И. А. Кожанов, Л. Д. Сагинов, А. Н. Свиридов

ФГУП «НПО "Орион"», Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Обсуждается методика выполнения измерений относительной спектральной характеристики чувствительности образцового приемника излучения в спектральном диапазоне 2—14 мкм с помощью абсолютно черного тела (АЧТ) и спектральных фильтров.

Одной из важных характеристик приемников излучения является спектральная чувствительность. Методика выполнения измерений относительной спектральной характеристики чувствительности (ОСЧ) образцового приемника (ОП) — $S_{rel}(\lambda)$ заключается в последовательном облучении ОП потоками излучения с известными длинами волн λ_{fl} и мощностями $P_{fl}(\lambda)$ и измерении напряжений, вырабатываемых приемником $U_{s,r}(\lambda)$. Спектральные потоки излучения выделяются из излучения АЧТ с помощью узкополосных спектральных фильтров с известными характеристиками.

Подобная методика не нуждается в образцовых радиометрах, которые необходимо ежегодно калибровать в организациях Госстандарта. Метрологическая обоснованность этой методики может быть подтверждена средствами измерений, которыми располагает предприятие.

Для реализации методики была разработана установка, содержащая АЧТ, набор узкополосных спектральных фильтров, блокирующие фильтры из BaF_2 , CaF_2 , LiF и др., предназначенные для подавления паразитного пропускания интерференционных фильтров в длинноволновой области. В качестве калибруемого образцового приемника использовался пироэлектрический модуль МГ-30. Принципиальная схема установки показана на рис. 1.

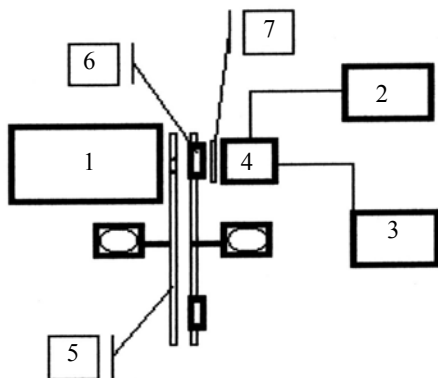


Рис. 1. Принципиальная схема установки:

1 — АЧТ; 2 — источник питания приемника;

3 — селективный микровольтметр; 4 — ОП;

5 — механический модулятор; 6 — интерференционный фильтр; 7 — блокирующий фильтр

Измерение ОСЧ проводится следующим образом:

- устанавливают ОП на расстоянии L от АЧТ;
- устанавливают заданный диаметр диафрагмы АЧТ — D_d ;
- АЧТ нагревают до заданной температуры — T_1 ;
- измеряют температуру лопастей механического модулятора — T_0 (температуру окружающей среды);
- устанавливают частоту модуляции излучения АЧТ — f ;
- устанавливают между АЧТ и ОП интерференционный фильтр с номером n , имеющий максимальное пропускание на длине волны λ_{fl} ;
- измеряют с помощью селективного нановольтметра, настроенного на частоту модуляции f , действующее значение напряжения сигнала ОП — $U_{s,r}(\lambda_{fl}, f)$.

Для вычисления доверительной границы случайной погрешности результата измерений $U_{s,r}(\lambda_{fl}, f)$ проводят N измерений ($N \geq 4$). При проведении измерений (для устранения влияния атмосферы) осуществляют продувку азотом или аргоном промежутка между АЧТ и образцовым приемником. Спектральные характеристики узкополосных фильтров предварительно измеряли с помощью спектрофотометра. При измерениях пропускания интерференционных узкополосных спектральных фильтров обнаружилось, что некоторые из них не полностью блокируют излучение в длинноволновой (при $\lambda > \lambda_{fl}$) области спектра. При использовании этих фильтров последовательно с ними устанавливали соответствующие блокирующие фильтры, представляющие собой пластины: LiF , CaF_2 , BaF_2 и др. Зависимости пропускания от длины волны блокирующих фильтров также определяли с помощью спектрофотометра. По этим зависимостям вычисляли характеристики пропускания составных фильтров. Определение $P_{fl}(\lambda)$ — мощности, облучающей ОП при установке перед ним фильтра с номером n , проводили двумя способами: расчетным, экспериментальным.

Расчет $P_{fl}(\lambda)$

Рассчитывают P_{fl} — действующие значения мощностей излучения по следующей формуле:

$$P_{fl} = \frac{10^6 \left(\varepsilon \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Psi_C(\lambda, T_1) d\lambda - \varepsilon_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Psi_P(\lambda, T_0) d\lambda \right) F A \beta \tau_{Fn}}{\pi L^2},$$

где

$$\Psi_C(\lambda, T_1) = 10^{-6} \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{hc \left(e^{\lambda k T_1} - 1 \right)};$$

$$\Psi_P(\lambda, T_0) = 10^{-6} \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{hc \left(e^{\lambda k T_0} - 1 \right)};$$

F — площадь отверстия диафрагмы черного тела, м²;

A — площадь ФЧЭ ОП, м²;

β — коэффициент формы модуляции излучения АЧТ механическим модулятором;

τ_{Fn} — эффективный коэффициент пропускания n -го фильтра;

$\varepsilon, \varepsilon_0$ — коэффициенты излучения полости черного тела и диска модулятора, соответственно (при расчетах принималось $\varepsilon = 0,99, \varepsilon_0 = 0,95, \beta = 0,325$);

L — расстояние между ОП и АЧТ, м.

При проведении вычислений P_{fl} для каждого фильтра использовали эффективные коэффициенты пропускания τ_{Fn} , которые были предварительно рассчитаны по зависимостям пропускания фильтров от длины волны $\tau_{fl}(\lambda)$. При расчетах предполагалось, что справедливы следующие соотношения:

$$\int_0^{\infty} \tau_{fl}(\lambda) d\lambda = \tau_{Fn} b_{fl} \text{ и } \begin{cases} \tau_{Fn} = 1 - \text{если } \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2; \\ \tau_{Fn} = 0 - \text{если } \lambda_1 > \lambda > \lambda_2, \end{cases}$$

где $b_{fl} = \lambda_2 - \lambda_1$ и $\lambda_2 > \lambda_1$.

Значения S_b , полученные по расчетным значениям $P_{fl}(\lambda)$, приведены на рис. 2.

Экспериментальное определение $P_{fl}(\lambda)$

Определение проводилось с помощью спектрально-неселективных измерителей мощности ИК-излучения:

измерителя средней мощности и энергии лазерного излучения ИМО-2Н. Этот прибор является неселективным приемником в диапазоне длин волн от 0,2 до 10,6 мкм. Он имеет встроенное устройство для абсолютной калибровки по мощности;

радиационного термоэлемента Е866 разработки Ленинградского электротехнического института (с входным окном из КРС-5).

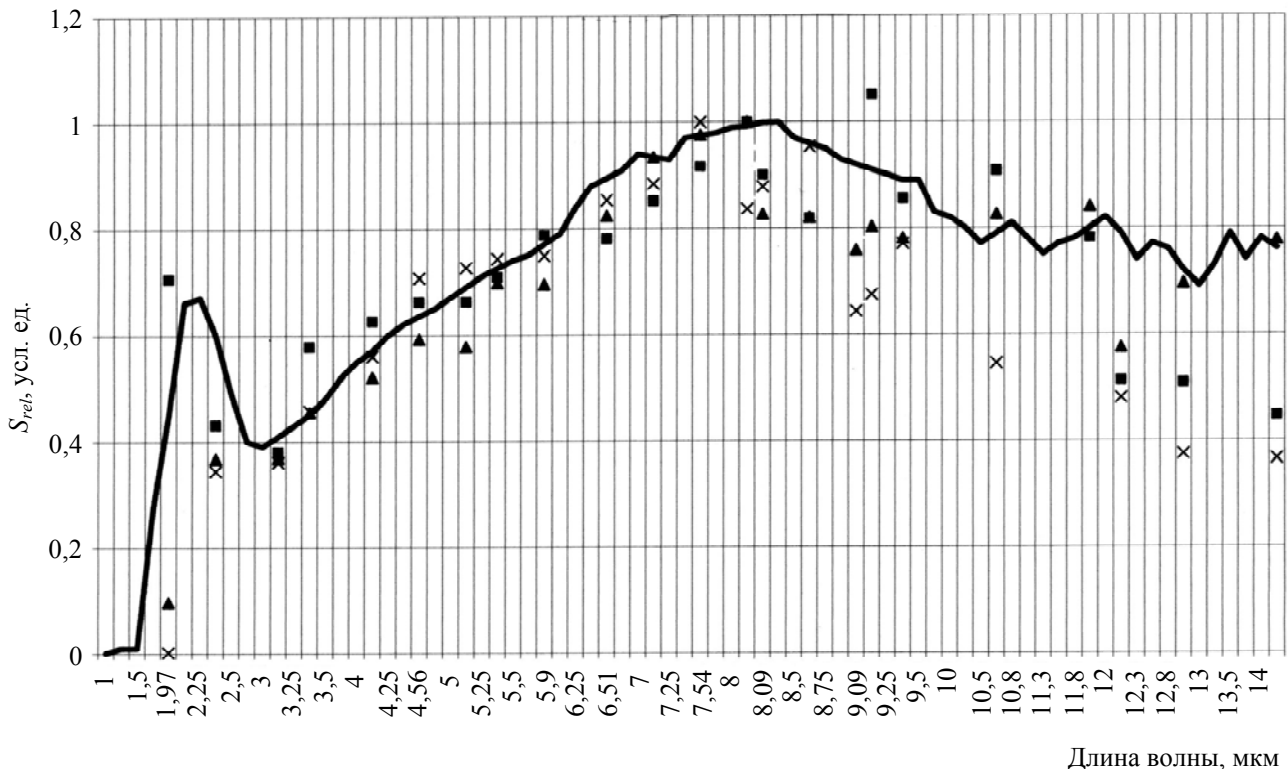


Рис. 2. Зависимости относительной спектральной чувствительности пироприемника МГ-30 от длины волны:

S_0 — ОСЧ, измеренная на установке, содержащей монохроматор; S_1 — ОСЧ, полученная с помощью измерений $P_{fl}(\lambda)$

термоэлементом Е 866; S_2 — ОСЧ, полученная с помощью измерений $P_{fl}(\lambda)$ прибором ИМО-2Н;

S_i — ОСЧ, полученная с использованием расчетных значений $P_{fl}(\lambda)$;

— S_0 ; ■ — S_1 ; × — S_2 ; ▲ — S_i

Схема измерений $P_{fl}(\lambda)$ аналогична схеме, приведенной на рис. 1. В процессе измерений неселективный измеритель мощности ИК-излу-

чения устанавливают вместо образцового приемника. Измерения проводят при температуре АЧТ 1000 °С с немодулированным потоком из-

лучения при использовании ИМО-2Н и с модулированным (с частотой 2—5 Гц) потоком излучения при применении радиационного термоэлемента Е 866.

$S_{rel}(\lambda)$ рассчитывают по следующему выражению:

$$S_{rel}(\lambda) = \frac{\frac{U_{0n}}{P_{fl}}}{\left(\frac{U_{0n}}{P_{fl}}\right)_{\max}}$$

На рис. 2 приведены ОСЧ ($S_{rel}(\lambda)$) пироприемника МГ-30, определенные путем расчета $P_{fl}(\lambda)$, (S_i) и прямых измерений $P_{fl}(\lambda)$ с помо-

щью термоэлемента Е 866 (S_1), а также прибора ИМО-2Н (S_2). Там же для сравнения приведена относительная спектральная характеристика чув-

ствительности пироприемника (S_0), полученная на установке для спектральных измерений приемников (на основе монохроматора), калиброванной по образцовому радиометру.

Из рис. 2 видно, что в области от 2 до 8 мкм зависимости S_1 , S_2 и S_i довольно мало отличаются от S_0 . В области 10—14 мкм наибольшее расхождение с S_0 имеют S_1 и S_2 , что, вероятно, связано с ухудшением отношения сигнал/шум при увеличении длины волны. Разброс точек на зависимостях S_i связан с наличием "спектральных дыр" в интерференционных фильтрах и их неполной блокировкой в составных фильтрах.

Дальнейшее совершенствование этой методики калибровки (путем тщательного подбора блокирующих фильтров или приобретения фильтров без "спектральных дыр") позволит уменьшить погрешности измерения ОСЧ приемников.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

Measurement technique of relative spectral sensitivity of the exemplary receiver of radiation

*V. P. Bakumenko, V. P. Beguchev, A. S. Brjuhov, E. V. Degtjaryov,
I. V. Knjazev, I. A. Kozhanov, L. D. Saginov, A. N. Sviridov*
ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Methods of measuring of relative spectral responsivity of an exemplary photodetector in 2—14 μ spectral range with the help of an absolutely black body and spectral filters are discussed.

* * *