

ОПТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 621.384.3

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

© 2007 г. В. А. Балоев*, канд. техн. наук; В. И. Курт*, канд. техн. наук; А. Н. Щипунов**, канд. техн. наук

* НПО “Государственный институт прикладной оптики”, г. Казань

** Государственный научно-исследовательский испытательный институт, г. Мытищи, Московской области

В работе рассмотрены проблемы метрологического обеспечения производства, испытаний и эксплуатации инфракрасных оптико-электронных приборов и предложены направления совершенствования системы метрологического обеспечения инфракрасных оптико-электронных приборов.

Коды OCIS: 120.3930.

Поступила в редакцию 06.09.2006.

Основной деятельностью метрологической службы НПО ГИПО является метрологическое обеспечение разработки, производства, испытаний и эксплуатации оптико-электронных приборов (ОЭП), работающих в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра. Основными типами ОЭП, работающих в ИК диапазоне спектра, являются сканирующие и матричные тепловизионные и радиометрические приборы. С точки зрения метрологического обеспечения указанные приборы объединяет необходимость нормирования их параметров в значениях величин разности радиационных температур (РРТ) и разности энергетических яркостей (РЭЯ), а также необходимость контроля их спектральных характеристик.

Действующая в ГИПО система метрологического обеспечения ОЭП по спектроэнергетическим параметрам оптического излучения (рис. 1) состоит из вторичных эталонов физических единиц непрерывного оптического излучения в спектральном диапазоне 0,25–15 мкм и рабочих эталонов (образцовых измерительных комплексов), универсальных по функциональным возможностям, предназначенных для поверки и калибровки ОЭП различного назначения. Следует отметить, что на сегодняшний день это самая оснащенная в техническом плане система метрологического обеспечения ОЭП в отрасли.

Основные принципы, которыми руководствуется метрологическая служба ГИПО при построении систем метрологического обеспечения ОЭП, можно сформулировать следующим образом:

независимо от класса и типа ОЭП для их паспортизации по энергетическим, спектральным и пространственным характеристикам оптического излучения должны применяться измерительные и испытательные комплексы или стенды, имитирующие с максимальной точностью спектральный состав и энергию излучения объектов, для исследования которых приборы предназначены;

системы метрологического обеспечения ОЭП, в зависимости от их класса и типа, необходимо разрабатывать с помощью аппаратурно-методических комплексов, различных по принципам воспроизведения, измерения и передачи размеров физических величин оптического излучения в соответствии с узаконенными (на уровне государства, отрасли или предприятия) поверочными схемами.

Метрологические требования к средствам контроля и измерений непосредственно определяются требованиями к контролируемому приборам. Анализ требований, предъявляемых к перспективным образцам ОЭП по разрешаемой РРТ и разности радиационных температур, эквивалентной шуму, ($РРТ_{ш}$), показывает, что одной из основных проблем, с точки зрения метрологического обеспечения разработки и испытаний ОЭП, является отсутствие отечественных средств измерений значений РРТ, меньших 50 мК.

С учетом действующих требований к средствам измерений уже сегодня необходимо разрабатывать и при возможности модернизировать имеющиеся на предприятиях средства испытаний с целью обеспе-

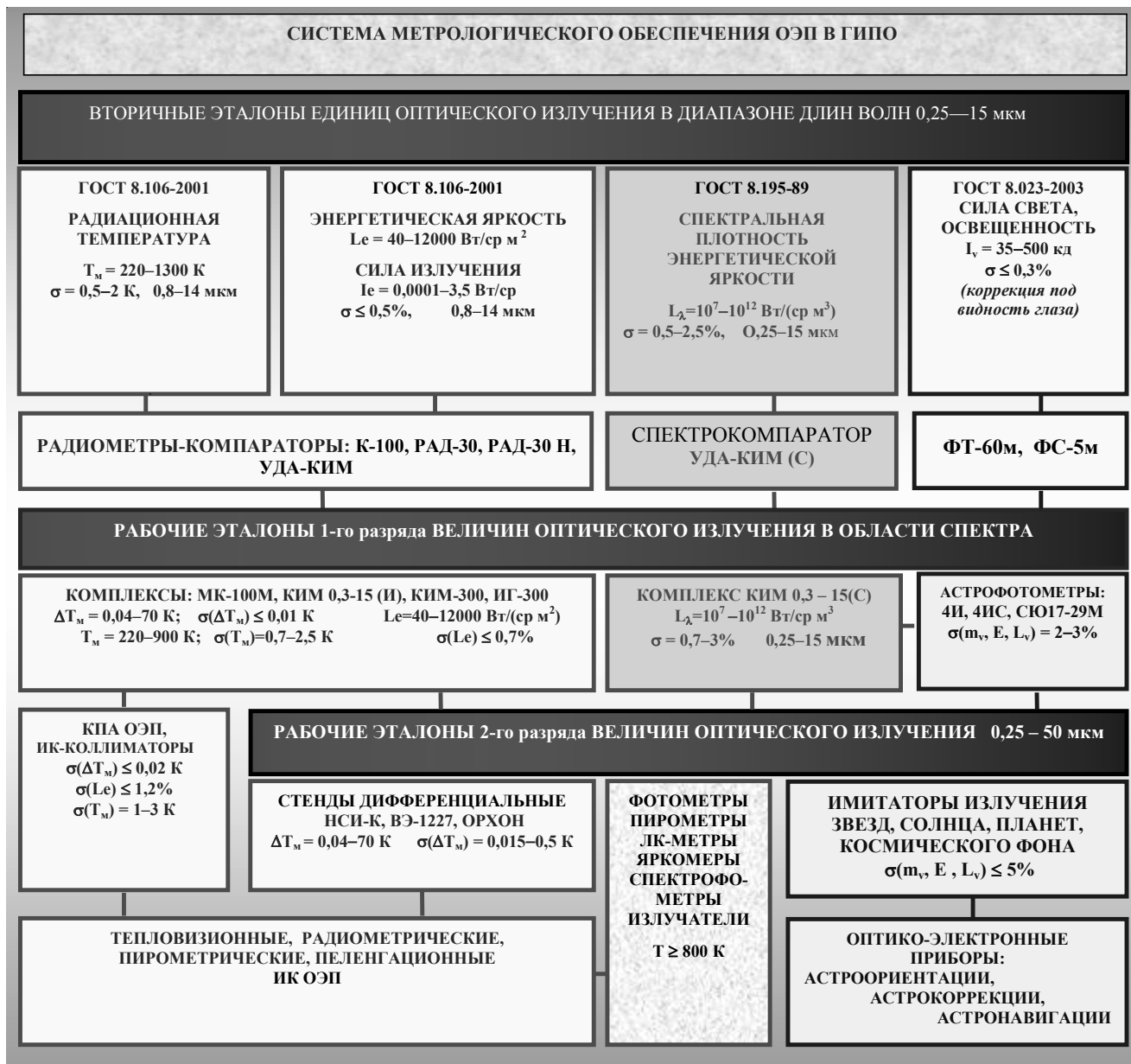


Рис. 1. Система метрологического обеспечения ОЭП в НПО ГИПО.

чения корректных измерений требуемых значений $PRR_{\text{эш}}$.

Анализ состояния метрологического обеспечения производства, испытаний и эксплуатации ОЭП показал, что в отрасли:

в 90-х годах прошлого века произошло значительное снижение научно-технического потенциала в технологии измерений параметров оптического излучения в целом;

отсутствуют унифицированные, аттестованные в соответствии с метрологическими правилами и нормами, средства и методы проведения калибровки и градуировки дифференциальных средств измерений, испытаний и контроля ОЭП (измерительные стенды, технологические ИК коллиматоры, контрольно-проверочная аппаратура) [1];

обязательная метрологическая процедура – “круговое сличение”, – обеспечивающая эффективный контроль “отраслевой трубки точности” и сведение градуировочных характеристик дифференциальных средств измерений до “допустимого разброса результатов измерений”, проводится только в рамках отдельных предприятий, что приводит, например, к различным результатам измерения температурно-частотной характеристики одного и того же ОЭП на стендах разных предприятий;

используемые средства поверки имеют высокую степень износа и, зачастую, морально устарели;

действующие в отрасли ГОСТы 8.195-89, 8.106-2001, 8.023-2003, регламентирующие систему обеспечения единства и точности измерений абсолютных величин спектрального, спектрально-

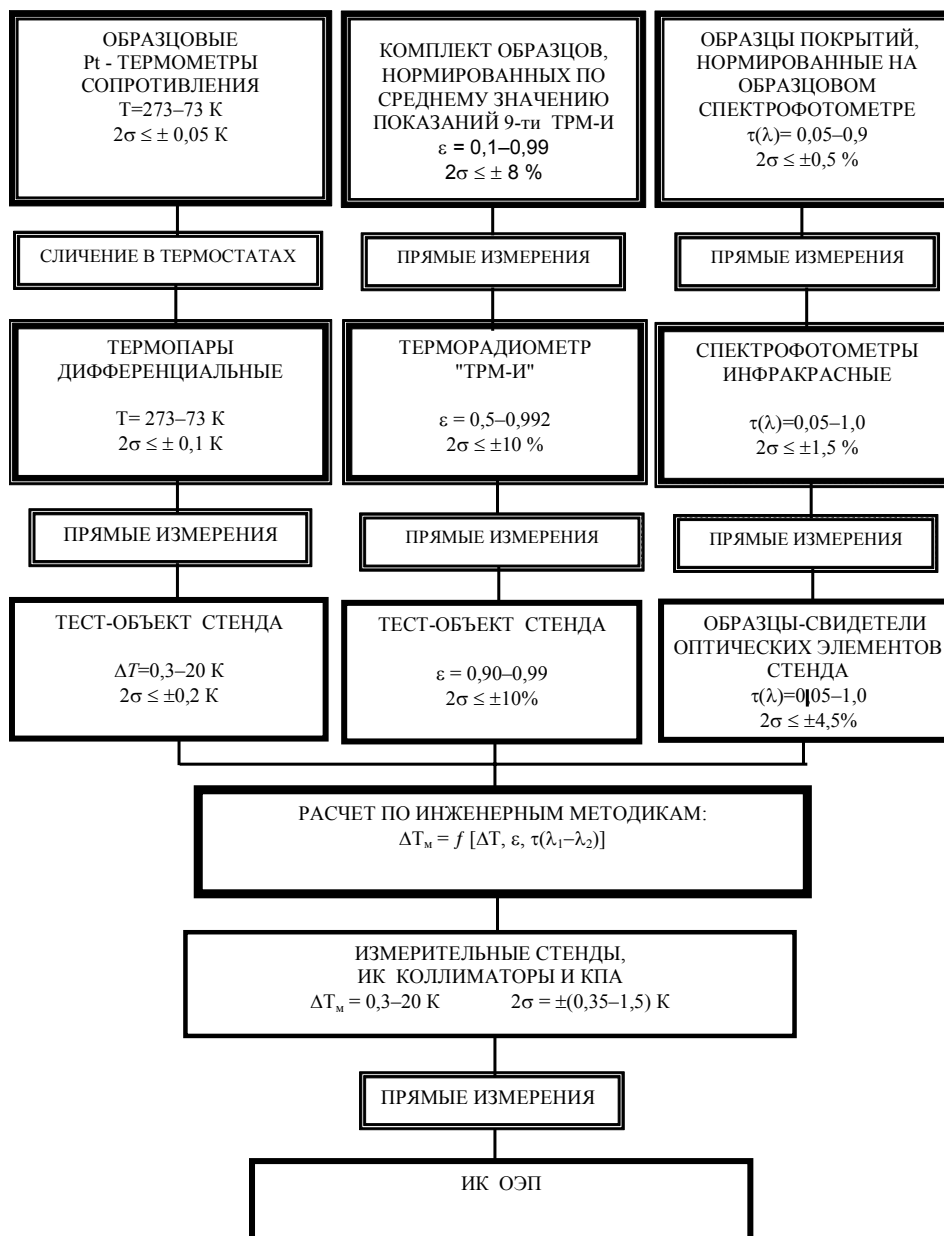


Рис. 2. Реально действующая в отрасли схема метрологического обеспечения ОЭП.

ного и интегрального оптического излучения, не обеспечивают требуемой точности градуировки различной по назначению инфракрасной измерительной аппаратуры.

Следствием этого является вынужденная самостоятельность каждого предприятия в части разработки средств и методов измерений при отсутствии централизованного метрологического надзора, а также крайне высокая вероятность принятия ошибочного решения по результатам измерений, выполненных с помощью ОЭП.

Для большинства метрологических служб предприятий единственным доступным методом калибровки измерительных стендов и контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) ОЭП является расчетно-

экспериментальный метод (рис. 2), основанный на измерениях и расчетах следующих функциональных величин:

на законченной (МТШ-90, ГОСТ 8.558) схеме измерения термодинамических температур между рабочими поверхностями дифференциального излучателя – “тест-объекта” измерительных стендов и КПА ОЭП,

на измерении и расчете эффективных коэффициентов излучения рабочих поверхностей “тест-объекта”,

на измерении спектрального и расчете спектрального пропускания оптической системы измерительных стендов и КПА в области спектральной чувствительности ОЭП (измерения проводятся по

плоским образцам-свидетелям без введения поправок на реальные геометрию поверхностей оптических элементов и потока излучения),

на инженерных расчетах воспроизведения величин РРТ и РЭЯ (многочисленные варианты методик расчета не аттестованы, приближения и допуски в расчетах не обоснованы).

На практике очень часто используют выражение, которое позволяет оценить, но не рассчитать точное значение РРТ (ΔT_m):

$$\Delta T_m = \tau_\Sigma \varepsilon \Delta T, \quad (1)$$

где τ_Σ – коэффициент пропускания оптической системы измерительного стенда, ε – коэффициент излучения излучателя и миры (предполагается их равенство), ΔT – разность термодинамических температур между излучателем и миром.

Расчет РРТ по выражению (1), во-первых, не учитывает взаимное тепловое влияние фонового излучателя и миры, а также влияние температуры окружающей среды, во-вторых, равенство коэффициентов излучения фонового излучателя и миры тест-объекта сложно получить вследствие того, что изготавливаются они, как правило, из разных материалов. Следует также учитывать, что система излучатель–прорезь миры представляет собой полостной излучатель с эффективным коэффициентом излучения, отличным от коэффициента излучения плоской поверхности.

На основе анализа многолетних экспериментальных исследований и калибровок моделей черных тел в ГИПО разработана методика калибровки измерительных стендов и КПА, с помощью которой также проводится определение РРТ экспериментально-расчетным методом, но с обязательной “привязкой” результатов измерений к единице энергетической яркости (ЭЯ) по ГОСТ 8.106-2001. На основе этой методики разработана локальная поверочная схема для средств измерений РРТ и РЭЯ (рис. 3).

Калибровка измерительных стендов и КПА проводится с помощью измерительного стенда, разработанного на базе стационарного радиометра-компаратора К-100. Оптическая схема измерительного стенда приведена на рис. 4. Методика калибровки заключается в последовательном сличении ЭЯ, создаваемых на выходе измерительного стенда или КПА отдельно штриховой мирой и отдельно источником фонового излучения, с ЭЯ, нормированных по ГОСТ 8.106, рабочих эталонов – излучателей модели АЧТ 213-343/20К [2], и последующем расчете по закону Стефана–Больцмана значений радиационной температуры (РТ) и РРТ [3, 4].

Параллельный поток излучения от излучающего штриха миры или от фонового излучателя (через прорези миры) калибруемого измерительного стен-

да 1 системой сменных зеркал 2 и 3 оптики сопряжения преобразуется в сходящийся, и мира четко фокусируется в фокальной плоскости 4 зеркального асферического объектива 5, 6. Излучения от измерительного стенда и от опорного излучателя АЧТ 213-343/20К 8 коммутируются зеркальным секторным модулятором 7. Зеркальным асферическим объективом 5, 6 изображения миры и диафрагмы АЧТ фокусируются в плоскости выходной диафрагмы 10, за которой устанавливаются сменные фотоприемники 11. Приемно-регистрирующая система (ПРС) 12 усиливает и обрабатывает разностный сигнал с приемника излучения.

Перед калибровкой измерительного стенда проводится проверка градуировочной характеристики ПРС по чувствительности S_0 , для чего измеряется разность сигналов ΔU_s двух АЧТ 213-343/20К 8, 9, калиброванных по ЭЯ,

$$\Delta U_s = \tau_1 (L_{e,1} - L_{e,2}) S_0, \quad (2)$$

где τ_1 – коэффициент пропускания оптики К-100, $L_{e,1}$, $L_{e,2}$ – ЭЯ излучателей, приведенные в свидетельствах о поверке.

При измерениях должно выполняться условие: $L_{e,1} < L_{e,изл} < L_{e,2}$, где $L_{e,изл}$ – ЭЯ фонового излучателя калибруемого измерительного стенда.

Сигнал с ПРС, пропорциональный РЭЯ от излучателя измерительного стенда и опорного излучателя 8, можно представить аналогично (2) $\Delta U_{изл} = \tau_1 (L_{e,1} - \tau_2 L_{e,изл}) S_0$, где τ_2 – суммарный коэффициент пропускания зеркал 2 и 3, $L_{e,изл}$ – ЭЯ излучателя измерительного стенда.

Поскольку измерения происходят практически одновременно, можно считать, что величина чувствительности S_0 не меняется, отсюда: $\Delta U_{изл} = \Delta U_s (L_{e,1} - \tau_2 L_{e,изл}) / (L_{e,1} - L_{e,2})$ и $L_{e,изл} = (1/\tau_2) [L_{e,1} - (\Delta U_{изл} / \Delta U_s) (L_{e,1} - L_{e,2})]$.

Аналогично для ЭЯ миры измерительного стенда можно записать $L_{e,миры} = (1/\tau_2) [L_{e,1} - (L_{e,1} - L_{e,2}) \times (\Delta U_{миры} / \Delta U_s)]$, где $\Delta U_{миры}$ – сигнал ПРС, пропорциональный РЭЯ миры измерительного стенда и опорного излучателя 8.

РТ излучающего штриха миры $T_{m,миры}$ и источника фонового излучения $T_{m,изл}$ измерительного стенда рассчитываются по формуле Стефана–Больцмана, и РРТ мира–фон на выходе измерительного стенда рассчитывается по выражению $\Delta T_m = T_{m,изл} - T_{m,миры}$.

Градуировочная характеристика К-100 и стабильность рабочих уровней РТ опорных излучателей (рабочие эталоны ЭЯ по ГОСТ 8.106) периодически проверяются по излучателям на основе фазовых переходов – тройные точки воды и галлия (вторичные эталоны ЭЯ по ГОСТ 8.106 и реперные точки МТШ-90 – единицы SI – кельвин).