УДК 536.6

ПРИЕМНИКИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВНЕДРЕНИЯ СТАНДАРТОВ ГОСТ 24632-81, ГОСТ 12.1.044-89, ДСТУ БВ.2.7-70-98 (ГОСТ 30444-97) В УКРАИНЕ

© Трикоз Павел, Декуша Леонид, Воробьёв Леонид, Шаповалов Вячеслав, Мазуренко Александр, 2008

Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев, Украина
teplomer@ukr.net

Наведено описання приладів для вимірювання та безперервного контролю густини усіх складових радіаційного теплового потоку від полум'я під час вогневих випробувань різних речовин, виробів та матеріалів на спалах та пожежну безпеку.

Представлено описание приборов, предназначенных для измерения и непрерывного контроля плотности всех составляющих радиационного теплового потока от пламени при огневых испытаниях различных веществ, изделий и материалов на воспламеняемость и пожаробезопасность.

The description of devices, used for measurement and continuous control of all components of radiant heat flow rate from the fire during test firing of various substances, products and materials on ignitability and combustibility is described.

Огневые испытания различных веществ, изделий и материалов на воспламеняемость и пожаробезопасность обязательно проходят при наличии теплового излучения. Это вызывает необходимость измерения и непрерывного контроля плотности всех составляющих радиационного теплового потока от пламени (результирующего, падающего и поглощенного), воздействующего на контролируемое изделие [1, 2].

Осуществление такого контроля возможно лишь при наличии испытательного оборудования и средств измерения на основе первичных преобразователей теплового потока и температуры. Измерение поверхностной плотности падающего теплового потока регламентировано стандартами, для приборного обеспечения которых в отделе теплометрии ИТТФ НАН Украины созданы абсолютные полостные приемники

интегрального теплового излучения моделей РАП-12М, РАП-12М.2, РАП-12Д, РАП-12Д.2 и модернизированный полостной приемник модели РАП-12ДМ.2 [3].

Приемный узел водоохлаждаемого приемника излучения приборов РАП-12М и РАП-12.М 2 (см. рис.1), состоит из диафрагмы 1 и теплового коллектора 2 и представляет собой модель абсолютно черного тела и калибровочного нагревателя 3, размещенных в корпусе 4.

Между тепловым коллектором 2 и корпусом приемника 4 вмонтирован преобразователь теплового потока (ПТП) 5, являющийся основным узлом приемника и предназначенный для измерения поверхностной плотности потока результирующего (прошедшего) теплового излучения. ПТП представляет собой термоэлектрический многоэлементный генераторного типа первичный измерительный преобразователь энергии теплового излучения в электрический сигнал и выполнен согласно межгосударственному стандарту [4] в виде вспомогательной стенки, на одной поверхности которой расположены горячие, а на другой – холодные спаи батареи термоэлементов.

Батарея состоит из дифференциально соединенных константан-медных элементов, включенных параллельно по измеряемому потоку и последовательно по генерируемому сигналу. Термоэлементы изготовлены с применением гальванической технологии и сформованы в виде цилиндрической оболочки, которая фиксируется заливочным компаундом между корпусом 4 и тепловым коллектором 2. Термостатирование корпуса 4, размещенного в кожухе 6, осуществляется с помощью циркуляции хладоагента, для чего имеются входной 7 и выходной 8 штуцера.

Для задания нормированного теплового потока при выполнении градуировки, метрологической аттестации и поверок прибора применяют калибровочный нагреватель 3, который зафиксирован при помощи заливочного компаунда и представляет собой стандартный металлопленочный резистор типа МЛТ. Уменьшение тепловых потерь обеспечивается применением тепловой изоляции 11.

Контроль температуры теплового коллектора 2 осуществляется термоэлектрическим преобразователем температуры (ПТ) 10, представляющим собой термопару, изготовленную из хромелевой и алюмелевой термоэлектродных проволок диаметром 0,3 мм стандартной градуировки ХА (К), спай которой зачеканен в нижней части ячейки.

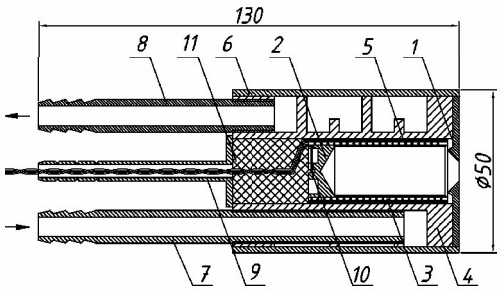

Рис. 1. Схема радиометра модели РАП-12М.2: 1 – диафрагма; 2 – тепловой коллектор; 3 – калибровочный нагреватель; 4 – корпус; 5 – ПТП; 6 – кожух; 7 и 8 – входной и выходной штуцеры охлаждения; 9 – штуцер вывода кабеля связи; 10 – термоэлектрический ПТ типа ХА; 11 – тепловая изоляция

Токоподводящие провода нагревателя 3 и потенциалосъемные провода ПТП и ПТ выведены за пределы корпуса через штуцер 9 на длину 2 – 4 м в виде соединительного кабеля, оканчивающегося разъемом.

Диафрагма 1, имеющая входное отверстие диаметром 6 мм, выполнена из полированного дуралюмина и запрессована в корпус 4. Высокая отражательная способность ее внутренней поверхности, форма и размеры полости приемника обеспечивают максимальную концентрацию прошедшего через входное отверстие диафрагмы потока теплового излучения на тепловоспринимающей поверхности радиометра. Для увеличения коэффициента поглощения на внутренней поверхности теплового коллектора 2 нанесен слой оксидной черни. Приемник снабжен съемной крышкой, закрывающей его рабочий торец с входным отверстием (на рис. 1 не показана).

Модель прибора РАП-12М применяется в комплекте со стандартным измерителем напряжения постоянного тока. В состав прибора РАП-12М.2 входит специализированное цифровое показывающее устройство (ЦПУ), предназначенное для измерения и масштабирования сигналов первичных ПТП и ПТ приемника и представления измерительной информации в цифровом виде на жидкокристаллическом табло в единицах измеряемых плотности теплового потока (кВт/м^2) и температуры ($^\circ$C).

Конструкция корпуса приемника 6 обеспечивает термостатирование теплочувствительного элемента с одновременным интенсивным охлаждением, позво-

ляющим измерять потоки теплового излучения с плотностью до 100 кВт/м^2. В качестве термостатирующего оборудования предусмотрено использование циркуляционного водяного термостата.

На практике более удобным в качестве хладагента является применение проточной воды из водопроводной сети, однако её температура во время испытаний может изменяться. Это является причиной дрейфа нулевого сигнала прибора, что соответственно отражается на результатах исследований и особенно при измерениях плотности теплового излучения малой интенсивности. С учетом этого обстоятельства разработана конструкция дифференциального полостного приемника теплового излучения, применяемого в комплекте как со стандартным измерителем напряжения постоянного тока (модель РАП-12Д), так и со специализированным ЦПУ (модель РАП-12Д.2). Внешний вид прибора РАП-12Д.2 представлен на рис. 2.

Такой приемник (см. рис. 3) содержит две идентичные теплометрические ячейки (тепловой коллектор 1) расположенные в одном водоохлаждаемом проточном теплообменнике 3.

Коллектор каждой ячейки изготовлен из высокотеплопроводного материала, по наружной поверхности которого навит калибровочный нагреватель 2, выполненный в виде бифилярной спирали. Между нагревателями 2 и теплообменником 3 расположены дифференциально соединённые ПТП генераторного типа 4, выполненных согласно межгосударственному стандарту [4] в виде цилиндрической вспомогательной стенки. Дифференциальное включение ПТП позволяет скомпенсировать влияние неконтролируемых изменений температуры охлаждаемого корпуса приемника, которые вызваны изменением температуры хладагента и окружающей среды.

Тепловой коллектор 1 в совокупности с рабочей диафрагмой 5 является моделью абсолютно черного тела.

Вспомогательная крышка 6, выполненная в размерах диафрагмы, закрывает вторую (вспомогательную) теплометрическую ячейку. Таким образом, измеряемый тепловой поток не воздействует на вспомогательную ячейку. Теплообменник 3 находится в кожухе 7.

Для циркуляции хладагента имеются штуцера 8, а штуцер 9 – для вывода кабеля токоподвода и потенциалосъемных проводов. Для контроля температуры теплового коллектора 1 применён ПТ 10, представляющий собой термопару, изготовленную из хромелевой и алюмелевой термоэлектродных проволок диаметром 0,2 мм стандартной градуировки ХА (К) [3]. Спай термопары зачеканен в нижней части теплового коллектора 1.

Рис. 2. Внешний вид прибора модели РАП-12Д.2: 1 – приемник теплового излучения; 2 – цифровое показывающее устройство

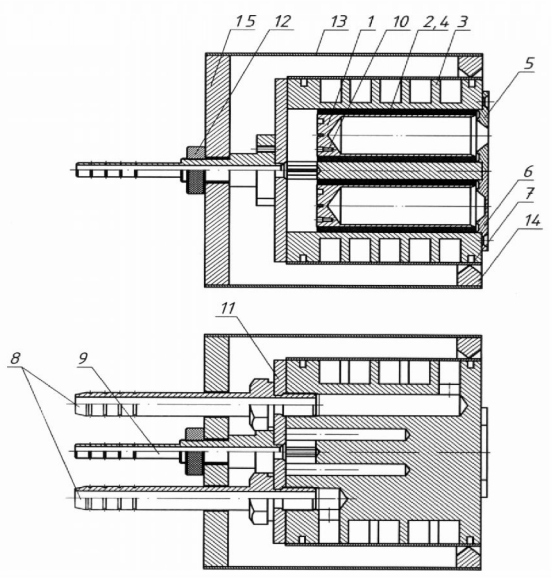

Рис. 3. Конструктивное устройство приемника теплового излучения модели РАП-12Д.2: 1 – тепловой коллектор;2, 4 – калибровочный нагреватель, термобатарея ПТП; 3 – теплообменник; 5 – диафрагма; 6 – крышка вспомогательная; 7 – кожух; 8 – штуцер системы охлаждения; 9 – штуцер вывода кабеля связи; 10 – термопара; 11 – крышка; 12 – гайка прижимная; 13 – экран; 14 – кольцо экрана; 15 – крышка экрана

Крышка 11 закреплена на теплообменнике 3 и служит для крепления штуцеров системы охлаждения 8 и штуцера кабеля связи 9. Экран 13 с кольцом 14 и крышкой экрана 15 скреплены между собой прижимной гайкой 12. Диафрагма 5, выполненная из полированного дуралюмина, крепится к теплообменнику 3. Для увеличения коэффициента поглощения внутренняя поверхность теплового коллектора 1 покрыта слоем оксидной черни.

Термоэлектрический многоэлементный ПТП 4 является основным узлом приемника и предназначен для измерения поверхностной плотности потока результирующего (прошедшего) теплового излучения. Токоподводящие провода нагревателя 2 и потенциалосъемные провода ПТП и ПТ выведены за пределы корпуса через штуцер 9 на длину 3 м в виде соединительного кабеля, оканчивающегося разъемом.

Приемник снабжен съемной крышкой (на рис. 3 не показана), закрывающей рабочий торец приемника при хранении и периодических поверках прибора.

ЦПУ содержит измерительные усилители, аналого-цифровой преобразователь, источник опорного напряжения, источник питания и предназначено для масштабирования и измерения сигналов первичных преобразователей (ПТП и ПТ) приемника и представления измерительной информации в цифровом виде на жидкокристаллическом табло в единицах плотности теплового потока (кВт/м^2) и температуры (^{o}C).

Модель дифференциального полостного приемника теплового излучения РАП-12ДМ.2 является модификацией прибора РАП-12Д.2. Эта модель отличается меньшей толщиной стенки ПТП приемника, в результате чего снижена инерционность прибора, а также максимально устраняется дрейф нулевого сигнала, вызванный изменением температуры охлаждающей жидкости. Кроме того, такой приемник имеет несколько уменьшенные габариты как в поперечном сечении, так и по длине за счет вывода штуцеров системы охлаждения со стороны боковой поверхности кожуха приемника.

Измеряемая поверхностная плотность потока интегрального теплового излучения определяется по формуле:

$$q_{рез} = E_{ПТП} \cdot K, \qquad (1)$$

где $E_{ПТП}$ – сигнал ПТП, мВ; К – константа прибора, кВт/(м^2·мВ).

Константа К определяется на этапе градуировки приборов РАП-12Д и РАП-12Д.2 и используется для расчета плотности теплового потока по значению $E_{ПТП}$ (модель РАП-12), а также в ЦПУ прибора РАП-12Д.2 при нормировании сигнала ПТП и преобразовании его в цифровую форму. На табло ЦПУ высвечивается соответствующее значение измеряемой поверхностной плотности потока результирующего теплового излучения в кВт/м^2.

Для любого тела, участвующего в радиационном теплообмене с окружающими телами и источниками энергии, различают собственное, падающее и результирующее тепловое излучение.

Значение поверхностной плотности потока собственного теплового излучения приемника $q_{соб}$ определяется по формуле:

$$q_{соб} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4, \qquad (2)$$

где T = 273 + t, t – показания табло в режиме измерения температуры; $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2·К^4) – постоянная Стефана–Больцмана; ε – степень черноты приемника.

Значение поверхностной плотности потока падающего теплового излучения $q_{пад}$ определяется, исходя из такого уравнения теплового баланса:

$$q_{рез} = q_{погл} - q_{соб}, \qquad (3)$$

где $q_{рез}$ – плотность потока результирующего теплового излучения; $q_{погл}$ – плотность потока поглощенного теплового излучения.

С учетом того, что плотность поглощенного теплового излучения равна:

$$q_{погл} = a \cdot q_{пад}, \qquad (4)$$

поглощательная способность приемника $a = \varepsilon$, а плотность результирующего теплового излучения $q_{рез} = \bar{q}_{изм}$, то есть находится прямым измерением, расчетная формула для поверхностной плотности потока падающего теплового излучения имеет вид:

$$q_{пад} = (q_{рез} + q_{соб}) / a =$$
$$= \bar{q}_{изм} / a + \sigma T^4 = \bar{q}_{изм} / a + \chi. \qquad (5)$$

где $\chi = \sigma(t+273)^4$ – поправка на собственное тепловое излучение.

Аттестация и периодические поверки приборов моделей РАП осуществляются методом замещения энергии теплового излучения электрической энергией постоянной мощности, подведенной к калибровочному нагревателю с последующим расчётом нормированного значения поверхностной плотности теплового потока.

Базирующаяся на методе энергетического замещения методика метрологической аттестации реализована на экспериментальной установке, в состав которой входят высокоточные измерители силы и напряжения постоянного электрического тока от источника постоянной мощности.

Границы допускаемой основной относительной погрешности для подддиапазона измерения от 1 до 20 кВт/м^2 не превышают ±5%, а для подддиапазона от 20 до 100 кВт/м^2 – ±3%.

1. ДСТУ БВ.2.7-70-98 (ГОСТ 30444-97). Будівельні матеріали. Метод випробування на розповсюдження полум'я. 2. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. 3. Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Воробьёв Л.И.// Полостной приемник теплового излучения // Пром. теплотехника. – 2002 – т.24. – №4 – С.89 – 92. 4. ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98). Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови.