

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

METHODS AND INSTRUMENTS FOR ANALYSIS AND MONITORING OF THE NATURAL ENVIRONMENT, SUBSTANCES, MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 62-1/-9
DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-6-525-532

КОМПАКТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПИРОПРИЕМНИКОВ

А. Ф. Аушев, Л. А. Глущенко*

*Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения,
Ленинградская область, Сосновый бор, Россия*

** Gla2016@rambler.ru*

Аннотация. Исследованы методы измерения пороговой чувствительности пирозлектрических приемников, позволяющие минимизировать аппаратные погрешности измерений. Экспериментально подтверждена возможность измерения пороговой чувствительности пирозлектрических приемников с помощью компактной схемы измерений, содержащей единственный оптический элемент — ограничивающую диафрагму. Схема измерения основана на использовании проекционной системы типа камеры-обскуры. Предложенная схема измерений позволяет минимизировать ошибки измерений благодаря отсутствию оптических элементов, искажающих энергетические и спектральные характеристики излучения, а также отсутствию искажения сигнала при распространении излучения в воздухе за счет компактности измерительной схемы.

Ключевые слова: *пиродетектор, камера-обкура, оптическое излучение, модель абсолютно черного тела, синхронный детектор, пороговая чувствительность приемника*

Благодарность: авторы благодарят заместителя генерального директора по научной работе АО „НИИ ОЭП“, доктора технических наук Н. И. Павлова за полезные консультации и обсуждения.

Ссылка для цитирования: *Аушев А. Ф., Глущенко Л. А. Компактная установка для измерения чувствительности пироприемников // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 6. С. 525–532. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-6-525-532.*

STADIES OF MODERN PIROELECTRIC RECEIVERS AND A COMPACT DEVICE FOR MEASURING THEIR SENSITIVITY

A. F. Aushev, L. A. Glushchenko*

JSC Research Institute of Optical-Electronic Instrumentation, Sosnovy Bor, Leningrad Region, Russia

** Gla2016@rambler.ru*

Abstract. Studied methods for measuring the threshold sensitivity of pyroelectric receivers are make it possible to minimize hardware measurement errors. The possibility of measuring the threshold sensitivity of pyroelectric receivers using a compact measurement circuit with a single optical element - a limiting diaphragm - is experimentally confirmed. The measurement scheme is based on the use of a "camera obscura" type projection system. The proposed measurement scheme allows to minimize measurement errors due to the absence of optical elements that distort the energy and spectral characteristics of radiation, as well as the absence of signal distortion when radiation propagates in air due to the compactness of the measuring circuit.

Keywords: *pyroelectric receivers, camera obscura, optical radiation, absolutely black body, synchronous detector, receiver threshold sensitivity*

Acknowledgment: The authors thank N. I. Pavlov, Doctor of Technical Sciences, the Deputy General Director for Scientific Work of JSC Research Institute of Environmental Protection, for useful consultations and discussions.

For citation: Aushev A. F., Glushchenko L. A. Compact installation for measuring the sensitivity of pyroelectric receivers. Journal of Instrument Engineering. 2024. Vol. 67, N 6. P. 525–532 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024- 67-6-525-532.

Введение. Одним из важнейших направлений современной прикладной физики является создание систем контроля тепловизионных (ТПВ) приборов. Натурные испытания таких приборов весьма дороги, а ошибки конструкторских решений выявляются лишь на завершающем этапе. Поэтому тестирование отдельных узлов в лабораторных условиях необходимо для оценки и оптимизации характеристик ТПВ-систем на этапе конструкторской проработки. Одним из важнейших узлов таких приборов являются фотоприемные устройства, в частности, пироприемники.

Пироэлектрические приемники известны давно, но зачастую недооценены в силу невысокой чувствительности. Пироприемники работают в широком диапазоне длин волн — от ультрафиолета до дальнего ИК-диапазона [1]. Кроме того, пироэлектрические приемники являются наиболее быстродействующими из всех известных типов тепловых приемников [2, 3]. Неселективность, высокая чувствительность и быстродействие определяют большой интерес к использованию этих приборов, например, при измерении мощности лазерного излучения. Можно отметить, что среди одноэлементных неохлаждаемых тепловых приемников пироэлектрические характеризуются наилучшими параметрами. Они являются лучшими в классе неохлаждаемых ИК-приемников, превосходя аналогичные устройства с иными принципами действия по эффективности обнаружения источника излучения, быстродействию, надежности, меньшим стоимости и энергопотреблению. В одноэлементных приемниках чувствительная площадка, как правило, имеет площадь порядка 1–3 мм², диапазон длин волн регистрируемого излучения составляет 3–14 мкм, допускается модуляция излучения с частотой 10–50 Гц [4].

Пироэлектрические приемники часто используются в различных измерительных схемах, в том числе в приборах зарубежного производства. Их применение осложняется тем, что в документации указаны близкие к предельным пороговые характеристики, но не даны условия их получения. Так, в паспорте широко известного термпарного измерителя 3A фирмы Ophir указан уровень шума 2 мкВт, но рекомендуется использовать его при потоках выше 60 мкВт, а в документации на приемник UM9B-BL-L-DO фирмы Gentec приводится порог 10 нВт, что на практике получить очень сложно.

Ряд зарубежных компаний, таких как *Electro Optical Industries, Inc. (EOI, США)*, *Standa Barbara Infrared Inc. (SBIR, США)* и др. достаточно полно представляют продукцию для тестирования инфракрасных приемников. В зависимости от типа измеряемых параметров современные стенды для тестирования ИК-приемников, такие как *SBIR RTB 3000*, создаются в одной из трех конфигураций:

- 1) измерения ведутся, когда тест-объект проецируется на тестируемое фотоприемное устройство (ФПУ) с конечного расстояния (в сфокусированном пучке),
- 2) измерения в потоке (без тест-объекта),
- 3) измерения при бесконечной удаленности тестового объекта (в коллимированном пучке) [5].

При измерениях в поточном режиме детектор освещается несфокусированным излучением от высокотемпературного полостного абсолютно черного тела (АЧТ) или АЧТ с протяженной излучательной площадкой. Измерения в поточном режиме применяются при определении энергетических параметров, таких как чувствительность, шумы, однородность, обнаружительная способность и линейность. Для определения чувствительности источник теплового излучения устанавливается перед исследуемым ФПУ. В случае протяженного АЧТ фотоприемник устанавливается непосредственно перед излучательной площадкой, а в случае полостного дистанция между ФПУ и АЧТ выбирается исходя из апертуры, и между ФПУ и АЧТ устанавливаются диафрагмы, модуляторы и оптические фильтры.

Чувствительность приемника является крайне важным параметром, поскольку она используется для вычисления смежных характеристик: удельной обнаружительной способности и разности температур, эквивалентной шуму. Как правило, набор светофильтров между источником и приемником излучения используется во всех известных измерительных схемах определения

пороговой чувствительности фотоприемников [5, 6]. В случае измерения неравномерности чувствительности по площадке фоточувствительного элемента (ФЧЭ) с целью исследования позиционно-чувствительных фотоприемников, при контроле ФПУ в процессе изготовления используются оптические зонды для освещения фотоприемной площадки [7–9].

В настоящей работе предложена схема измерения пороговой чувствительности пироэлектрических приемников на основе использования проекционной системы типа камеры-обскуры с целью определения реально достижимых возможностей ФЧЭ. Источником излучения служит АЧТ. Проекционная система типа камеры-обскуры отличается весьма низкой светосилой, но именно это свойство полезно в рассмотренном случае, поскольку позволяет избежать необходимости использования светофильтров. Предложенная экспериментальная установка пригодна для измерения чувствительности ФПУ различных спектральных диапазонов, поскольку единственный оптический элемент экспериментальной установки — диафрагма, которая служит и проекционным объективом с достаточно резким изображением, и ослабителем с коэффициентом подавления вплоть до шести порядков. В оптической схеме для ослабления излучения довольно часто [10] применяется промежуточная диафрагма, однако в использованной нами схеме диафрагма — единственный оптический элемент, который не характеризуется спектральной зависимостью. Схема установки отличается от известных [5–9, 11–13] отсутствием линзовых и зеркальных оптических элементов, нейтральных и спектральных светофильтров, оптических зондов. Это позволяет избежать внесения погрешностей, связанных с использованием указанных оптических элементов, при проведении измерений (единственное ограничение — дифракционный предел). Если удастся пренебречь дифракцией, то схема становится очень простой как в части энергетических расчетов, так и в интерпретации экспериментальных данных. Камера-обскура привлекательна еще и из-за отсутствия „фокальной плоскости“. Последнее свойство позволяет реализовать конструктивные преимущества при проектировании какого-либо встроенного устройства или устройства в компактном исполнении.

Описание экспериментальной установки. Внешний вид экспериментальной установки с камерой-обскурой для измерения чувствительности неселективных приемников излучения представлен на рис. 1, а, оптическая схема показана на рис. 1, б: 1 — модель АЧТ; 2 — ограничивающая диафрагма; 3 — модулятор; 4 — конический тубус-бленда; 5 — пироприемник.

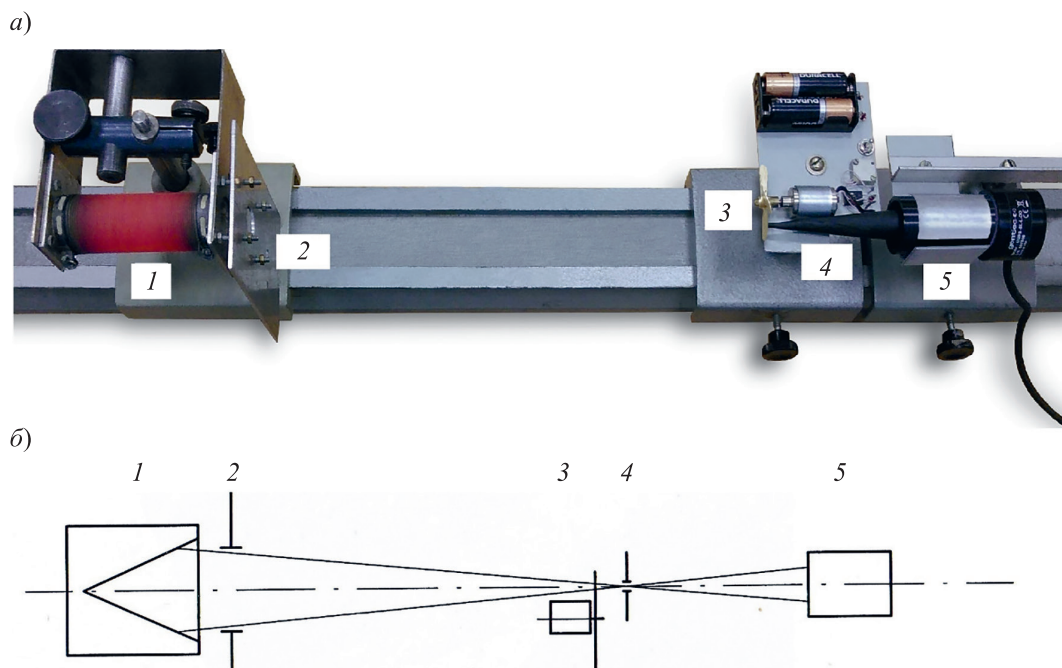


Рис. 1

В соответствии с ГОСТ 59607-2021* в качестве источника излучения при измерении широкого спектрального диапазона выбирается излучатель в виде модели АЧТ с температурой полости $T = (500 \pm 2), (800 \pm 2), (1000 \pm 2), (1273 \pm 2)$ К. В рассматриваемой схеме источником излучения служит модель АЧТ, состоящая из нагревателя и внутреннего конуса. Обмотка из нихромовой проволоки навита на керамический корпус проволочного резистора номинальной мощности 50 Вт. Внутри керамической трубы вставлен стальной цилиндр диаметром 20 мм с конической полостью. Цилиндр прошел термическую обработку на воздухе до получения прочной окалины. Достаточно миниатюрный вариант модели АЧТ исключает влияние пространственной неоднородности АЧТ и внесение дополнительных погрешностей, что отмечено в некоторых работах [14].

Питание нагревателя производится от автотрансформатора. При напряжении порядка 60 В мощность составляет 400 Вт. При этом температура тела накала составляет около 1000 К. Температура контролируется термопарой. Перед излучающим конусом закреплена ограничивающая диафрагма диаметром 16 мм. Модель АЧТ компактна и закреплена на рейтере и имеет подвижки по пяти координатам, что удобно для юстировки. Коэффициент излучения модели АЧТ не менее 0,99 (как этого требует ГОСТ 59607-2021 для модели в виде излучающего конуса), что подтверждается совпадением приведенных ниже результатов расчета и эксперимента; стабильность АЧТ определяется качеством источника питания и условиями теплообмена.

Блок приемника содержит модулятор, изготовленный на базе микродвигателя с редуктором швейцарского производства. На оси закреплен диск с тремя лепестками. При напряжении на двигателе от 0,1 до 2 В частота модуляции изменяется от 0,2 до 25 Гц. Питание микродвигателя модулятора автономное, от батареи 3 В. Частота 5 Гц, рекомендуемая для данного приемника, соответствует напряжению на двигателе 0,6 В. Тубус-бленда конической формы, наиболее эффективно защищающая как от внешнего света, так и от конвективных воздушных потоков, имеет отверстие диаметром 1 мм в вершине конуса, которое является объективом камеры-обскуры. Тубус окрашен изнутри и снаружи черной матовой эмалью и вставлен в штатную бленду приемника, которая сама по себе не обеспечивает достаточной защиты открытой площадки пироприемника от внешних воздействий.

Показанный на рис. 1, а пироприемник модели *UM9B-BL-L-DO* используется в паре с аналоговым усилителем *APM(D)*, выход которого подключен к цифровому осциллографу *TDS 2002*. Диаметр приемной площадки пироприемника составляет 9 мм.

В настоящем исследовании полоса усиления не ограничивалась, и сигнал считывался непосредственно с экрана осциллографа. Тело излучения модели АЧТ нагревалось до температуры 750 °С (т. е. 1023 К). Эта температура и заложена в энергетический расчет. Гарантированный спектральный диапазон использования пироприемника этой модели составляет 0,2–20 мкм. Это позволяет в расчете использовать формулу Стефана–Больцмана для энергетической светимости черного тела:

$$M = \sigma T^4. \quad (1)$$

Здесь σ — постоянная Стефана–Больцмана, T — температура (К).

Яркость АЧТ в направлении приемной диафрагмы определяется как:

$$L_{\text{АЧТ}} = M/\pi. \quad (2)$$

Энергетическая светимость для рассматриваемого случая $M = 6,2$ Вт/см², соответственно яркость модели АЧТ в направлении приемной диафрагмы $L_{\text{АЧТ}} = 2$ Вт/см²срад.

Оптическая схема измерительной установки показана на рис. 1, б. Коническая полость нагретого стального цилиндра является достаточно близким аналогом АЧТ. Отверстие в ме-

* ГОСТ Р 59607-2021. Оптика и фотоника. Приемники излучения полупроводниковые. Фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерений фотоэлектрических параметров и определения характеристик. Введен 01.03.2022. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 58 с.

таллической пластине диаметром 16 мм является полевой диафрагмой и ограничивает поток излучения в конической полости, которая наиболее равномерно нагрета. Далее через отверстие диаметром 1 мм в вершине конуса изображение полевой диафрагмы проецируется на приемную площадку пироприемника по принципу камеры-обскуры. Расстояние от полевой диафрагмы до отверстия в вершине конуса равно 28 см и от вершины конуса до площадки приемника 14 см, при этом освещенное пятно на приемной площадке равно ее диаметру 9 мм (8 мм — расчетное геометрическое изображение объекта при бесконечно малой диафрагме, 1 мм — уширение камеры-обскуры). Мощность светового потока, падающая на приемник, равна мощности, проходящей через отверстие в конусе. Предложенная схема представляется удачной, поскольку диск модулятора удален от горячего излучающего тела, чтобы избежать его перегрева. Конус наилучшим образом обрезает фон и исключает воздушные потоки, которые вызывают сильные флуктуации сигнала весьма чувствительного прибора, не защищенного окном. Схема не содержит оптических элементов, способных внести погрешности и спектральные искажения (линзы, зеркала и фильтры). Компактность установки позволяет не только расположить ее в любом помещении, но и пренебречь поглощением излучения воздухом.

Энергетический расчет сводится к определению мощности потока, проходящего через диафрагму камеры-обскуры. Искомый поток равен произведению яркости модели АЧТ на его площадь (точнее, площадь полевой диафрагмы) и на телесный угол, под которым видно отверстие в защитном конусе. Мощность излучения на приемнике определяется как:

$$\Phi_{\Pi} = L_{\text{АЧТ}} S_{\text{д}} \Omega_0, \quad (3)$$

где $S_{\text{д}}$ — площадь диафрагмы; Ω_0 — телесный угол камеры-обскуры. При $S_{\text{д}} = 2 \text{ см}^2$; $\Omega_0 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$, мощность излучения на апертуре приемника имеет значение $\Phi_{\Pi} = 36 \text{ мкВт}$.

Экспериментальные исследования. Значение чувствительности прибора модели *UM9B-BL-L-DO* составляет 14,3 мВ/мкВт, соответственно ожидаемое значение сигнала (напряжения), регистрируемого на выходе усилителя приемника $U_c = 515 \text{ мВ}$. Осциллограмма полученного по двум входам осциллографа сигнала (рис. 2) показывает весьма точное совпадение результатов измерений с расчетом (из-за низкой частоты модуляции на переменном входе сигнал искажен).

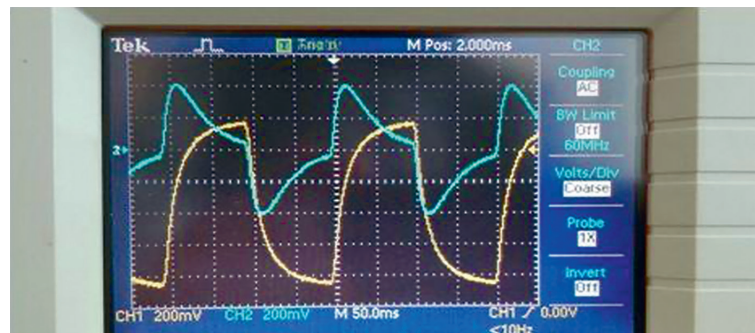


Рис. 2

Возможно, такая точность является результатом наложения погрешностей с разными знаками. Однако сама экспериментальная установка с проекционной системой камеры-обскуры настолько проста и прозрачна, что трудно ошибиться как в расчетах, так и в измерениях. Исследуемый пироприемник чувствителен к вибрации и акустическому шуму. Напряжение сигнала усилителя содержит постоянную составляющую, которая непрерывно дрейфует. При воздействии тепла (примерно 36 °С) на корпус фотоприемного устройства более 5 с постоянная составляющая достигает предела (выходит в насыщение). Возврат в активную зону происходит через 10–20 с, но не всегда достигает нулевого значения.

В работе исследовались шумы пироприемника. В отсутствие оптического сигнала напряжение шума составляет около 8 мВ, что соответствует мощности излучения на апертуре приемника 0,5 мкВт. Шум регистрировался без постоянной составляющей. Расчетная мощность светового потока в этой компоновке, как указывалось выше, составляет 36 мкВт. Измерения показали величину 35 мкВт при отношении сигнал/шум 70, пересчитанная мощность шума соответствует 0,5 мкВт, что гораздо выше заявленного порогового значения мощности. Обнаруженное несоответствие связано с шириной полосы пропускания в схеме регистрации сигнала. В этой же схеме при той же мощности излучения АЧТ проведено сравнение с приемником 3А фирмы *Ophir*. Размеры приемных площадок этих приемников практически одинаковы. Разброс полученных измерительных данных до 50 %. Только путем усреднения по 30 измерениям получено значение сигнала в 30 мкВт. В результате измерений был сделан вывод, что уровень шума пироприемника *UM9B-BL-L-DO* ниже, чем уровень шума приемника 3А фирмы *Ophir* не менее чем в 30 раз.

В работе также исследовалась зависимость сигнала приемника от частоты модуляции. При увеличении частоты с 5 до 20 Гц сигнал уменьшается от 1 до 0,65 о. е. Результат можно считать удовлетворительным, учитывая резкий рост шума в области низких частот, которые могут быть отрезаны активным фильтром нижних частот, что улучшит отношение сигнал/шум.

При обработке сигнала переменного тока возможно сузить полосу пропускания и использовать схему синхронного детектирования, что позволит на порядок улучшить пороговые характеристики прибора, приблизив их к декларируемому значению 10 нВт для пироприемника модели *UM9B-BL-L-DO*. С термоэлектрическим измерителем 3А фирмы *Ophir* таких характеристик достичь невозможно из-за большой инерционности прибора.

С целью получения результата, близкого к заявленной производителем величине, была выполнена доработка установки путем использования схемы синхронного детектора. В качестве источника излучения использовался протяженный источник излучения, обладающий хорошей температурной стабильностью (пластина, нагретая до температуры 32 °С). В эксперименте источник периодически помещался перед модулятором, в непосредственной близости от фотоприемника, что позволяло снизить влияние конвективных потоков воздуха. Сигналы усилителя и синхронного детектора показаны на рис. 3.

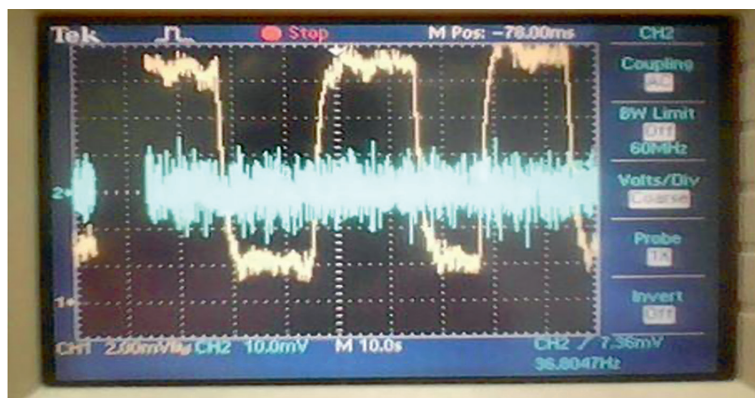


Рис. 3

На оциллограмме представлена запись шумовой дорожки усилителя *APM(D)* и выходного напряжения синхронного детектора. Осциллограф работал в режиме самописца, скорость записи 0,1 дел/с. Сигнал приемника неразличим в шумах. На заведомо большом сигнале была проведена калибровка синхронного детектора. Измеренная разность напряжений составила 10 мВ, что соответствует 220 нВт. Отношение сигнал/шум — в пределах 6–10. Таким образом, шум сигнала составил 22–36 нВт, что является зарегистрированным порогом чувствительности приемника с синхронным детектором, достигнутым в описанном эксперименте.

Синхронный детектор выполнен на двояном операционном усилителе (ОУ) *OP295* по схеме двухполупериодного фазового детектора. На втором ОУ микросхемы собран усилитель

постоянного тока с коэффициентом усиления $K = 10$, поскольку напряжение шума синхронного детектора невозможно измерить непосредственно осциллографом TDS 2002. В качестве ключа использован „идеальный“ ключ на герконе, управляемый магнитами, укрепленными попарно на лепестках диска модулятора. Частота модуляции составила 5 Гц; постоянная времени простого интегратора — 2 с.

Эксперимент подтвердил хорошие эксплуатационные характеристики пироприемника UM9B-BL-L-DO. Однако из-за высокой чувствительности к помехам было трудно добиться стабильных результатов измерений. Анализ результатов эксперимента показал, что описанная схема зарекомендовала себя как простой и надежный инструмент для реализации экспресс-метода измерения чувствительности неселективных приемников излучения. В работе представлены результаты исследований пороговых характеристик пироэлектрических приемников с целью определения реально достижимых возможностей приборов в нормальных климатических условиях. Установлено, в частности, что задекларированные изготовителем характеристики приемника UM9B-BL-L-DO могут быть достигнуты лишь при использовании схемы синхронного детектирования.

Закключение. В работе экспериментально подтверждена возможность измерения пороговой чувствительности пироэлектрических приемников в нормальных климатических условиях с помощью предложенной компактной схемы измерений, содержащей единственный оптический элемент — ограничивающую диафрагму. Схема измерения основана на использовании проекционной системы типа камеры-обскуры. Предложенная схема измерений отличается предельной простотой и позволяет минимизировать ошибки измерений благодаря отсутствию оптических элементов, искажающих энергетические и спектральные характеристики излучения, а также отсутствию искажения сигнала при распространении излучения в воздухе за счет компактности измерительной схемы. К важным свойствам предложенной схемы относятся построение изображения с одновременным подавлением световой мощности на несколько порядков при отсутствии спектральной зависимости и возможность изменения масштаба изображения простым перемещением диафрагмы между источником света и приемником.

Предложенная компактная схема измерительной установки актуальна для реализации экспресс-метода определения пороговой чувствительности пироприемников. Рекомендуется использовать ее в случае отсутствия эксплуатационной документации (паспорта), что часто имеет место для изделий зарубежного производства. Знание пороговой чувствительности приемника излучения крайне важно на предварительной стадии проектировании измерительных приборов и стендов, когда отсутствуют специализированные метрологические измерительные установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисова М. Э. Активные диэлектрики: Учеб. пособие. СПб, 2012. 82 с.
2. Вьюхин В. Н., Иванов С. Д. Регистрация маломощных наносекундных импульсов излучения приемником на основе тонкопленочной пироэлектрической структуры // Автометрия. 2018. Т. 54, № 5. С. 94–98.
3. Иванов С. Д., Косцов Э. Г. Быстродействующий неохлаждаемый тепловой приемник ИК-излучения // Интерэкспо Гео Сибирь. 2017 [Электронный ресурс]: <<https://cyberleninka.ru/article/n/byatrodeystvuyuschiy-neohlazhdaemyy-teplovoy-priemnik-ik-izlucheniya/viewer/>>.
4. Иванов С. Д., Косцов Э. Г. Пироприемник теплового излучения неохлаждаемых мегапиксельных тепловизионных матриц (Обзор) // Успехи прикладной физики. 2017. Т. 5, № 2. С. 136–154.
5. Гибин И. С., Колесников Г. В. Современные устройства измерения параметров и комплексного тестирования инфракрасных ФПУ и приборов (обзор) // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2, № 3. С. 293–302.
6. Гулаков И. Р., Зеневич А. О., Новиков Е. В., Кочергина О. В., Лагутин А. А. Исследование характеристик матричных лавинных фотоприемников в режиме счета фотонов // Успехи прикладной физики. 2021. Т. 9, № 3. С. 216–223. DOI: 10.51368/2307-4469-2021-9-3-216-223.
7. Андосов А. И., Батшева А. А., Полесский А. В., Тресак В. К., Хамидулин К. А. Методы измерения размера фоточувствительной площадки, неравномерности чувствительности и коэффициента фотоэлектрической связи (обзор) // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6, № 2. С. 149–156.

8. Чуки́та В. И., Сенокосов Э. А., Фе́щенко В. С. Стенд для исследования позиционно-чувствительного фотоприемника // Российский технологический журнал. 2019. Т. 7, № 3. С. 69–76. DOI: 10/32362/2500-316X-2019-7-3-69-76.
9. Батш́ева А. А., Кузнецов В. Ю., Полесский А. В., Тресак В. К. Универсальная зондовая установка для межоперационного контроля фотоэлектрических характеристик фотоприемников // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6, № 1. С. 68–74.
10. Кува́лдин Э. В., Шульга А. А. Осветитель установки измерения пороговой мощности и энергии оптического излучения // Оптический журнал. 2017. Т. 84, № 2. С. 52–58.
11. Пат. РФ 2689457. Стенд измерения параметров тепловизионных каналов / Р. Р. Агафонова, М. Н. Батавин, Д. В. Куликов, А. В. Мингалев, С. Н. Шушарин. 2019. Б.И. № 16.
12. Пат. РФ 2507495. Способ контроля параметров оптико-электронных систем в рабочем диапазоне температур / В. М. Демидов, А. Л. Логутко, Е. Н. Федонов. 2014. Б.И. № 5.
13. Гулаков И. Р., Зеневич А. О., Кочергин А. О. Спектральные характеристики кремниевых фотоэлектрических умножителей // Успехи прикладной физики. 2021. Т. 9, № 2. С. 164–171. DOI: 10.51368/2307-4469-2021-9-164-171.
14. Полесский А. В., Соломонова Н. А. Влияние пространственной неоднородности абсолютно черного тела на результаты измерения параметров фотоприемных устройств второго поколения с „холодной“ диафрагмой // Успехи прикладной физики. 2020. Т. 8, № 2. С. 148–154.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Анатолий Федорович Аушев** — НИИ ОЭП; ст. науч. сотр.; E-mail: tom@sbor.net
Лариса Александровна Глущенко — канд. физ.-мат. наук; НИИ ОЭП; вед. науч. сотр.;
 E-mail: Gla2016@rambler.ru

Поступила в редакцию 18.05.2023; одобрена после рецензирования 15.01.2024; принята к публикации 16.04.2024.

REFERENCES

1. Borisova M. E. *Aktivnyye dielektriki* (Active Dielectrics), St. Petersburg, 2012, 82 p. (in Russ.)
2. V'yukhin V. N., Ivanov S. D. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2018, no. 5(54), pp. 502–505.
3. <https://cyberleninka.ru/article/n/byatrodeystvuyuschiy-neohlazhdaemyy-teplovoy-priemnik-ik-izlucheniya/viewer/>. (in Russ.)
4. Ivanov S. D., Kostsov E. G. *Advances in Applied Physics*, 2017, no. 2(5), pp. 136–154. (in Russ.)
5. Gibin I. S., Kolesnikov G. V. *Advances in Applied Physics*, 2014, no. 3(2), pp. 293–302. (in Russ.)
6. Gulakov I. R., Zenevich A. O., Novikov E. V., Kochergina O. V., Lagutik A. A. *Advances in Applied Physics*, 2021, no. 3(9), pp. 216–223, DOI: 10.51368/2307-4469-2021-9-3-216-223. (in Russ.)
7. Andosov A. I., Batsheva A. A., Polesskiy A. V., Tresak V. K., Khamidullin K. A. *Advances in Applied Physics*, 2018, no. 2(6), pp. 149–156. (in Russ.)
8. Chukita V. I., Senokosov E. A., Feshchenko V. S. *Rossiiskii Tekhnologicheskii Zhurnal*, 2019, no. 3(7), pp. 69–76, DOI: 10/32362/2500-316X-2019-7-3-69-76. (in Russ.)
9. Batsheva A. A., Kuznetsov V. Y., Polesskiy A. V., Tresak V. K. *Advances in Applied Physics*, 2018, no. 1(6), pp. 68–74. (in Russ.)
10. Kuvaldin E. V., Shul'ga A. A. *Journal of Optical Technology*, 2017, no. 2(84), pp. 108–112.
11. Patent RU 2689457, *Stend izmereniya parametrov teplovizionnykh kanalov* (Stand for Measuring Parameters of Thermal Imaging Channels), R. R. Agafonova, M. N. Batavin, D. V. Kulikov, A. V. Mingalev, S. N. Shusharin, Published 2019, Bulletin 16. (in Russ.)
12. Patent RU 2507495, *Sposob kontrolya parametrov optiko-elektronnykh sistem v rabochem diapazone temperature* (A Method for Monitoring the Parameters of Optical-Electronic Systems in the Operating Temperature Range), V. M. Demidov, A. L. Logutko, E. N. Fedonov, Published 2014, Bulletin 5. (in Russ.)
13. Gulakov I. R., Zenevich A. O., Kochergina O. V. *Advances in Applied Physics*, 2021, no. 2(9), pp. 164–171, DOI: 10.51368/2307-4469-2021-9-164-171. (in Russ.)
14. Polesskiy A. V., Solomonova N. A. *Advances in Applied Physics*, 2020, no. 2(8), pp. 148–154. (in Russ.)

DATA ON AUTHORS

- Anatoly F. Aushev** — Research Institute of Optical-Electronic Instrumentation; Senior Researcher; E-mail: tom@sbor.net
Larisa A. Glushchenko — PhD; Research Institute of Optical-Electronic Instrumentation; Leading Researcher; E-mail: Gla2016@rambler.ru

Received 18.05.2023; approved after reviewing 15.01.2024; accepted for publication 16.04.2024