

DOI: 10.17586/1023-5086-2024-91-09-53-62

УДК 535.8, 535-15, 535-92, 535.31

Построение составных излучателей для зеркальных коллиматоров

Андрей Владимирович Нужин¹,
Вячеслав Викторович Пронин²✉

Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, Сосновый Бор
Ленинградской обл., Россия

¹nuzhin@mail.ru <https://orcid.org/0009-0006-5497-7484>

²wwp-niiki@rambler.ru <https://orcid.org/0000-0003-1113-7486>

Аннотация

Предмет исследования. Возможность построения составного источника излучения для применения в составе зеркального коллиматора. **Цель работы.** Создание конструктивно простого излучателя коллиматора, предназначенного для настройки и юстировки оптико-электронной системы наблюдения в видимой и инфракрасной областях спектра. Излучатель должен обеспечивать одновременный выход излучения требуемых спектральных интервалов с площадки заданного размера и возможностью расположения этой площадки на фоне с температурой ниже температуры окружающей среды. **Метод.** Используются методы и положения теоретической и прикладной оптики. **Основные результаты.** Разработан и исследован конструктивно простой излучатель видимого и инфракрасного диапазонов спектра с выходом излучения из одной точки охлаждаемой диафрагмы. Исследованы свойства созданного излучателя. **Практическая значимость.** Созданный излучатель нашел применение в составе зеркального коллиматора при настройке с его помощью системы наблюдения с двумя приемными каналами. Использование предложенной модели упрощает процедуру настройки, дает возможность выполнять ее одновременно в разных спектральных интервалах. Процесс изготовления излучателя прост и не требует специального оборудования.

Ключевые слова: юстировка и настройка многоканальной оптико-электронной системы, составной источник излучения, видимый и инфракрасный диапазоны, зеркальный коллиматор, чип-резистор, элемент Пельтье, светодиод

Благодарность: экспериментальные исследования проведены на оборудовании и стендах АО НИИ ОЭП.

Ссылка для цитирования: Нужин А.В., Пронин В.В. Построение составных излучателей для зеркальных коллиматоров // Оптический журнал. 2024. Т. 91. № 9. С. 53–62. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-09-53-62>

Код OCIS: 120.4630

Constructing of composite radiation sources for mirror collimators

ANDREY V. NUZHIN¹, VIACHESLAV V. PRONIN²✉

Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering, Sosnovy Bor,
Leningrad region, Russia

¹nuzhin@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0006-5497-7484>

²wwp-niiki@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1113-7486>

Abstract

Subject of study. The possibility of constructing a composite radiation source for use as part of a mirror collimator was investigated. **Aim of study.** Creation of a structurally simple radiation source of collimator intended for adjustment and alignment of the optoelectronic observation system in the visible and infrared spectral ranges. In addition, the source should provide simultaneous output of radiation of the required spectral intervals from the area of a given size and the possibility of locating this area on a background with a temperature lower than the ambient temperature. **Method.** The methods and positions of theoretical and applied optics were used. **Main results.** A structurally simple radiation source of visible and infrared ranges with the output of radiation from one point of the cooled aperture was developed and researched. The properties of the created source were investigated. **Practical significance.** The created source has found application as part of a mirror collimator when adjusting an observation system with two receiving channels. The use of the proposed model simplifies the adjusting and alignment procedure, makes it possible to perform it simultaneously in different spectral ranges. The process of manufacturing the radiation source is simple and does not require special equipment.

Keywords: adjustment and alignment of a multichannel optoelectronic system, composite radiation source, visible and infrared ranges, mirror collimator, chip-resistor, Peltier element, light emitting diode

Acknowledgment: experimental studies were carried out on the equipment and stands of Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering.

For citation: Nuzhin A.V., Pronin V.V. Constructing of composite radiation sources for mirror collimators [in Russian] // Opticheskii Zhurnal. 2024. V. 91. № 9. P. 53–62. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2024-91-09-53-62>

OCIS code: 120.4630

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы наблюдения за удаленными объектами и лазерные локационные системы часто содержат несколько отдельных приемных каналов, работающих в видимой и инфракрасной (ИК) областях спектра. Ряд приборов с различными наблюдательными и лазерными каналами, включая тенденции их совершенствования, представлен в публикации [1]. При юстировке и контроле таких систем решаются задачи, частично приведенные в работе [2]. Это согласование осей всех наблюдательных и лазерных каналов, проверка качества построения изображения в каждом канале и определение координат удаленного объекта при его перемещении в поле зрения каждого канала системы.

Перечисленные выше задачи решаются в основном с использованием зеркальных коллиматоров, позволяющих имитировать одиночный малоразмерный удаленный объект, излучающий в широкой области спектра. Изображения этого объекта должны наблюдаться во всех приемных каналах наблюдательной системы. Иногда к температуре фона, на котором должен располагаться объект, предъявляются дополнительные требования. Для большинства юстировочных задач можно использовать простейшие тест-объекты в виде круглых диафрагм.

Подсветка тест-объектов чаще всего выполняется лампами накаливания в сочетании со светофильтрами, выделяющими требуемый спектральный интервал и при необхо-

димости ослабляющими излучение [3], а для ИК каналов могут применяться отдельные источники ИК излучения [4].

Известны устройства, суммирующие излучение разного спектрального состава и обладающие рядом достоинств, но, вместе с тем, достаточно сложные по своей конструкции [5–7]. Однако, как будет показано в работе, в случае тест-объектов в виде круглых диафрагм возможны относительно простые варианты подсветки с использованием светодиодов и резистора в качестве ИК источника при необходимости с «холодным» фоном вокруг них.

Целью данной работы является создание конструктивно простого излучателя коллиматора, предназначенного для настройки и юстировки оптико-электронной системы наблюдения в видимой и ИК областях спектра. Излучатель должен обеспечивать одновременный выход излучения требуемых спектральных интервалов с площадки заданного размера и возможностью расположения этой площадки на фоне с температурой ниже температуры окружающей среды.

В статье рассматриваются схемы составных излучателей для использования в коллиматорах, предназначенных для настройки и контроля многоканальных наблюдательных и лазерных локационных систем. Приводятся рекомендации по выбору параметров коллиматора и результаты экспериментов с излучателями различных конструкций.

ТРЕБОВАНИЯ К ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

При выборе диаметра диафрагм следует отметить целесообразность ограничения ее минимального рабочего диаметра.

Поясним это обстоятельство. Коллиматор не должен вносить искажений в качество изображения, которое строит объектив приемного канала. Отсутствие искажений гарантируется, когда коллиматор обладает практически дифракционным качеством, а его дифракционная разрешающая способность выше разрешающей способности контролируемых приемных каналов, т.е. выполняется условие

$$\alpha_c < \alpha_{\text{тс}}, \quad (1)$$

где α_c — угловая разрешающая способность объектива коллиматора, $\alpha_{\text{тс}}$ — угловая разре-

шающая способность контролируемого приемного канала.

Угловая дифракционная разрешающая способность объектива α_c определяется в соответствии с известной формулой

$$\alpha_c = \frac{1,22\lambda}{D_c}, \quad (2)$$

где D_c — диаметр входного зрачка объектива, λ — рабочая длина волны излучения.

В соответствии с требованиями к настройке приемных каналов, имеющих размер входного зрачка в диапазоне 50–150 мм и относительное отверстие от 1:2 до 1:4, целесообразно использовать коллиматор с объективом в виде внеосевого параболического зеркала диаметром 250–350 мм и фокусным расстоянием не менее 1500 мм [8]. В этом случае коллиматор не будет ограничивать рабочий диаметр объективов приемных каналов, а тест-объект будет изображаться в каждом приемном канале с уменьшением не менее 2,5×. Далее, задав для ориентировочной оценки длину волны $\lambda = 10$ мкм и диаметр зеркала 300 мм, с учетом условия (2) получаем $\alpha_c = 4 \times 10^{-5}$ рад. Этому углу в плоскости тест-объекта соответствует отверстие, радиус которого составляет 60 мкм. Из этого следует важный вывод, что в тест-объектах ИК коллиматоров с указанными параметрами нецелесообразно использовать одиночные излучающие элементы диаметром менее 120 мкм.

Для успешной работы коллиматора помимо высоких требований к качеству формы параболической поверхности следует обеспечить равномерное распределение облученности по зрачку коллиматора. С позиций геометрической оптики при $d_{\text{тс}} \ll f$ ($d_{\text{тс}}$ — диаметр отверстия тест-объекта, f — фокусное расстояние объектива коллиматора) близкое к равномерному распределение для объективов с малым относительным отверстием ($D_c/f < 1/4$ – $1/10$) легко обеспечивается источниками, установленными вблизи тест-объекта и имеющими расходящуюся, которая позволяет заполнить излучением весь зрачок объектива коллиматора, как это показано на рис. 1.

Однако здесь следует помнить о возможном влиянии на распределение облученности дифракции излучения на краях тест-объекта. Оно возрастает по мере удаления источника

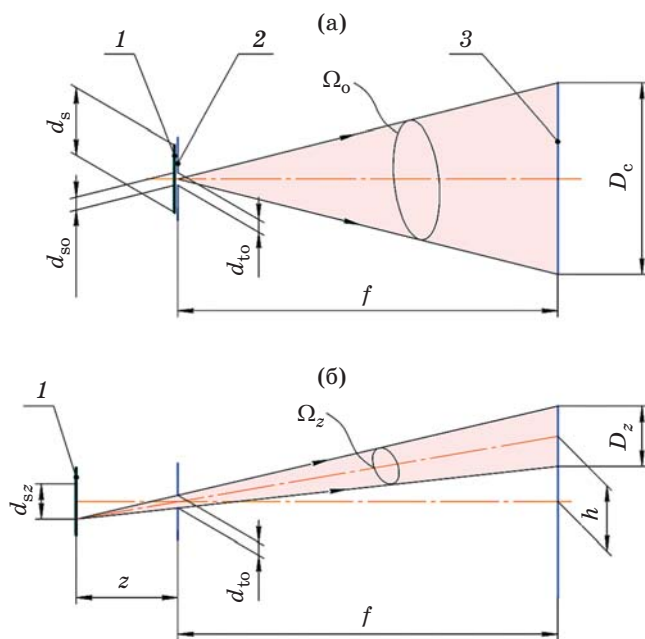


Рис. 1. Схемы расположения источника относительно диафрагмы. Источник совмещен с тест-объектом (а) и источник удален от плоскости тест-объекта (б). 1 — излучающая поверхность источника излучения, 2 — тест-объект с круглым отверстием, 3 — зрачок объектива коллиматора.

Пояснения в тексте

Fig. 1. Schemes of the source location relative to the aperture. (a) The source is combined with the test object, (b) the source is removed from the plane of the test object. (1) Emitting surface of the radiation source, (2) test-object with a round aperture, (3) pupil of the collimator objective. Explanations are in the text

от тест-объекта. В распределении облученности по зрачку объектива коллиматора возникают некоторые отклонения от требуемой равномерности распределения, оценка которых выливается в отдельную дифракционную задачу с протяженным некогерентным источником. На практике влияние дифракции можно свести к нулю введением в состав схемы матированной пластины, прозрачной в видимой и ИК областях спектра (например, из кристаллических материалов CaF_2 , BaF_2 или ZnSe) и выполняющей роль вторичного источника. Пластины следует установить, придвинув как можно ближе к плоскости тест-объекта. При этом приходится мириться с тем, что она поглощает часть излучения, а возможная неоднородность материала пластины будет искажать изображение тест-объекта.

ВАРИАНТЫ КОНСТРУКТИВНОГО ПОСТРОЕНИЯ СОСТАВНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Рассмотрим варианты подсветки диафрагм. Подсветку можно осуществлять, последовательно сменяя источники, или суммировать излучение от разных источников, используя спектроделительные оптические элементы. В первом случае отсутствует возможность одновременно контролировать работу приемных каналов в разных участках спектра. Во втором случае приходится применять пластины со сложными спектроделительными покрытиями, а также могут возникать большие потери оптического излучения.

Рассмотрим варианты построения предлагаемого составного излучателя.

Схема первого варианта представлена на рис. 2.

В фокальной плоскости объектива коллиматора размещается диафрагма. В непосредственной близости к диафрагме под углом 45° к оси объектива коллиматора располагается тепловой излучатель. Светодиод установлен так, что ось его диаграммы рассеяния составляет 45° с поверхностью ИК излучателя. В качестве излучателя используется чип-резистор, поверхность которого выполнена шероховатой.

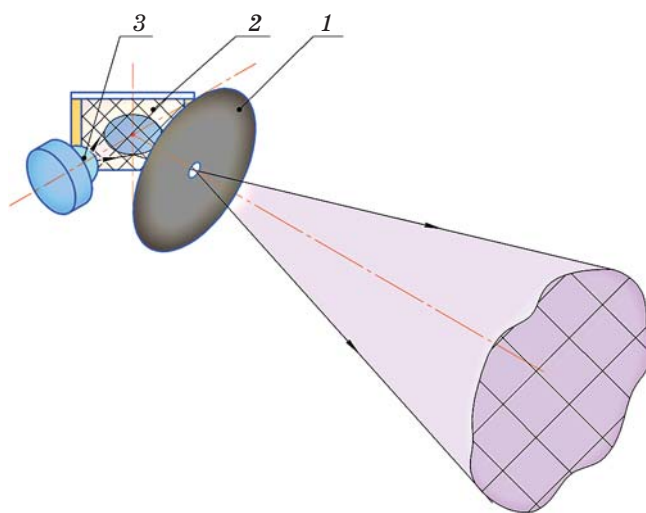


Рис. 2. Схема построения составного излучателя с использованием отражения от поверхности излучателя. 1 — точечная диафрагма, 2 — ИК излучатель, 3 — светодиод

Fig. 2. Scheme of composite radiation source construction using reflection from the emitter surface. (1) Point aperture, (2) infrared emitter, (3) light emitting diode

Из рис. 2 видно, что излучение светодиода после отражения от поверхности резистора попадает в отверстие диафрагмы, пройдя которое направляется в объектив коллиматора расходящимся пучком.

Инфракрасное излучение от резистора является ненаправленным и часть его также попадает в отверстие диафрагмы, а затем — в объектив коллиматора.

При удалении источника от плоскости диафрагмы в приближении геометрической оптики практически не происходит изменение потока излучения, попадающего в зрачок объектива коллиматора. Обратимся к рис. 1.

Если источник совмещен с тест-объектом (рис. 1а), то поток излучения, попадающий в зрачок объектива, определяется телесным углом Ω_0 и частью площади источника, ограниченной диаметром $d_{so} = d_{to}$. По мере удаления источника от плоскости тест-объекта (рис. 1б) происходит уменьшение телесного угла до размера Ω_z , в пределах которого излучение от каждой точки источника попадает в объектив коллиматора. Однако одновременно с этим увеличивается рабочая площадь источника до размера d_{sz} .

Для вариантов расположения тест-объекта, приведенных соответственно на рис. 1а и 1б, имеем

$$(a) \quad \Omega_0 = \frac{\pi D_c^2}{4f^2}, \quad d_{so} = d_{to}, \quad A_{so} = \frac{\pi d_{to}^2}{4}, \quad (3)$$

$$(б) \quad \Omega_z = \frac{\pi d_{to}^2}{4z^2}, \quad d_{sz} = \frac{D_c z - d_{to}(z + f)}{f}, \quad (4)$$

$$A_{sz} = \frac{\pi d_{sz}^2}{4}.$$

Формулы для варианта (б) получены в приближении $z \gg d_{to}$, когда излучением из узкой кольцевой зоны, диаметр которой больше d_{sz} , можно пренебречь. Тогда поток излучения Φ_e , попадающий в объектив коллиматора, можно вычислять по формуле

$$\Phi_e = L_e \Omega A, \quad (5)$$

где L_e — энергетическая яркость источника, Ω — используемый телесный угол источника, A — используемая часть площади источника.

Для коллиматора, у которого $D_c = 300$ мм, $f = 1500$ мм, $d_{to} = 0,12$ мм, $z = 10$ мм, расчет по формуле (5) для вариантов (а) и (б) дает несущественное различие в пределах 10%. Этим также подтверждается допустимость построения схем коллиматоров со смещенным из фокальной плоскости источником излучения без ухудшения энергетических характеристик коллиматора в приближении геометрической оптики.

Схема, представленная на рис. 2, была реализована при построении источника излучения для работы в составе коллиматора в видимой и ИК областях спектра, на который получен Патент РФ [9]. Она содержит минимальное число оптических элементов и проста в реализации. Потери излучения светодиода определяются в основном коэффициентом отражения от поверхности теплового излучателя, а самого теплового излучателя — размерами участка поверхности, с которого излучение будет попадать в объектив коллиматора, и его коэффициентом излучения. Коэффициент диффузного отражения на длине волны излучения светодиода 660 нм измерялся на спектрофотометре СФ-56 и составил 0,05 о.е. Интегральный коэффициент излучения поверхности ИК излучателя в диапазоне длин волн 3–14 мкм оценивался на спектрометре ФСМ 2201, укомплектованном приставкой диффузного отражения и образцом сравнения, и составил 0,94 о.е. Измерения проводились по методике, изложенной в публикации [10]. Спектральная плотность энергетической светимости $M_e(\lambda)$ при температуре 125 °С измерялась с помощью монохроматора МДР-23, оснащенного соответствующими дифракционными решетками, в диапазоне 3–14 мкм. Полученная зависимость представлена на рис. 3 вместе с теоретически рассчитанной кривой для абсолютно черного тела при температуре 125 °С.

На рис. 4 представлена схема второго варианта построения составного излучателя, дополненная элементами, создающими «холодный» фон вокруг излучающей площадки.

Корпус излучателя выполнен в виде прямоугольной пластины из алюминиевого сплава с высокой теплопроводностью. В центре пластины имеется ступенчатое отверстие, в котором установлены тепловой излучатель и диафрагма. Тепловой излучатель с тыльной

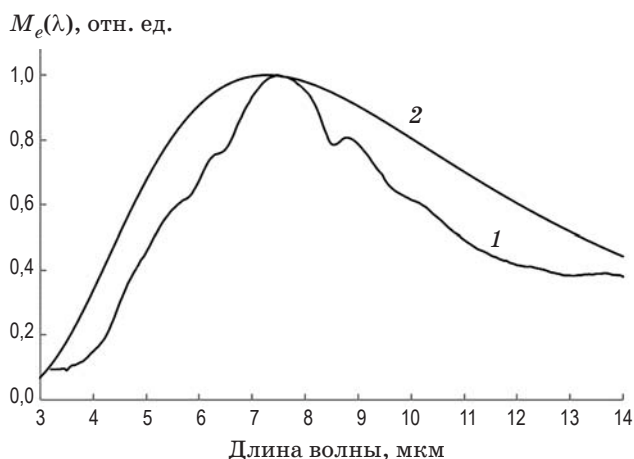


Рис. 3. Экспериментально измеренная (1) и расчетная для абсолютно черного тела при температуре 125 °С (2) спектральные плотности энергетической светимости нагретого чип-резистора

Fig. 3. Spectral densities of the energy luminosity for the heated chip resistor (1) experimentally measured, (2) calculated for black body at 125 °C

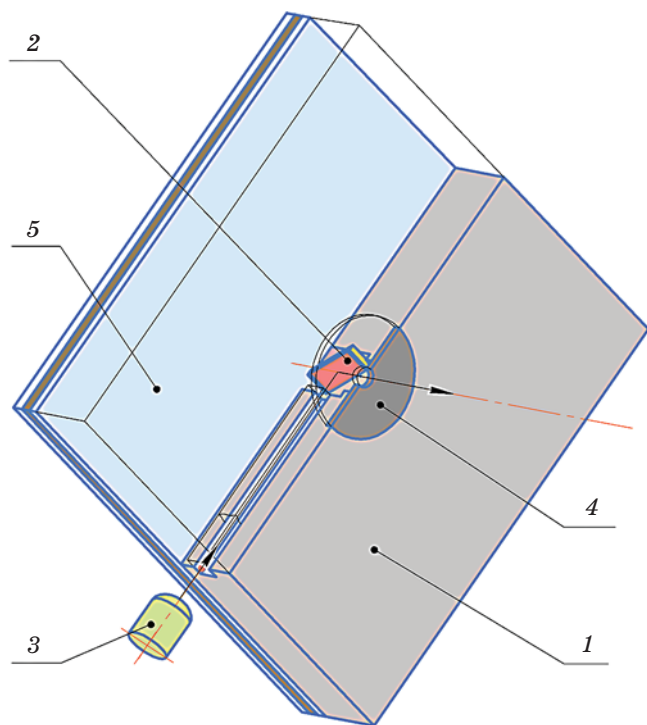


Рис. 4. Схема составного излучателя с «холодным» фоном. 1 — корпус излучателя, 2 — ИК излучатель, 3 — светодиод, 4 — точечная диафрагма, 5 — элемент Пельтье

Fig. 4. Scheme of the composite radiation source with a «cold» background. (1) Radiation source housing, (2) infrared emitter, (3) light emitting diode, (4) point aperture, (5) Peltier element

стороны зафиксирован в отверстии с помощью герметика с низкой теплопроводностью, а диафрагма — с помощью теплопроводной пасты. Пластина содержит также полый прямоугольный световодный канал, по которому в диафрагму поступает излучение от светодиода. Сам корпус через слой теплопроводной пасты установлен на элемент Пельтье.

Корпус излучателя охлаждается элементом Пельтье, образуя вокруг отверстия диафрагмы «холодный» фон. Температурой фона можно в определенных пределах управлять, изменяя подаваемое на элемент напряжение и обеспечивая хороший теплоотвод с его тыльной «горячей» стороны. Температура поверхности контролируется посредством установленного на корпус термодатчика [11, 12].

В соответствии с рис. 3 и 4 были собраны и экспериментально проверены макеты излучателя. В обоих макетах использовался миниатюрный чип-резистор для поверхностного монтажа (SMD) с габаритными размерами 6,3×3,9 мм (типоразмер 2512). Поверхность защитного слоя чип-резистора была дополнительно обработана микропорошком зернистости Р600 (М7 по ГОСТ 3647-80) [13] до получения шероховатой диффузно отражающей поверхности. Полученная шероховатость наиболее равномерно рассеивает излучение видимого диапазона при углах падения, близких к 45° [14, 15].

Излучение видимого диапазона формировалось светодиодом L - 1513SRC-J4 производства *Kingbright Electronic Co, Ltd* [16]. Длина волны максимума интенсивности его излучения 660 нм при спектральной ширине линии 20 нм. Во втором макете использовался термомодуль TEC1-12715 с размером рабочей поверхности 40×40 мм производства компании «Криотерм» [13] и корпус из алюминиевого сплава толщиной 6 мм. Излучение светодиода попадало на отражающую поверхность резистора по каналу сечением 3×3 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В экспериментах регистрация видимого излучения выполнялась камерой *Basler 2040-55um* с цифровым 8-битным выходным сигналом, оснащенной объективом с фокусным расстоянием 8 мм. В ИК диапазоне для получе-

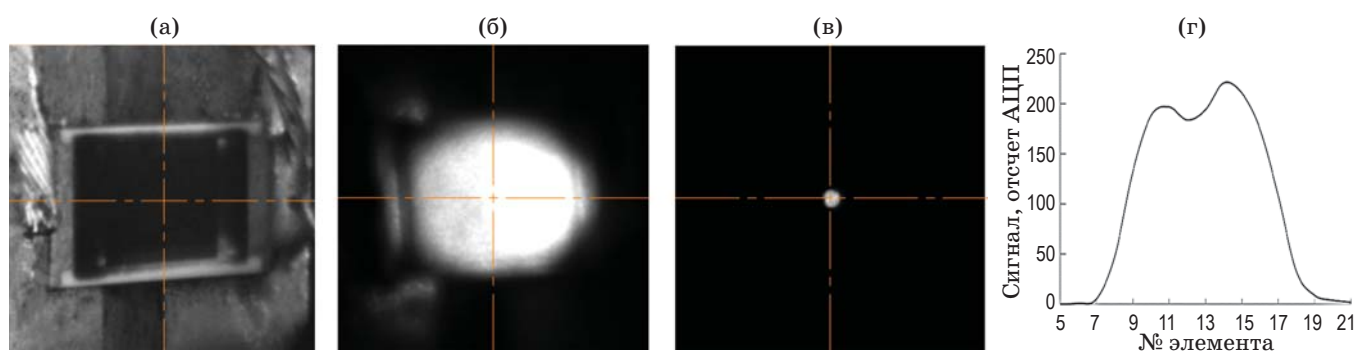


Рис. 5. Внешний вид фрагмента макета и профиль уровня сигнала. Резистор при снятой диафрагме без освещения светодиоидом (а) и с освещением светодиоидом (б), диафрагма, освещаемая отраженным от резистора излучением светодиода (в), профиль уровня сигнала с выхода 8-битного аналогово-цифрового преобразователя камеры, центральное сечение (г)

Fig. 5. Appearance of the radiation source layout fragment and signal level profile. (a) Resistor with the aperture removed without light emitting diode illumination, (б) with light emitting diode illumination, (в) aperture illuminated by light emitting diode radiation reflected from the resistor, (г) signal level profile from the output of the 8-bit analog-to-digital converter of the camera, center cross section

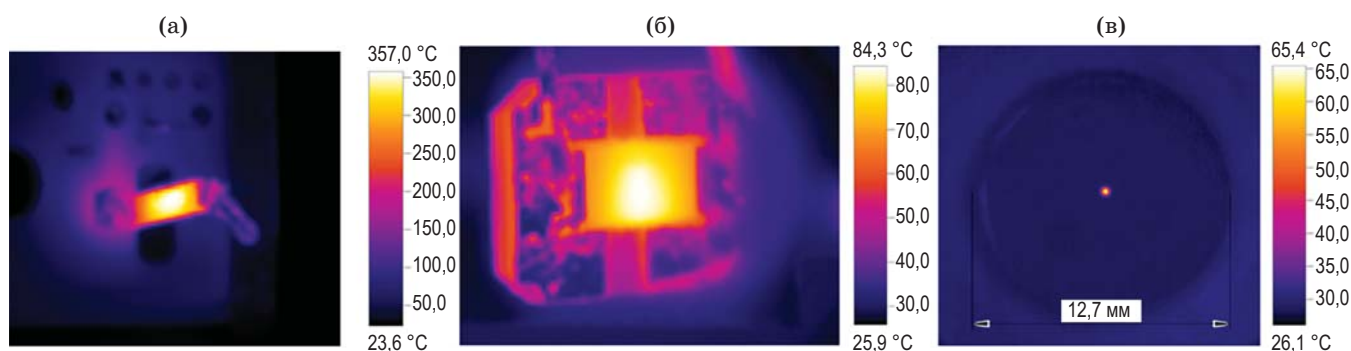


Рис. 6. Термограммы ИК излучателя, рассеивающего мощность 4 Вт, без диафрагмы (а), рассеивающего мощность 0,5 Вт без диафрагмы (б), рассеивающего мощность 0,5 Вт с установленной перед ним диафрагмой диаметром 0,3 мм (в)

Fig. 6. Infrared emitter thermograms (a) dissipating 4 W power without aperture, (б) dissipating 0.5 W power without aperture, (в) dissipating 0.5 W power with 0.3 mm diameter aperture installed in front of it

ния термограмм использовался тепловизор *Testo 882* с объективом, имеющим фокусное расстояние 15 мм, и дополнительной насадкой (линза из германия с фокусным расстоянием 145 мм) для макросъемки.

На рис. 5 представлен внешний вид фрагмента первого макета — резистора при снятой диафрагме без освещения и с освещением светодиоидом, а также при установленной диафрагме. Изображения получены камерой *Basler* с расстояния 100 мм с последующей одинаковой обрезкой полученных изображений. Рисунок 5г демонстрирует сечение распределения облученности в плоскости диа-

фрагмы диаметром 0,3 мм. На рис. 6 приведены термограммы теплового источника без диафрагмы и с установленной диафрагмой, а на рис. 7 — профили температурного распределения теплового источника без диафрагмы и с диафрагмами диаметром 0,3 и 0,15 мм.

В ходе проведения экспериментов была достигнута температура поверхности резистора 315 °C при потребляемой электрической мощности 4 Вт. Термограмма источника в таком режиме приведена на рис. 6а. Максимум кривой спектральной плотности энергетической светимости приходится в этом случае на $\lambda = 4,9$ мкм.

Однако резисторы в обычном исполнении, согласно требованиям к условиям эксплуатации электронных компонентов, должны использоваться при температурах, не превышающих 125 °С.

На рис. 6б приведена термограмма резистора без диафрагмы при рассеиваемой мощности 0,5 Вт. Его максимальная температура составляет 84,2 °С, соответствующий максимум излучения лежит на $\lambda = 8,13$ мкм, спектральный диапазон по уровню 10% находится в пределах 3,5–27,2 мкм.

Поток излучения через диафрагму диаметром 0,3 мм будет эквивалентен температуре

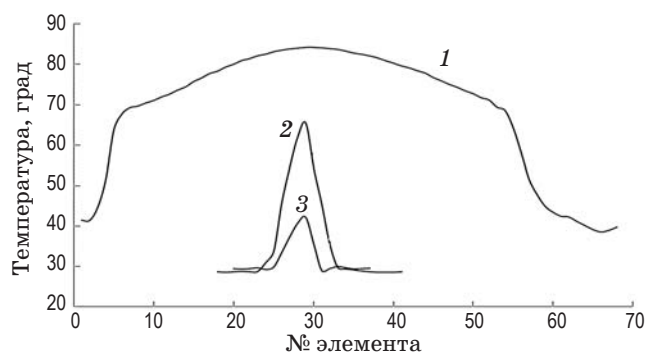


Рис. 7. Температурные профили ИК излучателя, рассеивающего мощность 0,5 Вт, без диафрагмы (1), с диафрагмами диаметром 0,3 (2) и 0,15 мм (3)

Fig. 7. Infrared emitter temperature profiles dissipating 0.5 W power (1) without an aperture, with apertures a diameters (2) 0.3, (3) 0.15 mm

в плоскости диафрагмы, равной 65,4 °С, а через диафрагму 0,15 мм — температуре 42,1 °С.

Следует отметить, что результаты измерения температуры резистора контактным датчиком и тепловизором совпадают при отсутствии ограничивающей диафрагмы. Установка диафрагм между резистором и тепловизором приводит к уменьшению регистрируемого потока излучения, что воспринимается как уменьшение температуры в плоскости диафрагмы и согласуется с положениями, изложенными в работе [17]. Поэтому для оценки температуры в плоскости диафрагмы желательно пользоваться тепловизором с соответствующей функцией.

На рис. 8 приведены термограммы второго макета, собранного при использовании элемента Пельтье, создающего «холодный» фон, на рис. 9 — температурные профили при диафрагмах разного диаметра.

Отношение диаметров диафрагм обоих вариантов исполнения составного излучателя равно 2 (0,3 и 0,15 мм — первый вариант и 0,4 и 0,2 мм — второй вариант с «холодным» фоном). Соотношения температур, эквивалентных потоку через эти диафрагмы, остаются практически постоянными при уменьшении диаметра диафрагмы.

Как показано в работе [12], в лабораторных условиях температура фона может быть установлена ниже 0 °С и изменяться приложением управляющего напряжения. Реализация таких условий требует теплоотвода от «го-

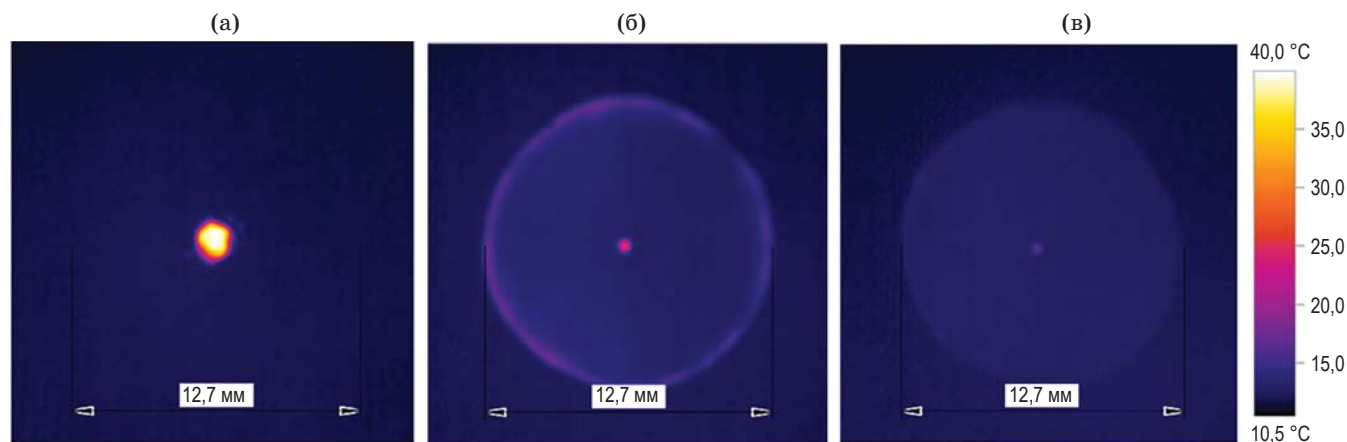


Рис. 8. Термограммы ИК излучателя, рассеивающего мощность 1 Вт, с диафрагмами диаметром 2 (а), 0,4 (б), 0,2 (в) мм на фоне с температурой 10 °С

Fig. 8. Infrared emitter thermograms dissipating power of 1 W with apertures a diameters (a) 2, (б) 0.4, (в) 0.2 mm on the background at temperature of 10 °С

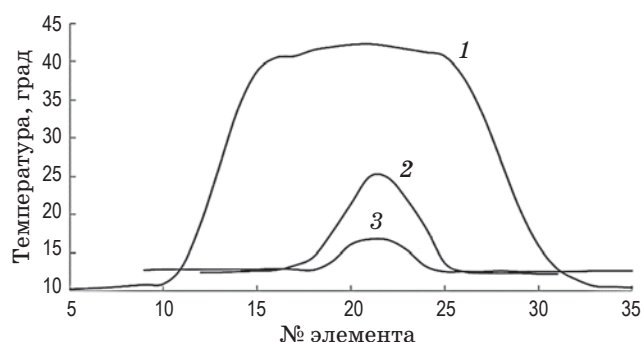


Рис. 9. Температурные профили ИК излучателя на «холодном» фоне с диафрагмами диаметром 2 (1), 0,4 (2), 0,2 (3) мм

Fig. 9. Infrared emitter temperature profiles of an against a “cold” background with apertures with a diameter of (1) 2, (2) 0.4, (3) 0.2 mm

рячей» стороны элемента Пельтье, что не трудно осуществить в рамках лаборатории. В ходе выполнения данной работы «холодная» сторона элемента охлаждалась до 10 °С при температуре окружающей среды 22 °С. При этом температура источника излучения, контролируемая с помощью тепловизора, составляла от 17 до 42 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По разработанным схемам излучателей и результатам выполненных с ними экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Фокальный узел коллиматора, в котором поверхность ИК излучателя дополни-

тельно используется как диффузный отражатель для видимого излучения, позволяет одновременно выводить видимое и ИК излучения через одну диафрагму. Узел прост в реализации, не содержит сложных оптических элементов, допускает юстировку в составе зеркального коллиматора только в видимой области спектра.

2. Экспериментально подтверждено, что в качестве теплового источника можно использовать резистор SMD-типа, а его поверхность после дополнительной обработки будет работать как диффузный отражатель для излучения видимого диапазона.

3. Температура в плоскости прозрачной части диафрагмы зависит от ее размера и получается ниже температуры поверхности самого теплового излучателя, располагаемого за диафрагмой. При необходимости калибровки излучателя по температуре в плоскости диафрагмы желательно использовать тепловизор. Использование контактных датчиков температуры, устанавливаемых непосредственно на поверхность теплового излучателя, приведет к существенным погрешностям оценки температуры в плоскости диафрагмы.

4. Создание «холодного» фона по предложенной в работе схеме с плоским охлаждаемым корпусом излучателя достаточно легко реализуется на практике и не требует специальных оптических элементов для переноса изображения отдельной «холодной» плоскости в плоскость излучателя.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Медведев А.В., Гринкевич А.В., Князева С.Н. Практика конструктора оптико-электронной техники и техники ночного видения. ОАО «Ростовский оптико-механический завод», 2013. 640 с.
Medvedev A.V., Grinkevich A.V., Knyazeva S.N. Practice of the designer of optoelectronic and night vision equipment [in Russian]. JSC "Rostov Optical and Mechanical Plant", 2013. 640 p.
- Lashmanov O., Nuzhin A. Application of CCDs matrix for alignment of optoelectronic devices with lasers // IEEE Photonics Technol. Lett. 2015. V. 27. Iss. 15. P. 1636–1638. <https://doi.org/10.1109/LPT.2015.2432912>
- Якушенков Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения: учебник. М.: Лорос, 2013. 376 с.
Yakushenkov Y.G. Fundamentals of optoelectronic instrumentation [in Russian]: Textbook. Moscow: "Logos" Publ., 2013. 376 p.
- Chrzanowski K. Testing thermal imagers. Practical guidebook. Warsaw, Poland: Military University of Technology, 2010. 164 p.
- Подкатилин А.Н., Чистяков А.Ю. Устройство контроля, юстировки и сведения оптических осей каналов многоканальных приборов и широкополосный излучатель в видимой и ИК-областях спектра // Патент РФ № RU2511204. Бюл. 2014. № 10.
Podkatilin A.N., Chistyakov A.Yu. Device for control, adjustment and alignment of optical axes of channels of multichannel devices and broadband emitter in the visible and IR spectral regions // RF Patent № RU2511204. Bull. 2014. № 10.
- Солодовников В.В., Лавров А.Ф. Излучающий сумматор // Патент РФ № RU2 172 972. Бюл. 2001. № 24.
Solodovnikov V.V., Lavrov A.F. Radiating adder // RF Patent № RU 2 172 972. Bull. 2001. № 24.
- Барков В.П., Мурашев В.М., Мызников А.Н и др. Устройство для суммирования световой энергии // Патент РФ № RU62 296. Бюл. 2007. № 9.
Barkov V.P., Murashev V.M., Myznikov A.N., et al. Device for summation of light energy // RF Patent № RU62 296. Bul. 2007. № 9.

8. Кирилловский В.К., Точилина Т.В. Оптические измерения. Ч. 5. Аберрации и качество изображения. СПб.: НИУ ИТМО, 2019. 94 с.
Kirillovskiy V.K., Tochilina T.V. Optical measurements [in Russian]. P. 5. Aberrations and image quality. St. Petersburg: NIU ITMO, 2019. 94 p.
9. Нужин А.В., Пронин В.В. Источник излучения в видимой и инфракрасной областях спектра // Патент РФ №RU215046. Бюл. 2022. № 34.
Nuzhin A.V., Pronin V.V. Source of radiation in the visible and infrared regions of the spectrum // RF Patent № RU215046. Bull. 2022. № 34.
10. Старченко А.Н., Сидоровский Н.В., Пронин В.В. Комплекс для измерения спектральных характеристик материалов и покрытий в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Технические средства противодействия терроризму. 2012. № 1–2. С. 29–32.
Starchenko A.N., Sidorovsky N.V., Pronin V.V. Complex for measuring the spectral characteristics of materials and coatings in the ultraviolet, visible and infrared ranges [in Russian] // Defense Technol. Iss. Ser. 16. Technical Means of Countering Terrorism. 2012. № 1–2. P. 29–32.
11. Пронин В.В. Низкотемпературные миры для настройки тепловизионных систем // Оптический журнал 2021. Т. 88. № 7. С. 65–69. <https://doi.org/10.17586/1023-586-2021-88-07-65-69>
Pronin V.V. Low-temperature test objects for alignment of thermal imaging systems // J. Opt. Technol. 2021. V. 88. № 7. P. 397–400. <https://doi.org/10.1364/JOT.88.000397>
12. Шостаковский П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Компоненты и технологии. 2009. № 12. С. 40–46.
Shostakovskiy P.G. Modern solutions of thermoelectric cooling for radio-electronic, medical, industrial and household equipment [in Russian] // Components and Technol. 2009. № 12. P. 40–46.
13. ГОСТ 3447-80 (ИСО 8486). Материалы шлифованные. Классификация, зернистость и зерновой состав. Методы контроля. Введ. 01.01.82. М.: Изд. стандартов, 1997. 28 с.
GOST (Russian National Standard) 3447-80 (ISO 8486). Abrasives. Grain sizing. Graininess and fractions. Test methods [in Russian]. Introd. 01/01/82. Moscow: Standards Publ., 1997. 28 p.
14. Гуревич М.М., Ицко Э.Ф., Середенко М.М. Оптические свойства лакокрасочных покрытий / Под ред. Ицко Э.Ф. СПб.: изд. «Профессия», 2010. 220 с.
Gurevich M.M., Itsko E.F., Seredenko M.M. Optical properties of paint and varnish coatings [in Russian] / Ed. Itsko E.F. St. Petersburg: "Professya" Publ., 2010. 220 p.
15. Медуницкий В.М., Солк С.В., Глущенко Л.А. Особенности оценивания шероховатости оптических поверхностей // Известия вузов. Сер. Приборостроение. 2023. Т. 66. № 6. С. 524–527.
Medunetsky V.M., Solk S.V., Glushchenko L.A. Features of the optical surfaces roughness estimation [in Russian] // Izvestiya VUZov. Instrumentation. 2023. V. 66. № 6. P. 524–527.
16. Электронный ресурс URL: http://www.kingbright.com/application_notes
Electronic resource URL: http://www.kingbright.com/application_notes
17. Михеев С.В. Основы инфракрасной техники. СПб.: Университет ИТМО, 2017. 127 с.
Mikheev S.V. Fundamentals of infrared technology / [in Russian]. St. Petersburg: ITMO University, 2017. 127 p.

АВТОРЫ

Андрей Владимирович Нужин — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, г. Сосновый Бор Ленинградской обл., 188540, Россия; <https://orcid.org/0009-0006-5497-7484>; nuzhin@mail.ru

Вячеслав Викторович Пронин — начальник стенда, Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, г. Сосновый Бор Ленинградской области, 188540, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-1113-7486>; wwp-niiki@rambler.ru

AUTHORS

Andrey V. Nuzhin — PhD (Engineering), Leading Researcher of the Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering, Sosnoviy Bor, Leningrad region, 188540, Russia; <https://orcid.org/0009-0006-5497-7484>; nuzhin@mail.ru

Viacheslav V. Pronin — Stand Supervisor of the Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering, Sosnoviy Bor, Leningrad region, 188540, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-1113-7486>; wwp-niiki@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 05.07.2024
Одобрена после рецензирования 06.05.2024
Принята к печати 29.07.2024

The article was submitted to the editorial office 05.07.2024
Approved after review 06.05.2024
Accepted for publication 27.07.2024