

УДК 535.233.2  
EDN: UCPKRD

С.С. Зенченко  
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

## РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ИК-ПОЛЯ ОТ 4-ЩЕЛЕВОЙ ДИСК-МИШЕНИ И АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА В ДЛИННОВОЛНОВОМ И СРЕДНЕВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНАХ ИК-СПЕКТРА

**Объект и цель научной работы.** Объект работы – инфракрасное (ИК) поле тест-мишеней в диапазоне спектра 1,5–5,7 мкм и сравнение с данными ИК-поля в диапазоне 7–14 мкм. Цель – контроль и изучение поля и его динамики при различных условиях создания ИК-поля излучателем абсолютно черного тела (АЧТ).

**Материалы и методы.** Применена техническая система, содержащая набор автоматически вращающихся 4-щелевых мишеней, облучаемых излучателем абсолютно черного тела с одной стороны, и ИК-тепловизор спектрального диапазона 1,5–5,7 мкм, регистрирующий прошедшее через них поле, – с другой.

**Основные результаты.** Получены оценки ИК-поля для шести мишеней. Определены количественные соотношения между параметрами поля мишеней, полем, окружающим щели мишеней, и полем, первично созданным абсолютно черным телом. Получены оценки, определяющие эффективность тепловизионной системы при регистрации различных по размерам мишеней. Проведено сравнение измеренных данных с данными измерений в спектральном ИК-диапазоне 7–14 мкм.

**Заключение.** Получены сравнительные данные о допустимых параметрах разрешения приборов, определенных для измерений в двух спектральных диапазонах инфракрасной области спектра, методах дополнительного поддержания возможностей прибора и дальнейшего развития метода контроля с использованием тест-мишеней.

**Ключевые слова:** тепловизионные приборы, мишень, абсолютно черное тело, эффективность, гидрофизическое направление, инфракрасный спектр, разрешение, методика.

*Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

UDC 535.233.2  
EDN: UCPKRD

S.S. Zenchenko  
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

## COMPARISON OF INFRARED SIGNATURES MEASURED ON 4-SLOT DISK TARGET AND ABSOLUTELY BLACK BODY AT LONG AND MEDIUM WAVELENGTHS

**Object and purpose of research.** This paper discusses infrared signature of test targets at wavelengths 1.5–5.7  $\mu\text{m}$ , comparing these results with those for wavelengths 7–14  $\mu\text{m}$ . The purpose of the study was to monitor and investigate infrared signature and its dynamics for different scenarios of thermal signature creation by an absolute black body generator.

**Materials and methods.** The equipment used in this study comprised a set of automatically rotating 4-slot targets radiated from one side by an absolute black body emitter. Thermal energy that passed through them was recorded from the other side by infrared imager with wavelength 1.5–5.7  $\mu\text{m}$ .

*Для цитирования:* Зенченко С.С. Результаты сравнительных измерений ИК-поля от 4-щелевой диск-мишени и абсолютно черного тела в длинноволновом и средневолновом диапазонах ИК-спектра. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; 1(407): 117–123.

*For citations:* Zenchenko S.S. Comparison of infrared signatures measured on 4-slot disk target and absolutely black body at long and medium wavelengths. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024; 1(407): 117–123 (in Russian).

**Main results.** The study yielded infrared signature estimates for 6 targets, as well as the expressions linking infrared parameters of target themselves and their environment with the parameters of the initial infrared signature created by absolutely black body. The estimates obtained in this study make it possible to determine the efficiency of thermal imaging systems with respect to measurements on targets of different size. These results were further compared with measurement data for wavelength 7–14  $\mu\text{m}$ .

**Conclusion.** This paper yields comparative data on acceptable resolution of instrumentation for measurements in two spectral ranges of the infrared domain, as well as on the ways to maintain hardware capabilities and further improve the test-target monitoring method.

**Keywords:** infrared imagers, target, absolutely black body, efficiency, hydrophysics, infrared spectrum, resolution, procedure.  
*The author declares no conflicts of interest.*

Инфракрасная область спектра богата возможностями для практического применения. Эта область имеет различные окна прозрачности атмосферы, которые, в свою очередь, обеспечивают различные уровни пропускания теплового излучения [1].

Пропускание атмосферы зависит от множества помех: тумана, снега, газов и т.п. В зависимости от интенсивности приходящего излучения в различных окнах прозрачности атмосферы определяется уровень собственного и отраженного излучения. Сочетание этих фактов и определяет практическую значимость приборов, в которых определяющим элементом является приемник излучения. Он регистрирует суммарное излучение, сформированное из различных составляющих. Например, превалирование собственной составляющей излучения от морской поверхности обеспечивает с соответствующей достоверностью дистанционное измерение температуры поверхности.

Применение определенной методики измерений, в которой наибольший вклад в сигнал обеспечивается за счет отраженного (от небосвода, других источников теплового излучения) излучения, может квалифицировать волновые изменения морской поверхности в пределах погрешности из-за осреднений, определенных контролируемой площадью разрешения на поверхности [2, 3] и т.п. Но эти обстоятельства являются типичными для всех окон прозрачности атмосферы ИК-области спектра.

Другим важным обстоятельством является уровень значений температуры, приходящийся на каждый спектральный диапазон. Это значит, что определенный диапазон температур можно и легче регистрировать в соответствующем окне прозрачности, поскольку в этом случае обеспечивается большая интенсивность излучения, что может сопровождаться на практике меньшими требованиями к приемникам излучения.

В тех случаях, когда предъявляются требования измерений в очень узких интервалах температур, то это обеспечивается за счет повышения чувствительности приемников излучения. Это решение реализуется применением охлажденных при-

емников излучения для уменьшения собственных шумов приемника и повышения соотношения сигнал/шум [4].

В большей части измерений поля температуры морской поверхности в диапазоне естественной изменчивости, к примеру от 10 °C до 30 °C, применение упомянутых ранее решений является необходимым и достаточным. Наряду с этим важным является параметр пространственного разрешения, который обеспечивает возможность получения пространственной картины теплового поля. Для оценки этого параметра и является целесообразным применение тест-мишеней и абсолютно черного тела (АЧТ) по определенной методике.

Такого рода методика описана в работе [5], и она явилась основой для оценки параметров тепловизионного прибора в средневолновом диапазоне спектра 1,5–5,7 мкм. Этому и посвящена настоящая статья.

Суть этой методики заключается в измерении ИК-поля упомянутого диапазона спектра, искусственно создаваемого излучателем АЧТ, при его распространении через 4-щелевые мишени калиброванного размера и установление характеристик поля, при которых регистрируется или нет щелевая структура мишени для последующей оценки показателей эффективности.

## Характеристики технических средств, используемых в исследовании

Test equipment parameters

Тепловизор:

- диапазон ИК-спектра 1,5–5,7 мкм;
- тип приемника – охлаждаемый детектор;
- фокусное расстояние 30 мм;
- объектив 21°×17°;
- мгновенное поле зрения 0,57 мрад;
- температурное разрешение 0,02 °C;
- тип матрицы 640×512 пикселей;
- рабочий диапазон температур –10...+50 °C.

Абсолютно черное тело:

- диапазон воспроизводимых температур 0...125 °С;
- погрешность поддержания температуры излучателя 0,001 °С;
- напряжение питания 220 В;
- потребляемая мощность 200 ВА.

## Конструкция измерительной системы и ее элементы

Design and elements of measurement system

На рис. 1 (см. вклейку) показаны компоновка и функционирование технических элементов системы измерения. Экспериментальная система включает излучатель 1 АЧТ, блок с набором 4-щелевых мишеней, которые собраны на вращающемся под действием привода 2 в барабане 3. Набор мишеней состоит из шести калиброванных мишеней, разделенных по кругу одинаковой мишенью, в виде отверстий постоянного диаметра.

Все мишени размещены вместе с приводом в отдельном кожухе 4. В кожухе устройства мишеней имеется сквозное отверстие 5, превышающее по диаметру размер любой мишени. Снаружи кожуха по направлению к АЧТ установлен отражающий экран, выполненный из одного материала с барабаном мишени. С противоположной стороны от кожуха с мишенями установлен объектив тепловизионного прибора 6.

Расстояние от объектива до поверхности барабана соответствует фокусному расстоянию для выбранного размера объектива прибора. С противоположной стороны от кожуха мишени на расстоянии, равном упомянутому фокусному расстоянию, располагается поверхность полости излучателя 1 АЧТ. Сигнал с тепловизионного прибора выводится на компьютер для последующей обработки.

## Обоснование методики измерения

Justification of the measurement procedure

Измерение параметров ИК-поля каждой мишени проводилось при различных значениях температуры излучателя – 10 °С, 15 °С и 20 °С, поддерживаемых и управляемых процессором АЧТ. Оценка соответствующего состояния каждой мишени выполнялась на основе термограмм. Для учета тонкостей поля в переходах от одной щели к другой применен метод рабочих контрольных линий и сечений. При

этом для каждой мишени установлена своя расчетная ширина щели (параметр  $a$ , указанный для каждой мишени в табл. 1).

Интерес представлял процесс формирования поля мишеней по линиям как вертикального, так и горизонтального направления. В качестве расчета оценки принималось значение отличия температуры щели горизонтального сечения ( $T_{щели1}$ ) и вертикального сечения ( $T_{щели2}$ ) от величины фиксированной температуры  $T_{АЧТ}$ . Результаты сопоставления сведены в табл. 1.

Кроме указанных параметров температурных показателей, под действием постоянного теплового излучения полости АЧТ формируется поле областей вокруг щели из-за нагрева. Оно считается полем экрана, а фактически свидетельствует о тепловом состоянии барабана и может характеризоваться параметром  $T_{экрана}$ . Значение этого параметра является величиной переменной, зависимой от теплообмена с воздухом кожуха и тепловых потоков от излучателя АЧТ.

Окончательным показателем эффективности как применения тепловизионной техники с выбранными параметрами, так и применения мишени (ее размеров) может служить показатель, характеризующий отношение уровня пришедшего теплового поля только на пространство щели ( $T_{экрана} - T_{щели}$ ) к величине излучаемого тепла только в пределах области щели от излучателя АЧТ ( $T_{экрана} - T_{АЧТ}$ ). Результаты оценки ( $K_{эфф}$ ) сведены в табл. 1. Для объективного сопоставления результатов оценки в таблице использовалось значение площади поверхности мишени ( $S$ , мм<sup>2</sup>), характерное только для каждой из них.

## Основные результаты исследования

Main results

Результаты проведенных измерений представлены на рис. 2–3. На рис. 2 (см. вклейку) приведены примеры измеренного поля от упомянутых выше 4-щелевых мишеней и от разделительной мишени, имеющей одно большое отверстие.

Анализ этих измерений показывает, что начиная с мишени № 7 ( $a = 1$  мм) структура мишеней фактически не различима. По данным табл. 1 это подтверждается тем обстоятельством, что начиная с этой мишени расчетное значение  $K_{эфф}$  снижается на 50 %.

Представляется целесообразным провести сравнительный анализ показателей  $K_{эфф}$  для средневолнового и длинноволнового диапазонов спектра. Для

этого построена сравнительная табл. 2 (см. вклейку), анализ которой показывает, что с увеличением температуры  $K_{эфф}$  в обоих диапазонах падает. При постоянной температуре с вариацией мишени от большей площади к меньшей  $K_{эфф}$  снижается. При комбинации измерений и расчетов от большей мишени к меньшей  $K_{эфф}$  для диапазона 1,5–5,7 мкм превалирует над  $K_{эфф}$  для диапазона 7–14 мкм до уровня мишени № 7 (размер щели 1 мм). Начиная с этой мишени  $K_{эфф}$  диапазона 7–14 мкм остается больше, чем значение другого диапазона, но сохраняя тенденцию к дальнейшему уменьшению с уменьшением размера мишени.

Чтобы сравнение двух каналов было объективно, необходимо учесть, что при одном фокусном

расстоянии до мишени тепловизоры имеют различное пространственное разрешение, определяемое полем зрения. Так, для диапазона 1,5–5,7 мкм размер площади разрешения составил 61 мм, а для длинноволнового диапазона – 86 мм. При этом диаметр окна с мишенью составляет 54 мм. По этой причине влияние «захватываемого» и попадаемого в объектив фона оказывается разным. Величину этого влияния можно представить через площадь  $S_{фона}$ . Эта величина представляет разность между площадью разрешения ( $S$  разрешения) и площадью мишени ( $S_{мишени}$ ). Для оценки показателей можно использовать отношение площади мишени к площади фона ( $S_{мишени}/S_{фона}$ ). Эти показатели представлены в сравнительной табл. 2.

**Таблица 1.** Результаты измерений с использованием 4-щелевых мишеней для 1,5–5,7 мкм

**Table 1.** Measurement results: 4-slot targets, wavelength 1.5–5.7 μm

№ п/п	№ мишени $\Delta\lambda = 1,5\text{--}5,7$ мкм	$T_{АЧТ},$ °С	$T_{экрана},$ °С	$T_{щели1},$ °С	$T_{щели2},$ °С	$\Delta T =$		$S, \text{мм}^2$
						$(T_{щели1} - T_{АЧТ}) /$ $(T_{щели2} - T_{АЧТ}),$ °С	$(T_{экрана} - T_{щели}) /$ $(T_{экрана} - T_{АЧТ})$ $(K_{эфф})$	
1	№ 1 $a = 6$ мм	10	24,22	10,25	10,29	0,25/0,29	0,983/0,985	1764
		15	25,29	15,45	15,44	0,45/0,44	0,956/0,957	
		20	25,69	20,29	20,28	0,29/0,28	0,949/0,951	
2	№ 2 (круг) $D = 57$ мм	10	24,42	10,11	10,16	0,11/0,16	0,992/0,989	2550,5
		15	25,29	15,23	15,27	0,23/0,27	0,978/0,974	
		20	25,68	20,18	20,19	0,18/0,19	0,968/0,967	
3	№ 3 $a = 4,5$ мм	10	24,72	10,53	10,61	0,53/0,61	0,964/0,959	900
		15	25,49	15,56	15,55	0,56/0,55	0,947/0,948	
		20	25,8	20,33	20,34	0,33/0,34	0,943/0,941	
4	№ 4 (круг) $a = 2$ мм	10	24,73	10,24	10,29	0,24/0,29	0,984/0,98	2550,5
		15	24,99	12,26	12,53	2,26/2,53	0,849/0,831	
		20	25,51	16,51	16,51	1,51/1,51	0,856/0,856	
5	№ 5 $a = 1$ мм	10	24,99	12,26	12,53	2,26/2,53	0,849/0,831	324
		15	25,51	16,51	16,51	1,51/1,51	0,856/0,856	
		20	25,84	20,84	20,82	0,84/0,82	0,856/0,86	
6	№ 7 $a = 1$ мм	10	25,07	18,4	18,7	8,4/8,7	0,443/0,423	81
		15	25,59	20,70	20,97	5,70/5,97	0,462/0,436	
		20	25,89	23,06	23,25	3,06/3,25	0,48/0,448	
7	№ 9 $a = 0,5$ мм	10	25,15	18,47	18,51	8,47/8,51	0,44/0,438	20,25
		15	25,65	20,81	21,63	5,81/6,63	0,454/0,377	
		20	25,9	23,53	23,18	3,53/3,18	0,402/0,461	
8	№ 11 $a = 0,25$ мм	10	25,26	20,18	21,65	10,18/11,65	0,333/0,237	9,0
		15	25,61	21,82	22,16	6,82/7,16	0,357/0,325	
		20	25,97	23,92	24,07	3,92/4,07	0,343/0,318	

Привлекает внимание еще одно обстоятельство. Оно связано с измеренными значениями температуры щели для различных спектральных диапазонов при установленных значениях температуры ИК-поля АЧТ. Такое сравнение приведено в табл. 3 (см. вклейку).

Характерными особенностями являются типичное для обоих спектральных диапазонов увеличение показаний температуры щели с уменьшением ее размеров, что перекликается с аналогичными предположениями в [6], а также превалирование этих значений для длинноволнового диапазона спектра до размера щели  $a = 1$  мм. С дальнейшим уменьшением размера щели показания температуры щели для средневолнового ИК-диапазона становятся больше, чем для длинноволнового ИК-диапазона спектра.

Чтобы понять обстоятельства и особенности полученных результатов, представляется интересным рассмотреть энергетические параметры теплового поля (уровень теплового излучения [7, 8]), формируемого используемой системой (рис. 1). Особенность самой системы заключается в том, что каждый тепловизионный канал, расположенный на одинаковом расстоянии от мишени, имеет свое пространственное разрешение, зависимое от размера оптики. При этом в поле зрения оптической системы попадает зачерненная металлизированная стенка.

Внутри захватываемого оптикой разрешения имеется отверстие постоянного размера, которое заполняется различными дисками мишеней при вращении, в виде блестящего хромированного металлизированного покрытия. Внутри этого диска располагаются прорезы мишеней или отверстие круглой мишени. По этой причине пространство, ограниченное полем зрения оптики (рис. 3, см. вклейку), имеет долю металлизированной зачерненной стенки в виде кольца и может быть оценено по коэффициенту заполнения ( $K_{\text{зап. кольца}}$ ), долю металлизированного диска мишени ( $K_{\text{зап. мет.}}$ ) и области, приходящейся на щели и поля АЧТ ( $K_{\text{зап. АЧТ}}$ ). При этом каждая область отличается своим коэффициентом, определяющим долю области (площади) относительно всей площади разрешения оптической системы, а также коэффициентом излучения  $\epsilon$  (черный металл –  $\epsilon_1$ , хромированный металл –  $\epsilon_2$  и АЧТ с  $\epsilon_{\text{АЧТ}}$ ).

Отсюда расчетный уровень теплового излучения составляет:

- для мишени № 2, в виде круга

$$B\Sigma = (K_{\text{зап. круга}} \cdot \epsilon_{\text{АЧТ}} \cdot \delta T_{\text{круга}}^4) + (K_{\text{зап. кольца}} \cdot \epsilon_{\text{кольца}} \cdot \delta T_{\text{кольца}}^4), \quad (1)$$

- для мишени большого размера щели, № 1

$$B\Sigma = (K_{\text{зап. кольца}} \cdot \epsilon_{\text{кольца}} \cdot \delta T_{\text{кольца}}^4) + (K_{\text{зап. мет.}} \cdot \epsilon_{\text{мет.}} \cdot \delta T_{\text{мет.}}^4) + (K_{\text{зап. щели}} \cdot \epsilon_{\text{АЧТ}} \cdot \delta T_{\text{щели}}^4), \quad (2)$$

- для мишени маленького размера щели, № 11

$$B\Sigma = (K_{\text{зап. кольца}} \cdot \epsilon_{\text{кольца}} \cdot \delta T_{\text{кольца}}^4) + (K_{\text{зап. мет.}} \cdot \epsilon_{\text{мет.}} \cdot \delta T_{\text{мет.}}^4) + (K_{\text{зап. щели}} \cdot \epsilon_{\text{АЧТ}} \cdot \delta T_{\text{щели}}^4), \quad (3)$$

где  $\delta$  – постоянная Стефана Больцмана.

Проведя все расчеты, можно оценить долю теплового поля АЧТ, зарегистрированного для указанных мишеней для каждого спектрального диапазона и значений температуры АЧТ 10 °С и 20 °С. Эти расчеты сведены в табл. 4.

**Таблица 4.** Сравнение показателей ИК-поля от абсолютно черного тела

**Table 4.** Comparison of infrared signature parameters for absolutely black body

$T_{\text{АЧТ}} = 10$  °С,  $\Delta\lambda = 7\text{--}14$  мкм

№ мишени	$B\Sigma$ , Вт/м <sup>2</sup>	Доля АЧТ, Вт/м <sup>2</sup>	% соотношение
№ 2, круг	215 696· $\delta$	6904· $\delta$	3,2
№ 1	238 082· $\delta$	5351· $\delta$	2,2
№ 11	265 575· $\delta$	184,4· $\delta$	0,07

$T_{\text{АЧТ}} = 20$  °С,  $\Delta\lambda = 7\text{--}14$  мкм

№ мишени	$B\Sigma$ , Вт/м <sup>2</sup>	Доля АЧТ, Вт/м <sup>2</sup>	% соотношение
№ 2, круг	343 113· $\delta$	132 671· $\delta$	38,7
№ 1	313 588· $\delta$	91 872· $\delta$	29,3
№ 11	247 487· $\delta$	468· $\delta$	0,19

$T_{\text{АЧТ}} = 10$  °С,  $\Delta\lambda = 1,5\text{--}5,7$  мкм

№ мишени	$B\Sigma$ , Вт/м <sup>2</sup>	Доля АЧТ, Вт/м <sup>2</sup>	% соотношение
№ 2, круг	49 731· $\delta$	9084· $\delta$	18
№ 1	64 510· $\delta$	6596· $\delta$	10
№ 11	110 927· $\delta$	495,5· $\delta$	0,4

$T_{\text{АЧТ}} = 20$  °С,  $\Delta\lambda = 1,5\text{--}5,7$  мкм

№ мишени	$B\Sigma$ , Вт/м <sup>2</sup>	Доля АЧТ, Вт/м <sup>2</sup>	% соотношение
№ 2, круг	193 905· $\delta$	144 198· $\delta$	75
№ 1	164 405· $\delta$	101 284· $\delta$	62
№ 11	132 117· $\delta$	978,2· $\delta$	0,7

Анализ этих данных показывает, что существенно влияние уровня установленной температуры АЧТ. Причем доля интенсивности излучения при фиксированной установленной температуре ниже окружающего фона и примерно в 5 раз выше для диапазона спектра 1,5–5,7 мкм. При приближении температуры АЧТ к уровню фона это соотношение не превышает 2-кратного значения.

Несомненно, представленные исходные показатели ввиду большого объема данных могут иметь дальнейшую детализацию происходящих процессов при исследовании теплового поля от целевых мишеней и свидетельствуют о более сложных процессах, происходящих в используемой системе, что выходит за рамки регламента настоящей статьи.

## Выводы

### Conclusion

Возможности эффективного применения обоих спектральных каналов с используемыми техническими характеристиками ограничены на 50 % начиная с мишени с параметром  $a = 1$  мм.

Объективная оценка сравнения каналов в наилучшей степени показательна при использовании энергетической картины формирования ИК-поля каждого спектрального диапазона, поскольку учитывает детализацию системы и реальные значения температур, излучательной способности более нагретых или охлажденных элементов, попадающих в поле зрения каждого канала и формирующих суммарное тепловое состояние, контролируемое каналами тепловизионных приборов.

Как и в работе [5], полученные результаты измерений подтверждают важное значение соотношения устанавливаемой стабилизированной температуры АЧТ и температуры окружающего фона. В настоящей статье рассмотрены варианты, когда температура фона была выше или сравнивалась с температурой АЧТ. По этой причине представляют интерес измерения, когда установленная температура АЧТ будет выше температуры окружающего фона, что может быть предметом дальнейших исследований.

## Список использованной литературы

1. Хадсон Р.Д. Инфракрасные системы / Перевод с англ. Я.Б. Герчикова [и др.]. Москва : Мир, 1972. 534 с.
2. Гаврилов Д.С., Зенченко С.С., Самков В.М. Результаты угловых и многоспектральных измерений радиационной температуры взволнованной морской по-

- верхности // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики : труды Всерос. конференции. Санкт-Петербург, 2016. С. 151–153.
3. Zenchenko S.S., Gorbatskiy V.V., Litvin A.D. Molding and optimization of experimental hydrophysical complexes for applied tasks using laboratory and large-scale test facilities // Navy and Shipbuilding Nowadays (NSN'2015) : Proceedings. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2015. P. 218–224.
4. Ллойд Дж. Системы тепловидения / Пер. с англ. Н.В. Васильченко. Москва : Мир, 1978. 414 с.
5. Зенченко С.С. Особенности и результаты измерений ИК-поля от 4-щелевой диск-мишени и абсолютно черного тела в диапазоне спектра 7–14 мкм // Труды Крыловского научного центра. 2022. Вып. 4(402). С. 120–125. DOI: 10.24937/2542-2324-2022-4-402-120-125.
6. Белоусов Ю.И., Постников Е.С. Инфракрасная фотоника. Ч. 1. Особенности формирования и распространения ИК-излучения : учебное пособие. Санкт-Петербург : ИТМО, 2019. 82 с.
7. Крикунов Л.З., Усольцев И.Ф. Инфракрасные системы обнаружения, пеленгации и автоматического сопровождения движущихся объектов. Москва : Советское радио. 1968. 320 с.
8. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Ленинград : Машиностроение, 1977. 600 с.

## References

1. Hudson R.D. Infrared System Engineering (Russian translation by Ya. Gerchikov et al.). Moscow : Mir, 1972. 534 p.
2. Gavrilov D., Zenchenko S., Samkov V. Results of angular and multispectral method of measuring wavy marine surface // Applied technologies of hydroacoustics and hydrophysics: proceedings of the All-Russian National Conference. St. Petersburg, 2016. P. 151–153 (in Russian).
3. Zenchenko S.S., Gorbatskiy V.V., Litvin A.D. Molding and optimization of experimental hydrophysical complexes for applied tasks using laboratory and large-scale test facilities // Navy and Shipbuilding Nowadays (NSN'2015) : Proceedings. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2015. P. 218–224.
4. Lloyd J.M. Thermal Imaging Systems (Russian translation by N. Vasilchenko.). Moscow : Mir, 1978. 414 p.
5. Zenchenko S. Peculiarities and results of infrared signature measurement on 4-slot disk target and absolutely black body at wavelengths 7–14  $\mu\text{m}$  // Transactions of Krylov State Research Centre. 2022. Vol. 4(402).

- P. 120–125. DOI: 10.24937/2542-2324-2022-4-402-120–125 (*in Russian*).
6. *Belousov Yu., Postnikov Ye.* Infrared photonics. Part 1. Formation and propagation peculiarities of infrared emission. Student's Guide. St. Petersburg : ITMO, 2019. 82 p. (*in Russian*).
  7. *Krikunov L., Usoltsev I.* Infrared systems for detection, location and automatic tracking of moving objects. Moscow : Sovetskoye radio, 1968. 320 p. (*in Russian*).
  8. *Miroshnikov M.* Optoelectronic engineering. Theoretical fundamentals. Leningrad : Mashinostroyeniye, 1977. 600 p. (*in Russian*).

#### **Сведения об авторе**

*Зенченко Сергей Сергеевич*, к.т.н., начальник 703 сектора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-96-14. E-mail: zenchenko50@bk.ru.

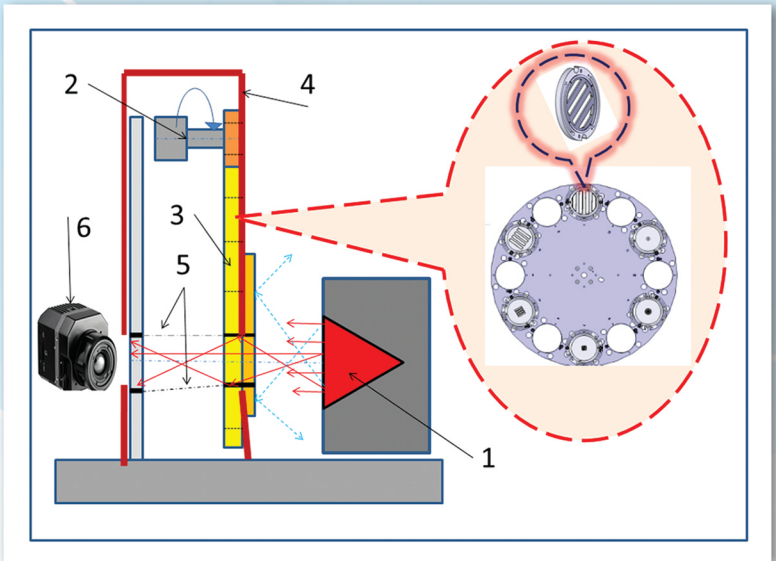
#### **About the author**

*Sergey S. Zenchenko*, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-96-14. E-mail: zenchenko50@bk.ru.

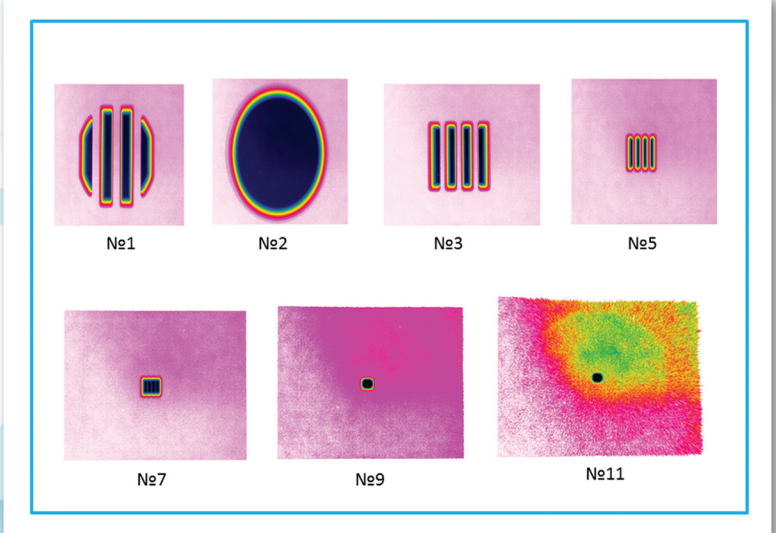
Поступила / Received: 09.10.23  
Принята в печать / Accepted: 01.03.24  
© Зенченко С.С., 2024



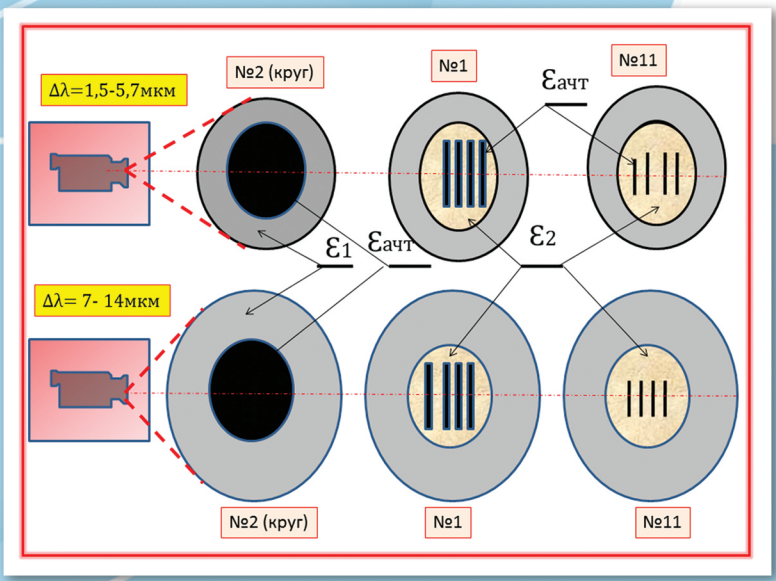
**Рис. 1.** Система измерения  
**Fig. 1.** Measurement system



**Рис. 2.** Термограммы измерений ИК-поля от мишеней  
**Fig. 2.** Thermal images of targets as per measurement results



**Рис. 3.** Технология формирования ИК-поля от мишеней  
**Fig. 3.** Technology of thermal target signature formation





**Таблица 2.** Сравнение  $K_{эфф}$  в спектральных ИК-диапазонах

**Table 2.** Comparison of  $K_{eff}$  in infrared bands

№ п/п МИШЕНИ	$S_{миш.},$ мм <sup>2</sup>	$S_{фона} =$ $= S_{разр.} -$ $- S_{миш.}$ ( $\Delta\lambda = 1,5-$ $5,7$ мкм), мм <sup>2</sup>	$S_{фона} =$ $= S_{разр.} -$ $- S_{миш.}$ ( $\Delta\lambda = 7-$ $14$ мкм), мм <sup>2</sup>	$S_{миш.}/S_{фона}$ <u>1,5–5,7</u> мкм 7–14 мкм	$K_{эфф}$ $\Delta\lambda = 1,5-$ 5,7 мкм, 10°	$K_{эфф}$ $\Delta\lambda = 7-$ 14 мкм, 10°	$K_{эфф}$ $\Delta\lambda = 1,5-$ 5,7 мкм, 15°	$K_{эфф}$ $\Delta\lambda = 7-$ 14 мкм, 15°	$K_{эфф}$ $\Delta\lambda = 1,5-$ 5,7 мкм, 20°	$K_{эфф}$ $\Delta\lambda = 7-$ 14 мкм, 20°
№ 1, $a = 6$ мм	1764	1157	4041	<u>1,524</u> 0,437	0,983	0,903	0,957	0,904	0,949	0,895
№ 2, $D = 57$ мм	2559	371	3255	<u>6,873</u> 0,783	0,992	0,921	0,978	0,924	0,968	0,922
№ 3, $a = 4,5$ мм	900	2021	4905	<u>0,445</u> 0,183	0,964	0,893	0,947	0,898	0,943	0,865
№ 5, $a = 2$ мм	324	2597	5481	<u>0,124</u> 0,059	0,849	0,844	0,856	0,545	0,856	0,896
№ 7, $a = 1$ мм	81	2840	5724	<u>0,0285</u> 0,014	0,443	0,518	0,462	0,497	0,48	0,497
№ 9, $a = 0,5$ мм	20,25	2900,5	5784,75	<u>0,007</u> 0,0035	0,44	0,616	0,454	0,654	0,402	0,633
№ 11, $a = 0,25$ мм	9	2912	5796	<u>0,003</u> 0,0016	0,33	0,459	0,357	0,421	0,343	0,36

**Таблица 3.** Сравнение данных показаний температуры щелевых мишеней

**Table 3.** Comparison of thermal data for slot targets

Размер мишени, [а]	$T_{щели},$ °С ( $\Delta\lambda = 7-14$ мкм)	$T_{щели},$ °С ( $\Delta\lambda = 1,5-5,7$ мкм)	$T_{щели},$ °С ( $\Delta\lambda = 7-14$ мкм)	$T_{щели},$ °С ( $\Delta\lambda = 1,5-5,7$ мкм)
$T_{АЧТ},$ °С	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Круг, 57 мм	11,21	10,11	20,34	20,18
6 мм	11,53	10,25	20,38	20,29
4,5 мм	11,69	10,53	20,66	20,33
2 мм	12,48	12,26	20,83	20,84
1 мм	17,68	18,4	22,6	23,06
0,5 мм	16,11	18,47	22,02	23,53
0,25 мм	18,59	20,18	23,47	23,92