

УДК 621.383; 621.375.826

doi: 10.53816/23061456_2025_9–10_96

ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ ИНДИКАТОРА ОБНАРУЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

CONSTRUCTION VARIANT OF DETECTION INDICATOR OF LASER RADIATION SOURCE

Канд. техн. наук А.Н. Старченко, Н.Г. Кувишинов, канд. техн. наук Г.А. Гуменюк, В.В. Пронин

Ph.D. A.N. Starchenko, N.G. Kuvshinov, Ph.D. G.A. Gumenjuk, V.V. Pronin

Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения

За десятилетия развития индикаторы лазерного подсвета стали обязательным элементом систем защиты бронетанковой техники от управляемого оружия. На основании исследований авторами предложен вариант построения танкового индикатора, обладающего повышенной чувствительностью и помехозащищенностью для обеспечения уверенной регистрации не только импульсного излучения лазерных дальнометров и целеуказателей, но и модулированного излучения лучевых систем наведения оружия. Основными элементами индикатора являются фоточувствительный элемент в виде узких полосок малого размера, попарно объединенные в разностные схемы сравнения сигналов, светосильный шаровидный концентрический объектив на основе двух линз с большой площадью входного зрачка и блок специальной электроники для анализа и обработки сигналов. Отличительной особенностью данного технического решения может явиться также относительная простота конструкции и минимальная стоимостная характеристика.

Ключевые слова: бронетехника, танк, защита бронетехники, индикатор лазерного излучения, стрип-фотодетектор (фотоприемник), ИК-диапазон.

Over decades of development, laser illumination indicators have become an essential element of armored vehicle protection systems against guided weapons. Based on their research, the authors propose a design for a tank indicator with increased sensitivity and interference immunity to ensure reliable detection not only of pulsed radiation from laser rangefinders and target designators, but also of modulated radiation from weapon guidance systems. The main elements of the indicator are a photosensitive element in the form of narrow strips of small size, paired in differential signal comparison circuits, a fast spherical concentric objective based on two lenses with a large entrance pupil area, and a special electronics unit for signal analysis and processing. A distinctive feature of this technical solution may also be its relative simplicity of design and minimal cost.

Keywords: armored vehicles, tanks, armor protection, laser warning receiver, strip-photodetector, IR-range.

Танк, как объект наземной военной техники, используемый в наиболее жестких условиях конфликтного взаимодействия с противником, подвергается атакам многочисленного оружия

с различными системами наведения. Поэтому для обеспечения эффективной защиты необходимо экипажу танка быстро обнаружить угрозу, ее идентифицировать, определить приоритетность

и провести действия по опережению противника в открытии огня, либо, осуществить постановку маскирующей дымовой завесы и выполнить маневр для выхода из опасной зоны [1, 2].

Частичное решение этой проблемы — применение в качестве средств обнаружения угрозы индикаторов подсвета танка источниками импульсного лазерного излучения, широко используемыми для определения дальности до цели или ее целеуказания [3–5]. Такими индикаторами впервые были оснащены танки стран бывшего Варшавского договора, израильский танк Merkava, канадская разведывательная машина Coyote, итальянские танк Ariete, истребитель танков Centauro и боевая машина пехоты VCC-80. В СССР танковая аппаратура индикации лазерного излучения была принята на вооружение в 1986 году в составе комплекса оптико-электронного противодействия ТШУ-1 («Штора-1») [6].

Составными частями индикаторов (с кодированием пространства или секторным обзором) являются: входная оптическая система, связанный с ней многоэлементный фотоприемник с идентичными каналами усиления и блок электронной обработки сигналов. При этом пространственное положение обнаруженного лазерного источника оценивается, преимущественно, одной угловой координатой в азимутальной плоскости с достигаемым разрешением от 2° до 45° , а тип источника подсвета — определением временных параметров излучения (длительности регистрируемых импульсов и частоты их следования). Воспринимаемые импульсы длительностью (10...100) нс при частоте повторения (0...100) Гц интерпретируются исходящими от дальномеров (при регистрации моноимпульса) и целеуказателей (при регистрации серии импульсов).

Спектральный диапазон чувствительности индикаторов, применяемых в комплексе ТШУ-1, как и в большинстве зарубежных приборов аналогичного назначения, составляет от 0,65 мкм до 1,6 мкм. Безусловно, стоит вопрос о расширении этого инфракрасного (ИК) диапазона, особенно в связи с наметившейся в последние годы устойчивой тенденции к применению в дальнерах и управляемом противотанковом оружии лазерных источников на основе двуокиси углерода, работающего на длине волны 10,6 мкм [2, 7, 8].

Необходимо также и увеличить объем обнаруживаемого индикатором информационного

поля, то есть фиксировать как импульсное излучение дальномеров и целеуказателей, так и модулированное (квазинепрерывное) излучение лучевых систем наведения оружия, представляющего собой все более возрастающую угрозу для бронетехники. Характеристика этого излучения — длинные импульсы (20...50) мкс при частоте повторения (10...20) кГц. Отличительным свойством лучевых систем является не только создание излучения с высокой частотой следования импульсов и при использовании различных источников подсвета (на длинах волн 0,84 мкм или 10,6 мкм), но и малая мощность этого излучения — не более 1 % от мощности типовых дальномеров и целеуказателей.

Отметим, что при создании высокочувствительных каналов приема излучения в индикаторе снижается уровень его помехозащищенности. Ложные «срабатывания» индикатора возможны при воздействии широкополосных оптических помех (прямых лучей солнечного света, бликов, молнии, всплеск света прожекторов, при разрывах боеприпасов), а также отраженного лазерного излучения (от поверхности земли, облаков и других объектов). Необходимо учитывать и такой существенный фактор, как состояние атмосферы на участке распространения лазерного луча, определяемое погодными условиями, а также ее запыленностью и задымленностью, приводящими к неравномерному распределению облучения по лучу лазера (наличию «пятнистости») и, соответственно, к ошибкам в оценке угловой направленности угрозы.

Таким образом, основными направлениями совершенствования индикатора лазерного подсвета должны явиться:

- расширение спектрального диапазона воспринимаемого излучения до дальней области ИК спектра (8...12) мкм;
- обеспечение обнаружения информационного поля лазерных лучевых систем наведения оружия, создающих подсвет защищаемого объекта с высокой частотой следования импульсов и при значительно меньшем уровне мощности излучения, чем при регистрации подсвета дальномеров и целеуказателей;
- повышение помехозащищенности от воздействия широкополосных оптических помех.

Оценим возможность реализации этих требований.

Разработка индикатора лазерного подсвета с широким спектральным диапазоном является довольно сложной комплексной задачей. Связано это не только с выбором типа многоэлементного фотоприемника и необходимого для него объектива, но и с отсутствием, как показал опыт работы, оптических материалов, пригодных для изготовления линз и защитных стекол с высокими коэффициентами пропускания — от видимого диапазона (0,65 мкм) до инфракрасного дальнего (12 мкм). Поэтому считаем вполне приемлемым использование, как это и предложено в [9], варианта построения фоточувствительной части индикатора с двумя приемными каналами. Приемный канал видимого и ближнего ИК-диапазонов может быть выполнен, например, на базе неохлаждаемого германиевого фотодиода, а канал длинноволнового — на базе охлаждаемой фоторезистивной структуры «кадмий-ртуть-теллур». Топология чувствительных элементов в каналах может быть принята одинаковой.

Дополнительное свойство такой схемы построения чувствительной системы — возможность формирования сигнала запрета на ложное «срабатывание» индикатора от помех при приеме излучения одновременно обоими каналами [10].

Известный способ решения задачи по обнаружению модулированного ИК-излучения лучевых систем наведения оружия — сканирование (по азимуту) пространства с использованием интерференционного модулятора когерентного излучения с переменной разностью хода оптических лучей [10, 11]. Однако, учитывая некоторые наработки, полученные в АО «ВНИИТрансмаш» совместно с НПО «Орион» и АО «НИИ ОЭП» в направлении совершенствования индикатора лазерного подсвета, полагаем о возможности реализации этих наработок, в частности, для достижения более высокого энергетического потенциала для обнаружения лучевых систем. Так, считаем целесообразным использование в индикаторе метода секторного обзора исследуемого пространства, допускающего возможность применения светосильного объектива на основе двух линз с большой площадью входного зрачка (28–30) мм² и оптимальной величины отношения фокусного расстояния объектива к его диаметру (1/0,5...1). В цилиндрической оптике с кодированием пространства площадь зрачка не превышает 2 мм², а отношение фокусного

расстояния к диаметру объектива равно 1/1,5. Полагаем также о целесообразности применения в индикаторе приемника излучения со специальной топологией чувствительных площадок, например, в виде (10...30) вертикальных полосок с минимальными размерами и соотношением сторон 1/(15...20). Преимущество такого оптического тракта (в сравнении с цилиндрическим объективом) — исключение потерь, связанных с делением воспринимаемого излучения по нескольким площадкам при их горизонтальном расположении в фокальной плоскости данного объектива, поскольку это необходимо для формирования двоичного кода Грея. Особенность предложенной конструкции состоит также в ее относительной простоте и минимальной стоимостной характеристики.

Значение азимутальной координаты источника подсвета определяется в предлагаемом оптическом тракте не только из условия попадания излучения на одну фоточувствительную полоску (в этом случае, координата соответствует номеру полоски), но и на две соседние одновременно (координата принимается равной середине углового расположения просматриваемых этими полосками зон обзора).

Для реализации требования помехозащищенности считаем возможным чувствительные вертикально расположенные полоски (стрип-фотодетектор), отличающиеся в плоскости ориентирования на два порядковых номера, попарно объединить в разностные схемы сравнения сигналов. В цепь связи каждой пары полосок с соответствующими усилителями, например, операционными, следует включить разветвитель сигналов, обеспечивающий на выходе соответствующего усилителя выдачу сигнала рабочей полярности об обнаружении данной полоской источника излучения, если амплитуда сигнала от этой полоски (в разы) превышает сигнал от сопряженной полоски. Обработку информации выполнять с возможностью осуществления измерения длительности и частоты следования сигналов, создаваемых источниками подсвета импульсным и модулированным излучениями, а, применительно, к модулированному излучению, также и оценки длительности непрерывно осуществляемой посылки этого излучения (в течение установленного промежутка времени). Уменьшение величины фоновой засветки,

а, соответственно, и увеличение динамического диапазона регистрируемого излучения и пороговой чувствительности индикатора, обусловлено малыми размерами используемых площадок приемника.

Следует считать целесообразным введение в индикатор специальной электронной схемы, вырабатывающей сигнал запрета на регистрацию излучения при обнаружении особо интенсивного источника подсвета, как за счет контроля амплитуды воспринимаемых сигналов, так и использования сигнатурного подхода к решению этой задачи.

Ложные тревоги могут возникнуть и при применении собственных активных средств (пулеметно-пушечная стрельба, использование ИК-средств противодействия, быстрое изменение просматриваемой индикатором фоновой картины при резких поворотах объекта и др.). Поэтому в состав закладываемых сигнатурных данных должна входить априорная информация о возможных действиях объекта (для правильной интерпретации возникающих при этом сигналов).

Вариант построения индикатора, реализующего данные требования, иллюстрируется рисунками: на рис. 1 приведена структурная схема приемного канала индикатора (схемы построения обоих каналов одинаковы); на рис. 2 — одна из возможных оптических схем объектива приемного канала и диаграммы пятна рассеяния при разных углах падения излучения; на рис. 3 —

функциональная электрическая схема формирования рабочих сигналов обнаружения подсвета в каждой из пар сопряженных фоточувствительных элементов.

Канал (рис. 1) включает в себя: приемную оптическую систему 1, фотоприемник 2, состоящий из n вертикальных фоточувствительных полосок $2_1 \dots 2_n$, разветвители фототоков $3_1 \dots 3_{n/2}$ сопряженных пар полосок, операционные усилители $4_1 \dots 4_n$ и связанный с ними блок электронной обработки сигналов 5. Фоточувствительные полоски $2_1 \dots 2_n$ попарно включены (с нечетными и четными номерами — 1 и 3, 2 и 4 и т.д.) по схеме взаимного вычитания сигналов и разделяют просматриваемое оптической системой 1 поле обзора по азимуту $\Omega_{\text{сп}}$ на n равных частей (секторов). Формирование разностных сигналов рабочей полярности каждым из разветвителей $3_1 \dots 3_{n/2}$, выходы которых связаны с инвертирующими входами усилителей $4_1 \dots 4_n$, осуществляется в тех случаях, когда источник лазерного излучения, при нахождении его в поле зрения одного из фоточувствительных элементов, создает сигнал, превышающий (по амплитуде) сигнал синфазной помехи в сопряженном канале, например, не менее, чем в 4...5 раз.

Для исключения возникновения «мертвых» зон при изменении угла засветки, формируемый каждой из полосок угол зрения, установлен несколько превышающим размеры угла $\Omega_{\text{сп}}/n$. Поэтому создаваемое оптической системой

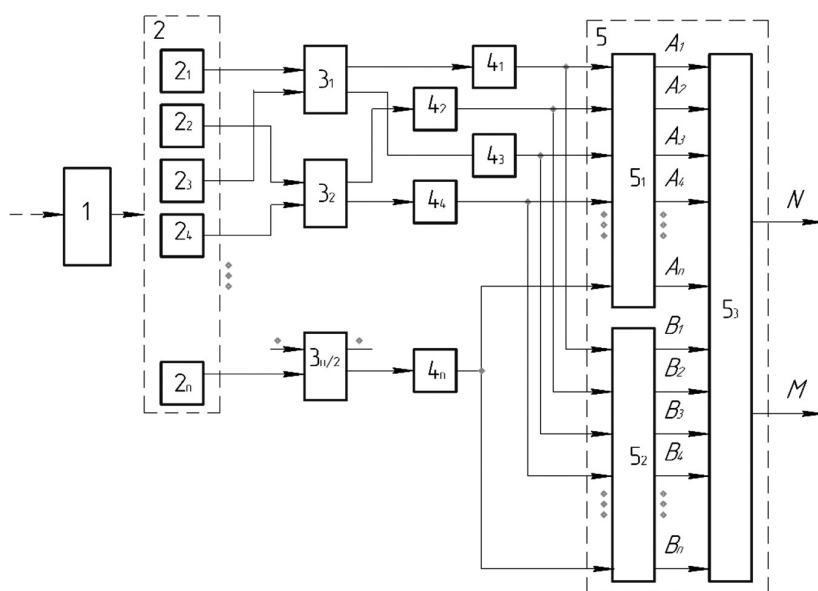


Рис. 1. Структурная схема приемного канала индикатора

световое пятно в плоскости изображений, при нахождении источника подсвета на границе двух прилегающих друг к другу секторов наблюдения, будет накладываться на обе соседних полосы, что и обеспечит достижение индикатором увеличенного (в два раза) углового разрешения, то есть доведение его до уровня $\Omega_{\text{зр}} / 2n$. Блок электронной обработки сигналов 5 состоит из трех субблоков — 5_1 , 5_2 и 5_3 . Субблоки 5_1 и 5_2 , связанные с выходами усилителей $4_1 \dots 4_n$, обеспечивают дальнейшее усиление и обработку сигналов после прохождения ими частотных полос пропускания, соответствующих нижней и верхней частотам регистрируемых излучений — импульсного (в субблоке 5_1) и модулированного (в субблоке 5_2). С выходов $A_{1 \dots n}$ и $B_{1 \dots n}$ этих блоков сигналы поступают на входы субблока 5_3 , выполняющего операции по измерению временных параметров выделенных сигналов и транслированию во внешнюю сеть информации с выхода N — об азимутальной ориентации источника подсвета, с выхода M — о типе источника подсвета (дальномер, целеуказатель, лучевая система наведения).

Одна из возможных схем оптического узла устройства (шаровидный концентрический объектив) и диаграммы пятен рассеяния излучения при разных углах падения представлены на рис. 2. Использование в качестве фокусирующего объектива линзового однокомпонентного шаровидного объектива значительно упрощает конструкцию оптического узла устройства и характеризуется невысокой стоимостью. В качестве объектива такого типа могут быть использованы объектив на основе шаровой линзы [12] или шаровидный концентрический объектив [13]. Подобные объективы являются простыми в изготовлении, характеризуются высокой светосилой при большом поле зрения, незначительными потерями света и низким светорассеянием. При установке в его фокальной плоскости фотоприемника, состоящего из $2n$ чувствительных элементов, симметрично расположенных относительно оптической оси объектива и выполненных в виде одинаковых прямоугольных полосок, имеющих ширину k и длину d , параметры объектива и фотоприемника будут связаны следующим соотношением:

$$nk + (2n - 1)\Delta = f \operatorname{tg}(\alpha / 2), \quad d = 2f \operatorname{tg}(\beta / 2),$$

где f — фокусное расстояние объектива;

α — угол поля зрения объектива по азимуту;

β — угол поля зрения объектива по углу места;

Δ — ширина зазора между чувствительными элементами.

Из расчетов, приведенных на рис. 2 видно, что диаметр наибольшего пятна рассеяния в выбранной плоскости фокусировки, соответствующее углу падения излучения в 0° , составляет 321 мкм. Пятно рассеяния излучения при угле падения 45° имеет диаметр 277 мкм и его центр находится на расстоянии 2,97 мм от оптической оси системы. Размер двух полосок и зазора между ними составляет 630 мкм, что практически в два раза больше максимального диаметра пятна и поэтому в диапазоне изменения углов падения от 0° до 45° всегда засвечено не более, чем две полоски. Общая длина фоточувствительной области, включая зазоры, составляет 9,87 мм.

Функциональная схема формирования сигналов обнаружения представлена на рис. 3. Для сопряженных фотодиодов 2_1 и 2_3 , она включает в себя разветвитель фототоков 3_1 и связанные с его выходами емкостной связью операционные усилители 4_1 и 4_3 . Разветвитель состоит из резисторов $R_1 \dots R_5$, из которых R_1 — нагрузочный резистор, включенный последовательно с сопряженными чувствительными элементами, подключенными к соответствующим полюсам двух источников питания $U_{\text{см}}$, а $R_2 \dots R_5$ — опорные, выполняющие функции делителей напряжения на входах усилителей. Резисторы образуют разветвление фототоков I_1 и I_3 таким образом, что на выходе усилителя 4_1 появляется сигнал отрицательной (рабочей) полярности, если выполняется соотношение $I_1 \geq (4 \dots 5)I_3$, а на выходе усилителя 4_3 — сигнал положительной (рабочей) полярности, если выполняется соотношение $I_3 \geq (4 \dots 5)I_1$.

Сигналы на выходах усилителей с полярностью, противоположной рабочей, субблоками 5_1 и 5_2 не обрабатываются.

В частной форме реализации устройства фоточувствительные элементы могут быть выполнены на основе Ge и представляют собой прямоугольные полоски шириной $k = 0,3$ мм и длиной $d = 4$ мм с зазором между ними $\Delta = (0,015 \dots 0,030)$ мм. Фотоприемники подобной топологии в настоящее время могут быть

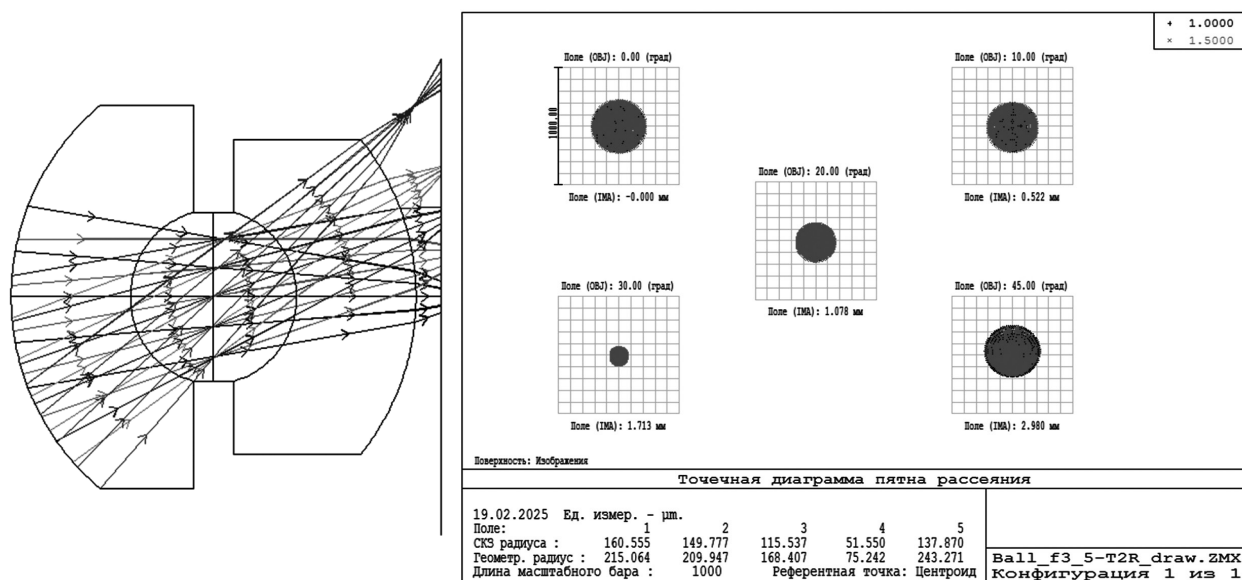


Рис. 2. Оптическая схема объектива приемного канала и диаграммы пятна рассеяния в выбранной плоскости фокусировки при разных углах падения излучения

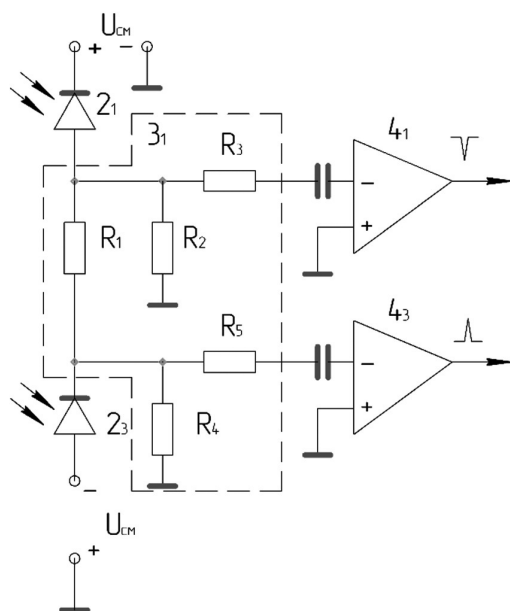


Рис. 3. Функциональная электрическая схема узла формирования сигналов обнаружения

изготовлены по технологии, представленной на электронном ресурсе [14].

Расчет показывает, что при числе элементов $2n = 30$ и выполнении объектива из стекла марки СТК-15 в виде шаровидного концентрического объектива с фокусным расстоянием $f = 4,8$ мм, поле зрения по азимуту составит $91,6^\circ$, а по углу места — $45,2^\circ$. Угловое поле, соответствующее величине $(k + \Delta) = 0,33$ мм будет равно $3,9^\circ$.

Для дифференциальных схем и блока усиления могут быть применены операционные усилители. Логическая часть блока обработки сигналов 5, может быть построена на базе, рис. 1 программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) или микроконтроллера. Блок обработки сигналов 5 может быть выполнен с возможностью обмена информацией с внешними устройствами [15].

Согласно результатам выполненных экспериментальных исследований макетного образца пеленгатора с указанным выше вариантом исполнения его фотоприемной части в спектральном диапазоне (0,9...1,6) мкм значения минимальной (пороговой) чувствительности составили 10^{-11} Дж/см² при регистрации импульсного излучения и (10^{-9} ... 10^{-8}) Вт/см² модулированного излучения.

Полагаем, что двухканальный индикатор подобного типа может оказаться способным регистрировать своей приемной частью и факт атаки управляемой ракетой FGM-148 (Javelin) с тепловой головкой самонаведения, демаскирующей себя излучением факела двигательной установки при старте с наземного носителя [11]. Проверка такой возможности явится предметом исследований на дальнейших этапах работы.

Выводы

1. За десятилетия развития танковая аппаратура индикации лазерного подсвета стала обязательным элементом комплексов защиты бронетехники от управляемого оружия.

2. Предложенные для реализации технические решения и алгоритмы обработки информации (светосильный объектив, линейчатый фотоприемник с вертикальным расположением чувствительных площадок, сравнение сигналов по амплитуде смежных каналов, выработка сигналов разрешения на считывание информации и др.) способны обеспечить решение довольно сложной задачи по регистрации индикатором как импульсного, так и модулированного лазерных излучений.

Список источников

1. Евдокимов В.И., Гуменюк Г.А., Андрущенко М.С. Неконтактная защита боевой техники. СПб.: Реноме, 2009. 176 с.
2. Степанов В.В., Андрущенко М.С., Борисов Е.Г. и др. Методы и средства защиты бронетехники; под ред. Степанова В.В. СПб.: Реноме, 2017. 312 с.
3. Coleman C.I. Laser Threat Warning. A Growing Need on the Modern Battlefield // International Defense Review. Switzerland, Cointrin-Geneva. 1986. No 7. Pp. 965–967.

4. Алешин А. Средства обнаружения источников лазерного излучения // Зарубежное военное обозрение. 1995. № 2. С. 48–52.

5. Ogorkiewicz R.M. Detection and Obscuration Counter Anti-Armor Weapons. Development of active protection systems for combat vehicles is slowly gathering momentum // Jane's International Defense Review. January 2003. Pp. 49–53.

6. Гуменюк Г.А., Евдокимов В.И., Кравченко Ю.М. Танковый комплекс оптико-электронного противодействия // Защита и безопасность. 1999. С. 47–49.

7. Васильченко И.И., Глебов В.В., Роленко С.А. и др. О возможности создания индикаторов лазерного излучения с качественно новыми характеристиками // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Харьков. 2013. № 1 (60). С. 15–22.

8. Абрамов А.И., Гуменюк Г.А., Евдокимов В.И. и др. Опыт оснащения бронетехники аппаратурой регистрации лазерного излучения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. № 2. 2015. С. 50–56.

9. Абрамов А.И., Иванов Б.И., Старкин Ю.А. и др. Основные тенденции развития датчиков лазерного излучения // Электронный научно-технический журнал «Контенант». 2015. № 3. С. 19–26.

10. Устройство пеленгации точечного источника излучения: пат. RU2390790C2 Рос. Федерация. № 2008112833/09; заявл. 02.04.08; опубл. 27.05.10, Бюл. № 25. 4 с.

11. Гречищев А.В., Гуменюк Г.А., Евдокимов В.И. Об алгоритме решения задачи по обнаружению и идентификации атакующей танк управляемой ракеты по излучению факела ее маршевого двигателя // Труды XXI ВНПК «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т. 3. 2018. С. 159–161.

12. Шаровые линзы: принцип работы и основные приложения. URL: https://inscience.ru/library/article_post/sharovye-linzy (дата обращения: 27.06.2025).

13. Попов Г.М. Современная астрономическая оптика. М.: Наука, 1988. 192 с.

14. ООО «МЕРИ» — Микроэлектроника. Разработка и изготовление фотоприемных устройств. URL: <https://mery.spb.ru> (дата обращения: 04.03.2025).

15. Устройство для обнаружения источника лазерного излучения: пат RU233078U1 Рос.

Федерация. № 233078; заявл. 24.12.24; опубл. 03.04.25, Бюл. № 10. 9 с.

References

1. Evdokimov V.I., Gumenyuk G.A., Andryushchenko M.S. Noncontact defense of military equipment. St. Petersburg: Renome, 2009. 176 p.
2. Stepanov V.V., Andryushchenko M.S., Borisov E.G. et al. Methods and means of armored vehicles protection; ed. by Stepanov V.V. SPb.: Renome, 2017. 312 p.
3. Coleman C.I. Laser Threat Warning. A Growing Need on the Modern Battlefield // *International Defense Review*. Switzerland, Cointrin-Geneva. 1986. No 7. Pp. 965–967.
4. Aleshin A. Means of detection of laser radiation sources // *Zarubezhnoe Voennoe Obozrenie*. 1995. No 2. Pp. 48–52.
5. Ogorkiewicz R.M. Detection and Obscuration Counter Anti-Armor Weapons. Development of active protection systems for combat vehicles is slowly gathering momentum // *Jane's International Defense Review*. January 2003. Pp. 49–53.
6. Gumenyuk G.A., Evdokimov V.I., Kravchenko Yu.M. Tank complex of optoelectronic countermeasure // *Defense and Security*. 1999. Pp. 47–49.
7. Vasilchenko I.I., Glebov V.V., Rolenko S.A. About the possibility of creation of the laser radiation indicators with qualitatively new characteristics // *Radioelektronni i comp'yuterni sistemy*. Kharkov. 2013. No 1 (60). Pp. 15–22.
8. Abramov A.I., Gumenyuk G.A., Evdokimov V.I. Experience of equipping the armored vehicles with the laser radiation registration equipment // *Proceedings of Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences*. No 2. 2015. Pp. 50–56.
9. Abramov A.I., Ivanov B.I., Starkin Yu.A. et al. Main tendencies of the laser radiation sensors development (in Russian) // *Electronic scientific and technical journal «Contentant»*. 2015. No 3. Pp. 19–26.
10. Direction finding device of the point radiation source: patent RU2390790C2 Russian Federation. No. 2008112833/09; announced on 04/02/08; published on 05/27/10, Bul. No 25. 4 p.
11. Grechishchev A.V., Gumenyuk G.A., Evdokimov V.I. About the algorithm of solving the problem of detection and identification of a guided missile attacking a tank by the radiation of the flare of its marching engine // *Proceedings of the XXI All-Russian Scientific and Practical Complex «Actual Problems of Protection and Security»*. Vol. 3. 2018. Pp. 159–161.
12. Electronic resource URL: https://inscience.ru/library/article_post/sharovye-linzy (date of access: 27.06.2025)
13. Popov G.M. Modern astronomical optics. Moscow: Nauka, 1988. 192 p.
14. «MERI» LLC — Microelectronics. Development and manufacture of photodetector devices. URL: <https://mery.spb.ru> (date of access: 04.03.2025).
15. Device for laser radiation source detection: pat RU233078U1 Russian Federation. No. 233078; application no. 12/24/24; publ. 04/03/25, Bul. No 10. 9 p.