

УДК 621.383, 621.375.826, 623.4.023.4

В. В. ГЛЕБОВ¹, С. А. РОЛЕНКО¹, Н. А. ПРОХОРОВ²¹ ГП "ХКБМ им. А.А. Морозова", Харьков, Украина² КБ "Щит", Харьков, Украина

СИНТЕЗ, ОЦЕНКА И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДИКАТОРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Проведен синтез, оценка и выбор оптимальных характеристик индикаторов лазерного излучения. Выполнен расчет энергетических характеристик индикаторов. Получены зависимости плотности энергии излучения от различных факторов - дальности до источника излучения, удаления от оси излучения и т.д. Выявлено, что зависимость энергии в поперечном сечении лазерного пучка от угла отклонения от оси подчиняется нормальному закону распределения, а на минимальную плотность энергии излучения, попадающего на индикаторы, влияет размещение их на объекте. Определены характеристики индикаторов лазерного излучения, направленные на повышение эффективности комплексов противодействия с их использованием.

Ключевые слова: индикатор, лазерное излучение, синтез, ось излучения, дальность, плотность энергии, обнаружение, оптимальный, эффективность.

Введение

В настоящее время существует несколько методов построения систем обнаружения электромагнитного излучения для защиты боевых бронированных машин (ББМ). Сущность всех их сводится к обнаружению облучения объекта и принятию соответствующих контрмер [1].

Индикаторы лазерного излучения в качестве приемников электромагнитного облучения являются основной составной частью как информационных систем (систем обнаружения), предназначенных для обнаружения средств разведки, и систем наведения оружия и информирования об опасности (рис.1), так и систем / комплексов противодействия, обеспечивающих обнаружение и последующее нарушение функционирования, снижение эффективности вышеуказанных средств противника [2].

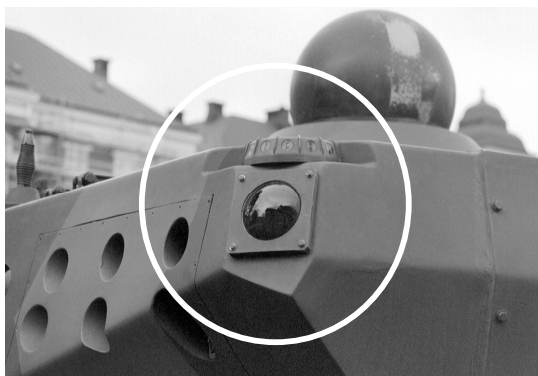


Рис. 1. Индикатор лазерного излучения LWD 2

От параметров индикаторов лазерного излучения зависит эффективность той или иной системы, её вклад в защищённость объекта в целом. Проведённые исследования показали, что возможности по созданию индикаторов лазерного излучения с качественно новыми характеристиками имеются [3].

Анализ последних достижений и публикаций

Вопросы улучшения характеристик индикаторов излучения рассматриваются, как правило, в совокупности решения задач по системам в целом – будь то информационные системы либо системы / комплексы противодействия. Определены принципиальные возможности разведки оптико-электронных средств противника и создания систем обнаружения, работающих в конкретном диапазоне [4], обсуждаются направления развития систем обнаружения в различных диапазонах длин волн [5].

В последние несколько лет публикации, в основном, носят обзорный характер (рассматриваются пути развития и перспективы ББМ [6]; особенности конструкций, их достоинства и недостатки, проблемные вопросы обнаружения средств поражения [7]) или посвящены конкретным разработкам [8, 9] и оценке эффективности обнаружения в целом [10].

В области военно-технических исследований подробно рассмотрены вопросы синтеза, изложены современные методологические и методические основы этого процесса [11]. Но речь идёт о решении

задач систем вооружения и военной техники – тактико-технических характеристиках, функциональном назначении и т.д.

Параметрическому синтезу составных частей и отдельных элементов комплекса защиты (противодействия системам наведения оружия), определению их оптимальных характеристик внимания практически не уделяется. Исключением являются исследования в области защитных устройств динамического типа [11, 12].

Целью данной работы является синтез, оценка и выбор оптимальных характеристик индикаторов лазерного излучения.

Постановка задачи

Индикаторы лазерного излучения комплекса оптико-электронного противодействия, разработанные ещё в Советском Союзе, обеспечивают обнаружение лазерного излучения с длиной волны $\lambda=1,06$ мкм [13]. Повышение эффективности указанных комплексов напрямую связано с качественным улучшением характеристик индикаторов лазерного излучения. Для этого необходимо выбрать их оптимальные параметры.

Оптимизация характеристик индикаторов лазерного излучения

Для проведения расчета энергетических характеристик индикаторов лазерного излучения [14, 15] принимаем следующие исходные данные:

- энергия лазерного излучения в угле расходимости 0,8 т.е. – $E_{0,5}=2 \cdot 10^{-2}$ Дж ;

- минимальная пороговая энергия на входе индикатора лазерного излучения –

$$E_{\min} = 3 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2} ;$$

- коэффициент пропускания среды (атмосферы) – $\nu=0,8$;

- расходимость лазерного пучка – $\delta=0,0008$.

Поскольку угловое распределение энергии лазерного излучения подчиняется нормальному закону распределения, то для определения удельной энергии в любой точке пространства необходимо определить дисперсию σ . Для этого используем нормальный закон распределения и принимаем угол расходимости энергии α по уровню 0,5. В таком случае:

$$\alpha = a \tan\left(\frac{\delta}{2}\right), \quad (1)$$

где a – коэффициент пропорциональности.

Тогда

$$\sigma = \sqrt{\frac{-\alpha^2}{2 \cdot \ln(0,5)}}. \quad (2)$$

Нормальный закон распределения в общем виде представляет собой следующее выражение:

$$f(\alpha) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}}. \quad (3)$$

Нормированный закон распределения плотности энергии лазерного излучения от угла наблюдения можно представить в виде:

$$k(l, b) = \left(\frac{f(0)}{f\left(a \tan\left(\frac{b}{l}\right)\right)} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где l – дальность до источника лазерного излучения; b – расстояние от оси лазерного излучения до границы с заданной плотностью энергии / радиус окружности с заданной плотностью энергии.

Для случая $b=2,5$ м и $l=1000-10000$ м нормированный закон распределения плотности энергии лазерного излучения от угла наблюдения представлен на рис. 2.

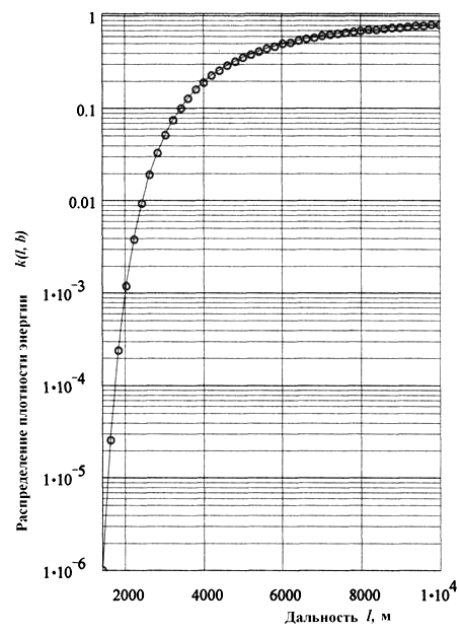


Рис. 2. Закон распределения плотности энергии лазерного излучения от угла наблюдения

В реальных условиях плотность энергии определяется расходимостью лазерного излучения, дальностью и коэффициентом пропускания окружающей среды (в нашем случае – атмосферы). Учитывая это, выражение зависимости плотности энергии лазерного излучения e от дальности l и радиуса удаления от оси лазерного излучения b выглядит как:

$$e(l,b) = \left[\frac{E_{0,5} \cdot \nu}{\pi(100l)^2 \cdot \left(\frac{\delta}{2}\right)^2} \right] \cdot k(l,b). \quad (5)$$

Зависимости плотности энергии при удалении от оси лазерного излучения на расстояния b , равные 1,0 м, 1,5 м и 2,5 м, при дальностях l от 1000 м до 10000 м представлены на рис. 3.

Величины плотности энергии лазерного излучения e для трёх значений дальности при радиусах удаления от оси излучения 2,5 м и 1,5 м, исходя из полученных зависимостей, приведены в табл. 1

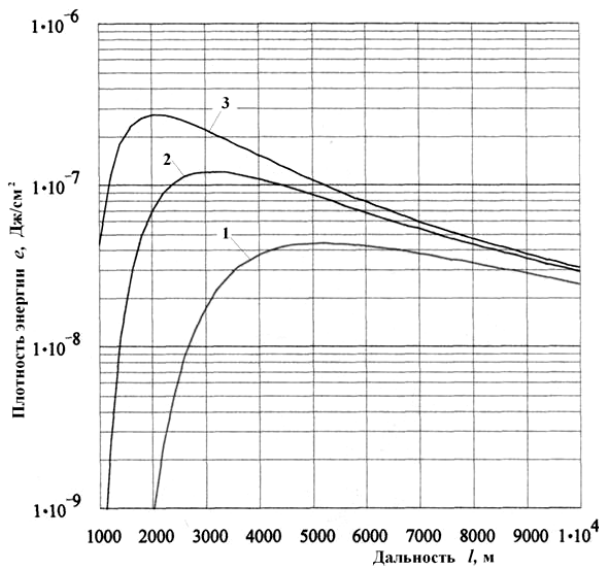


Рис. 3. Зависимость плотности энергии от удаления от оси лазерного излучения b и дальности до его источника l :
1 – $b=2,5$ м ; 2 – $b=1,5$ м ; 3 – $b=1,0$ м

Таблица 1
Величина плотности энергии лазерного излучения e , Дж/см²

№ п/п	Дальность, м	Радиус удаления от оси излучения, м	
		1,5	2,5
1	1 000	$2,791 \cdot 10^{-10}$	$8,318 \cdot 10^{-18}$
2	1 500	$2,788 \cdot 10^{-8}$	$1,261 \cdot 10^{-11}$
3	2 000	$1,044 \cdot 10^{-7}$	$1,371 \cdot 10^{-9}$

Из выражения (5) находим зависимость расстояния от оси лазерного излучения b_1 до окружности с заданной плотностью энергии:

$$b_1(l, E_{\min}) = l \times \tan \left[\sqrt{-2\sigma^2 \cdot \ln \left[\frac{E_{\min}}{E_{0,5} \cdot \nu} \pi(l)^2 \left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 \right]} \right], \quad (6)$$

Результаты расчёта для трёх значений плотности энергии представлены на рис. 4.

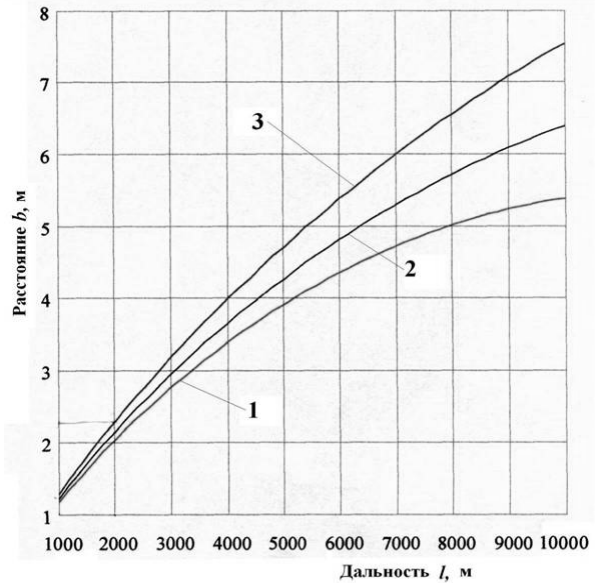


Рис. 4. Расстояние от оси лазерного излучения b_1 до окружности с заданной плотностью энергии: 1 – $e=5 \cdot 10^{-8}$ Дж/см² ;
2 – $e=E_{\min}=3 \cdot 10^{-8}$ Дж/см² ; $e=1,5 \cdot 10^{-8}$ Дж/см²

В результате расчета энергетических характеристик индикаторов лазерного излучения с учётом параметров лазерного излучения - диаметра пятна излучения, попадающего на цель (объект защиты), его размещения по силуэту цели и распределения энергии по пятну выявлено, что:

1. Зависимость энергии в поперечном сечении лазерного пучка от угла отклонения от оси подчиняется нормальному закону распределения – закону Гаусса.

В случае размещения индикаторов в верхней части объекта плотность энергии излучения, попадающего на индикаторы при работе дальномера по силуэту объекта с дальностями (1–2) км, может составлять $(8,318 \cdot 10^{-18} - 1,261 \cdot 10^{-11})$ Дж/см². Это связано с возможностью реального расположения энергетического центра / оси лазерного излучения на высоте до 0,5 м от земли и со смещением в сторону от индикаторов лазерного излучения до 2 м.

2. При размещении индикаторов лазерного излучения равномерно по периметру в средней части объекта минимальная плотность энергии излучения, попадающего на них, может составлять от $2,791 \cdot 10^{-10}$ Дж/см² до $1,044 \cdot 10^{-7}$ Дж/см², что позволит значительно повысить эффективность обнаружения излучения.

Таким образом, повышение эффективности комплексов противодействия с использованием индикаторов лазерного излучения, может быть реализовано в следующих направлениях:

- повышение параметров обнаружения лазерного излучения за счёт изменения схемы размещения и количества индикаторов лазерного излучения;
- применение индикаторов лазерного излучения смешанной конструкции – для обнаружения излучения с длиной волны λ , равной 1,06 мкм; 1,54 мкм и 10,6 мкм,
- увеличение чувствительности индикаторов лазерного излучения и применение метода обнаружения облучения – как по прямому, так и по рассеянному или отраженному сигналам.

Выводы

Определены характеристики индикаторов лазерного излучения, направленные на повышение эффективности комплексов противодействия с их использованием:

- размещение – в средней части объекта защиты равномерно по периметру;
- воспринимаемое облучение – лазерное излучение с длинами волн 1,06 мкм и 1,54 мкм; в перспективе, при соответствующем развитии систем наведения оружия, – излучение с длиной волны 10,6 мкм;
- воспринимаемая плотность энергии – не менее $5 \cdot 10^{-8}$ Дж/см²;
- конструктивное исполнение – обнаружение прямого и рассеянного / отраженного сигналов облучения.

Литература

1. Вершинин, В. И. Системы активной защиты бронетехники [Текст] / В. И. Вершинин // *Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления (Серия «Вооруженные силы и военно-промышленный потенциал»)*. – 2008. – №4. – С. 22-37.
2. Глебов, В. В. Анализ методов построения средств защиты боевых бронированных машин с использованием систем обнаружения электромагнитного излучения и их технической реализации [Текст] / В. В. Глебов // *Артиллерийское и стрелковое вооружение*. – 2010. – № 3. – С. 26-37.
3. О возможности создания индикаторов лазерного излучения с качественно новыми характеристиками [Текст] / В. В. Глебов, И. И. Васильченко, В. В. Кислов [и др.] // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2013. – № 1. – С. 15-22.

комп'ютерні системи. – 2013. – № 1. – С. 15-22.

4. Костин, В. П. Поисковые возможности танковых лазерных локационных станций по обнаружению оптико-электронных средств [Текст] / В. П. Костин // *Оборонная техника*. – 1987. – № 5. – С. 58-60.
5. Ogorkiewicz, R. M. Detection and Obscuration Counter Anti-Armor Weapons. Development of active protection systems for combat vehicles is slowly gathering momentum [Text] / R. M. Ogorkiewicz // *Jane's International Defense Review*. – January 2003. – P. 49-53.
6. Бронированные боевые машины: их развитие и перспективы [Текст] // *Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств – участников СНГ и технических средствах его выявления*. Серия: "Вооруженные силы и военно-промышленный потенциал". – 2007. – № 12. – С. 36-39.
7. Keeping Harm at Bay [Text] / *Armada International*. – 2001. – № 5. – P. 66, 68, 70, 72, 74, 76.
8. Прохоров, К. Я. Системы информации об окружающей обстановке [Текст] / К. Я. Прохоров // *Army Guide Monthly*. – 2008. – № 11 (50). – С. 10-11.
9. Барабанов, А. Д. Повышение информативности средств разведки комплексов защиты наземных объектов от ВТО [Текст] / А. Д. Барабанов, С. О. Птицын // *Труды Юбилейной научно-технической конференции, посвященной 30-летию образования ЦНИИРЭС*. – М. : АО "ЦНИИРЭС", 2001. – С. 168-171.
10. Горбунов, В. А. Эффективность обнаружения целей [Текст] / В. А. Горбунов. – М. : Воениздат, 1980. – 160 с.
11. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения [Текст] : монография : в 4-х т. Т. 1. Синтез систем вооружения и военной техники / А. П. Ковтуненко, В. В. Зубарев, Б. Н. Ланецкий [и др.]; под. ред. А. П. Ковтуненко. – К. : Издательский дом Дмитрия Бураго, 2011. – 504 с.
12. Синтез, оценка и выбор рациональных вариантов технических решений при разработке защитных устройств динамического типа для боевых бронированных машин [Текст] / С. В. Лапицкий, И. Б. Чепков, М. И. Васьковский [и др.] // *Артиллерийское и стрелковое вооружение*. – 2006. – № 3. – С. 15-21.
13. Тарасенко, А. Комплекс оптико-электронного подавления «Штора-1» [Электронный ресурс] / А. Тарасенко. – Режим доступа: <http://btvt.narod.ru/4/shtora1/shtora1.htm>. – 15.02.2013.
14. Мирошников, М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов [Текст] / М. М. Мирошников. – М. : Машиностроение, 1977. – 600 с.
15. Якушенков, Ю. Г. Теория и расчёт оптико-электронных приборов [Текст] / Ю. Г. Якушенков. – М. : Логос, 1999. – 480 с.

Поступила в редакцію 02.04.2014, рассмотрена на редколлегии 19.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник кафедры теоретической радиофизики В. Н. Быков, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Харьков.

СИНТЕЗ, ОЦІНКА І ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНДИКАТОРІВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

В. В. Глебов, С. О. Роленко, М. О. Прохоров

Проведено синтез, оцінку і вибір оптимальних характеристик індикаторів лазерного випромінювання. Виконано розрахунок енергетичних характеристик індикаторів. Отримано залежності щільності енергії випромінювання від різних факторів - дальності до джерела випромінювання, видалення від осі випромінювання та ін. Виявлено, що залежність енергії в поперечному перерізі лазерного пучка від кута відхилення від осі підкоряється нормальному закону розподілу, а на мінімальну щільність енергії випромінювання, що падає на індикатори, впливає розміщення їх на об'єкті. Визначено характеристики індикаторів лазерного випромінювання, спрямовані на підвищення ефективності комплексів протидії з їх використанням.

Ключові слова: індикатор, лазерне випромінювання, синтез, вісь випромінювання, дальність, щільність енергії, виявлення, оптимальний, ефективність.

SYNTHESIS, EVALUATION, AND SELECTION OF OPTIMAL CHARACTERISTICS OF LASER IRRADIATION INDICATORS

V. V. Glebov, S. A. Rolenko, N. A. Prokhorov

Synthesis, evaluation, and selection of optimal characteristics of laser irradiation indicators have been performed. Characteristics of energy of indicators have been calculated. Dependences of irradiation energy density on various factors (irradiation source distance, distance from the irradiation axis, etc.) have been determined. It has been found out that the dependence of energy in the cross section of a laser beam on the angle of deviation from the axis is subject to the normal law of distribution, and the minimal density of energy and irradiation that reaches the indicators is influenced by their location on the vehicle. Determined are the characteristics of laser irradiation indicators that are aimed at enhancement of efficiency of countermeasures systems fitted with indicators of the kind.

Key words: indicator, laser irradiation, synthesis, irradiation axis, distance, density of energy, detection, optimal, efficiency.

Глебов Васильй Васильевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., зам. главного конструктора, ГП "ХКБМ им. А. А. Морозова", Харьков.

Роленко Сергей Александрович – начальник отдела, ГП "ХКБМ им. А. А. Морозова", Харьков.

Прохоров Николай Алексеевич – ведущий специалист, КБ "Щит", Харьков.