

4. Варава, Н. Активные компоненты волоконной оптики в системах управления технологическими процессами / Н. Варава, М. Никоноров, С. Пронин // Электроника. – 2013. – № 7. – С. 86–93.

5. Коновалов, Г.Г. Создание и исследование высокоэффективных быстродействующих фотодиодов для средней ИК-области спектра на основе узкозонных гетероструктур: дис. ... к-та физ.-мат. наук: 01.04.10 / Г.Г. Коновалов. – СПб., 2014. – 168 л.

6. Спектральный метод измерения изменений временных интервалов между периодическими последовательностями импульсов / А.А. Шейников, А.В. Исаев, В.В. Зеленко, Ю.В. Суходолов // Приборы и методы измерений. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 42–51.

7. Методы и средства электрооптической модуляции излучения ИК области спектра / В.А. Пилипович, А.И. Конойко, А.М. Поликанин // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – № 4(9). – С. 54–59.

УДК 53.06+62-1/-9

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПОСТАНОВКИ ЗРИТЕЛЬНЫХ ПОМЕХ Терехова М.С., Рудиков С.И., Свибович И.В., Шабета Ю.М., Шкадаревич А.П.

*Научно-технический центр «ЛЭМТ» БелОМО
Минск, Республика Беларусь*

Введение. Специфика современной политической обстановки и текущий уровень развития техники и технологий привели к актуализации проблемы разработки оружия нелетального действия (ОНД). Воздействие ОНД отличается гуманностью (отсутствие стремления нанести непоправимый урон, совместимый с потерей жизни), адекватностью и достаточностью. Одним из направлений развития ОНД является разработка оружия, основанного на временном ослеплении живой силы противника. Использование указанного типа ОНД объясняется существованием осознанного или неосознанного страха зрячего человека ослепнуть, что позволяет проводить эффективное задержание нарушителя [1]. При этом выбирается длина волны излучения, соответствующая максимуму относительной спектральной чувствительности человеческого глаза в ночное и дневное время (507 нм–555 нм) [2]. Если энергия излучения превышает некоторую пороговую величину, необходимую для нормального протекания фотохимических реакций, происходящих с хромофромом фоторецепторных клеток сетчатки, может произойти ряд негативных последствий: фотоакустическое, фототермическое и фотохимическое повреждение хрусталика, роговицы и сетчатки, проявляющиеся в различных заболеваниях глаза и слепоте [3]. В связи с этим разработка оружия временно ослепляющего действия, а именно лазерного оружия (ЛО) находится под контролем протокола IV 1995 г. конвенции ООН 1980 г. [4].

В настоящее время на рынке представлен ряд устройств, вызывающих временное ослепление – продукты компаний В. Е. Meyers Advanced Photonics (GLARE MOUNT и его модификации), Laser Energetics (Dazer Laser в различных вариантах исполнения), Thales Group (GLOW) и др. [5]. Также система комплексного нелетального воздействия, включающая в себя ЛО, находится на вооружении Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации [6].

В Республике Беларусь разрабатывается комплекс, обеспечивающий постановку помех посредством воздействия на зрительную систему

человека. В связи с этим целью работы является определение критериев оценки эффективности действия системы постановки помех.

Материалы и методы. Разработка «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО» представляет собой устройство, работающее в трех каналах с длинами волн $\lambda = 525$ нм, 640 нм, 808 нм. Заявленная выходная мощность для каждого канала составляет 3 Вт. Расходимость излучения варьируется в зависимости от канала (от 0,58 до 7,2 мрад). Постановка зрительных помех нарушителю и/или оптическим системам осуществляется в каналах $\lambda = 525$ нм и $\lambda = 640$ нм. Канал $\lambda = 808$ нм предназначен для обнаружения замаскированных и открытых оптических приборов нарушителя. Само устройство устанавливается на опорно-поворотную платформу и дает возможность регулирования эффективности воздействия за счет предварительного наведения на цель, определения расстояния до нее с помощью дальномера и автоматической подстройки мощности излучения.

Результаты и обсуждение. Эффективность действия устройств временного ослепления можно оценить с помощью ряда критериев. Одним из способов является сравнение значений характеристик с существующими предельно допустимыми уровнями, указанными в стандартах. Однако такой способ не дает возможности более точного описания эффективности работы устройств на заданном расстоянии. Мы предлагаем выделить дополнительные энергетические зоны с использованием граничных значений, указанных в ГОСТ 60825-1-2013/СТБ 60825-1-2011 и ICAO (Doc 9815-AN/447, 2003).

Класс опасности лазера позволяет определить максимальный уровень интенсивности лазерного излучения (ЛИ), при увеличении интенсивности до которого происходит дестабилизация зрения, а также возрастает риск необратимого повреждения особенно при длительном наблюдении. Предельные плотности мощности ЛИ для лазеров классов опасности 3R и 3B для длин волн $\lambda = 400$ –700 нм и длительностью длительности излучения, соответствующей мигательному рефлексу 0,25 с

составляют 130 Вт/м² и 12992 Вт/м². Также по ГОСТ 60825-1-2013 и СТБ 60825-1-2011 [7] установлено значение предельно допустимого уровня (ПДУ) ЛИ. До этого значения объект может быть облучен без неблагоприятных последствий. Значение ПДУ от точечного источника $\lambda = 400 - 700$ нм на роговице при длительности экспозиции 0,25 с и составляет 25 Вт/м².

В то же время, опираясь на руководство по лазерным излучателям в аспекте безопасности полетов, внутри области допустимых значений мощности можно выделить дополнительные зоны, характеризующие степень получаемых эффектов при попадании ЛИ на глаза. Так, в соответствии с ICAO (Doc 9815-AN/447, 2003) [8] в непосредственной близости от аэродрома выделяют зоны полетов в зависимости от причиняемого ущерба зрению летчиков (по убыванию эффекта – уязвимая, критическая, свободная).

Основываясь на вышеуказанных параметрах [7, 8] нами были выделены зоны с присвоенными им баллами опасности (от 1 «полностью безопасно» до 6 «запрещенная») для более наглядного описания эффективности действия устройств временного ослепления.

По данной классификации «запрещенной» является зона (шесть баллов), где плотность мощности ЛИ превышает допустимую для лазеров 3В класса опасности ($E = P/S > 12992$ Вт/м²). Облучения глаза в этом диапазоне крайне опасно даже при кратковременном воздействии. Глаз наблюдателя, находящейся в пятибалльной «опасной» зоне ($E = P/S \in [25; 12992]$ Вт/м²), будет временно ослеплен, при этом вероятность нанесения физического ущерба достаточно велика. Зона с четырехбалльной опасностью ($E = P/S \in [1; 25]$ Вт/м²) классифицирует как зона «временного ослепления», поскольку в соответствии с ICAO (Doc 9815-AN/447, 2003) она обеспечит проявление длительных зрительных постэффектов. Три балла принадлежат зоне «дискомфорта» ($E = P/S \in [0,05; 1]$ Вт/м²). ЛИ с указанной плотностью мощности будет обладать ослепляющим эффектом, при этом любые негативные последствия на глаза исключаются. Двухбалльная зона является зоной «оповещения» ($E = P/S \in [0,0005; 0,05]$ Вт/м²), поскольку плотности мощности излучения недостаточна для возникновения временного ослепления, но достаточно велика, чтобы предупредить/осветить мишень. Один балл имеет «полностью безопасная» зона ($E = P/S < 0,0005$ Вт/м²), поскольку излучение данной плотности мощности не способно привести к каким-либо негативным эффектам.

Используя формулу 1 и известные характеристики устройств, можно произвести теоретический расчет плотности мощности излучения на

различном расстоянии от излучателя и расстояний, на которых проявляются те или иные эффекты от выбранного устройства.

$$E = \frac{P}{\pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2} \cdot L^2} \quad (1)$$

где E – предельная допустимая плотность мощности излучения, Вт/м²; L – расстояние от излучателя, на котором плотность мощности равна предельной, м; P – мощность излучателя, Вт; L – расстояние от излучателя, м; φ_1, φ_2 – углы расходимости ЛИ по обеим осям.

Таким образом, предложенная схема пространственных зон позволяет совершать предварительную оценку действия систем временного ослепления в аспекте воздействия на глаз наблюдателя. Основываясь на описанной схеме и расчете по формуле 1 ($\varphi_1 \times \varphi_2 = 4 \times 5$ мрад, $P = 3$ Вт) эффект действия комплекса временного ослепления (зеленого канала), разрабатываемого в Республике Беларусь «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО», попадает в «запрещенную» зону на дальностях менее 3 м, в «опасную» зону – до ~ 90 м, в зону «временного ослепления» – до ~ 0,5 км, в «дискомфортную зону» – до ~ 2 км, в зону «оповещения» – до ~ 20 км. На расстояниях более 20 км излучение является полностью безопасно.

Литература

1. Peters, A. Blinding Laser Weapons: New Limits on the Technology of Warfare / A. Peters. – Vol. 18. – P. 35.
2. Schubert, E.F. Light-Emitting Diodes / E.F. Schubert. – Cambridge University Press, 2006. – 433 p.
3. Reidenbach, H.-D. Temporary Blinding Limits versus Maximum Permissible Exposure – A Paradigm Change in Risk Assessment for Visible Optical Radiation / H.-D. Reidenbach // Phys. Procedia. – 2014. – Vol. 56. – P. 1366-1376.
4. Декларации, конвенции, соглашения и другие правовые материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conv_disarmament.shtml. – Дата доступа: 03.09.2019.
5. Maini, A. Optoelectronics for Low-Intensity Conflicts and Homeland Security / A. Maini. – Artech House, 2018. – 335 p.
6. Государственный контракт на поставку системы комплексного нелетального воздействия «СКНВ» для нужд Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации. Информация о контракте №17722377866 18 000180 от 29.05.2018. – 2018.
7. ГНУ Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси. СТБ ИЕС 60825-1-2011. Безопасность лазерных изделий. Часть 1. Классификация оборудования и требования / ГНУ Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси. – БелГИСС, 2011.
8. ИКАО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.favt.ru/dejatelnost-mezhdunarodnaja-dejatelnost-ikao/?id=796>. – Дата доступа: 17.09.2019.