

УДК 396.373

А.М. Катунін

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВПЛИВ ОПТИЧНИХ (ЛАЗЕРНИХ) ПЕРЕШКОД НА ЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ НА ВИХОДІ ФОТОДЕТЕКТОРА ЛАЗЕРНОЇ СИСТЕМИ

У статті показана актуальність завдання розробки передавачів лазерних перешкод різних типів для подавлення лазерних систем. Проведена оцінка впливу оптичних (лазерних) перешкод на значення відношення сигнал/шум на виході фотодетектора лазерної системи. Отримані результати дозволяють оцінити ефективність застосування оптичних (лазерних) перешкод для подавлення лазерних систем.

Ключові слова: лазерна перешкода, відношення сигнал/шум, лазерна система, фотодетектор.

Вступ

Постановка проблеми. Ведення бойових дій в сучасних умовах передбачає широке використання лазерних систем [1 – 4]. Так лазерні системи бачення дозволяють здійснювати дистанційне спостереження об'єктів в умовах недостатньої природної освітленості (у нічний час) за рахунок застосування штучного підсвічування, що створюється лазерними джерелами. Малогабаритні інфрачервоні лазерні системи бачення використовуються в піхотних підрозділах, в підрозділах спеціального призначення, прикордонних військах для спостереження і розвідки на невеликих відстанях (звичайно до 1,5 км) [2, 3]. Для таких систем характерні висока розподільна здатність, мала вага, незначне енергоспоживання. Інфрачервоні візирі і приціли для легкого і середнього озброєння, що є поєднанням лазерного цільказника і прицілу нічного бачення, стоять на озброєнні значної кількості високорозвинутих країн і дозволяють крім прицілювання здійснювати вирішення цілого ряду різних завдань.

Так, нічний прицільний комплекс «Альфа НПК-2» (розробка ФДУП «Альфа»), що складається з лазерного цільказника «Альфа-7115» і монокуляра «Альфа-9022» може комплектуватися афокальною насадкою із збільшенням $2,5^{\times}$ і адаптером, що дозволяє вести нічну відео- і фотозйомку, а також використовуватися для пошуку цілей, спостереження і орієнтації на місцевості, проведення інженерних і ремонтних робіт в нічний час [2]. Поява ЕОП II⁺ і ЕОП III та вдосконалених лазерних інфрачервоних прожекторів дозволило модернізувати прилади контролю вогню і нічні приціли артилерії, танків і бойових машин піхоти і тим самим підвищити їх можливості при веденні бойових дій в нічний час. Так, дальність розпізнавання цілей у прицілів ТПМ-1М, ТПН-3М, 1К13М і БПК-2М, що випускаються ФДУП «Альфа», при використанні лазерного інфрачервоного прожектора ПЛ-1 з потужністю випромі-

нювання 0,15 Вт досягає 1200; 1200; 1400 і 1200 м відповідно [2]. Слідкуючі системи з імпульсними лазерами, що здійснюють виявлення і супровід цілей, широко застосовуються в системах управління ракет класу «повітря – поверхня» [4]. Таки системи оцінюють величину помилки по положенню для кожного виявленого імпульсу з тим, щоб відповідним чином орієнтувати головку самонаведення і ракету в цілому. У слідкуючих системах, що працюють по відбитому лазерному випромінюванню, джерело випромінювання може бути як частиною самої системи, так і розташовуватися поза нею [5]. Дальність дії ракет з лазерними слідкуючими системами складає 5...12 км.

Інтенсивне використання лазерних систем у військовій галузі обумовлює розвиток способів і засобів оптико-електронного подавлення (подавлення засобів розвідки і управління противника в оптичному діапазоні електромагнітних хвиль).

Аналіз досліджень та публікацій. Широко використовується спосіб індивідуального захисту об'єктів від ракет, оснащених напіваактивними лазерними системами наведення, а також інфрачервоних систем розвідки, заснований на застосуванні організованих аерозолів (аерозольних завіс), що формуються шляхом постановки одиночних або просторово розподілених джерел аерозольних перешкод (димових шашок, димоутворюючих установок) [6]. В цьому випадку при розповсюдженні пучка лазерного випромінювання в шарі частинок аерозолу він ослабляється внаслідок процесів розсіяння і поглинання. Таким чином відбувається зниження інтенсивності лазерного випромінювання, що приймається фотодетектором головки самонаведення ракети або системи розвідки, що призводить до зниження дальності застосування ракет та інфрачервоних систем. Відомий спосіб примусового відведення ракет, оснащених напіваактивними лазерними системами наведення, на макети цілей (хибні цілі) [7]. Принцип відведення ракет на хибні цілі полягає в тому, що

макети опромінюють лазерним цілевказником вручну або автоматично. Частота випромінювання повинна відповідати тій, яка застосовується противником для підсвічування цілей. Фотодетектор головки самонаведення керованої ракети на траєкторії фіксує відмітку від макету цілі. Якщо інтенсивність випромінювання, відбитого від макету (хибної цілі), вище за інтенсивність випромінювання, що приймається фотодетектором головки самонаведення ракети від цілі, керована ракета перенаводиться на макет цілі (хибну ціль). Недоліками перелічених способів є:

необхідність використання аерозолеутворюючих джерел (при цьому потрібний достатній запас димових шашок, димоутворюючих установок на об'єктах, що захищаються), а також обмежений час існування аерозольних завіс – від десятків секунд до одиниць хвилин для способу на основі застосування організованих аерозолів (аерозольних завіс);

необхідність використання стороною, що захищається, макетів цілей і лазерних цілевказників для підсвічування макетів для способу примусового відведення ракет. Такий спосіб ефективний лише у випадку, коли він поєднується з маскуванню цілей, що захищаються, що вимагає виділення значних сил і засобів [7].

Перспективним є спосіб оптико-електронного подавлення інфрачервоних систем управління і супроводження цілей, заснований на використанні двох самостійних систем: системи постановки аерозолів, призначених для перекриття полів зору інфрачервоних систем, і системи оптико-електронної протидії, призначеної для організації хибних сигналів в приймачі систем управління і супроводження цілей шляхом формування оптичних перешкод [8].

Технічною реалізацією даного способу є комплекс «Штора-1», що включає дистанційну систему постановки аерозолів, призначених для перекриття полів зору (апаратних і візуальних) систем наведення, що використовують лазерне підсвічування, і станції оптико-електронної протидії ТШУ 1-7, призначеної для організації хибних сигналів в контурі управління протитанкових снарядів з напівавтоматичними командними системами наведення [8]. Комплекс значно знижує ймовірність ураження об'єкту, що захищається:

ракетами з напівавтоматичними командними системами управління – в 3...5 разів;

ракетами з лазерними головками самонаведення, а також артилерійськими керованими снарядами – в 4...5 разів

артилерійськими снарядами при використанні лазерних далекомірів під час стрільби – в 1,5 разів.

Таким чином розробка і модернізація комплексів оптико-електронного подавлення, що передбачають формування оптичних перешкод у полі зору фотодетекторів інфрачервоних систем є актуальним

завданням для військової галузі. Для виявлення перспективності застосування оптичних перешкод різного типу, зокрема лазерних, в комплексах оптико-електронного подавлення необхідно оцінити вплив оптичних (лазерних) перешкод на параметри функціонування окремих частин оптико-електронних засобів.

Метою даної статті є оцінка впливу оптичних (лазерних) перешкод на параметри функціонування приймальної частини інфрачервоної лазерної системи, а саме на відношення сигнал / шум на виході фотодетектора лазерної системи.

Основна частина

У загальному випадку відношення сигнал / шум на виході фотодетектора лазерної системи за умови відсутності лазерної перешкоди у полі зору фотодетектора визначається відношенням значення середньої потужності сигналу на виході $P_{с\text{вих}}$ до суми значень потужностей дробових шумів на виході фотодетектора $P_{ш}$ і теплових шумів $P_{ш\text{тепл}}$ (шумів Джонсона) [1]:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вих}} = \frac{P_{с\text{вих}}}{P_{ш} + P_{ш\text{тепл}}} = \frac{\left(G \frac{P_c}{hf} qe\right)^2 R_n}{2eG^2 \Delta f_0 \frac{P_c + P_\phi}{hf} qe R_n + 2eG^2 \Delta f_0 i_T R_n + 4kT \Delta f_0}, \quad (1)$$

де G – коефіцієнт посилення по струму; $e = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл – заряд електрона; q – квантова ефективність фотоприймача; R_n – опір навантаження; T – абсолютна температура навантаження; Δf_0 – смуга пропускання фільтру фотодетектора (Гц); f – частота лазерного випромінювання підсвічування (Гц); $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж · с – постійна Планка; k – постійна Больцмана; P_c – потужність відбитого від цілі лазерного сигналу на вході фотодетектора; P_ϕ – потужність зовнішнього фону на вході фотодетектора.

У більшості випадків застосування лазерних систем (при великих значеннях коефіцієнта посилення по струму, при великих значеннях вихідного струму, обумовлених великими значеннями потужностей сигналу і зовнішнього фону на вході фотодетектора, а також за умови охолодження фотодетектора) тепловими шумами, фоновим випромінюванням і темним струмом знехтують [1]. Тоді вираз для відношення сигнал / шум на виході фотодетектора приймає вигляд:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вих}} = \frac{q \left(\frac{P_c}{hf}\right)^2}{2 \Delta f_0 \frac{P_c + P_\phi}{hf}} =$$

$$= \frac{q \frac{P_c^2}{hf}}{2\Delta f_0 (P_c + P_\phi)} = \frac{qP_c}{2hf\Delta f_0}. \quad (2)$$

Проте дане співвідношення не враховує можливість появи лазерних перешкод у полі зору фотодетектора. В цьому випадку в знаменниках (1) та (2) з'являються додаткові доданки, обумовлені випромінюванням лазерних перешкод.

Для випадку постановки прицільної по частоті лазерної перешкоди потужність перешкоди на виході фотодетектора за умови знаходження перешкоди у полі зору слідує системі визначається як:

$$P_{\text{лп приц вих}} = \left(G \frac{P_{\text{лп приц}}}{hf} qe \right)^2 R_n, \quad (3,а)$$

де $P_{\text{лп приц}}$ – потужність випромінювання прицільної перешкоди на вході фотодетектора лазерної системи.

У випадку, коли ширина спектру випромінювання лазерного передавача перешкод перевищує смугу частот роботи (ширину області спектральної чуттєвості) приймача лазерної системи, потужність лазерної перешкоди на виході фотодетектора визначається як:

$$P_{\text{лп загор вих}} = 2eG^2 \Delta f_0 \frac{P_{\text{лп загор}}}{hf} qe R_n = 2(eG)^2 \Delta f_0 \frac{P_{\text{лп загор}}}{hf} q R_n, \quad (3,б)$$

де $P_{\text{лп загор}}$ – потужність випромінювання загороджувальної перешкоди на вході фотодетектора лазерної системи.

При одночасному знаходженні у полі зору фотодетектора двох передавачів перешкод, що формують два типи лазерних перешкод (прицільну і загороджувальну), вираз для потужності перешкод на виході фотодетектора матиме вигляд:

$$P_{\text{лп вих}} = \left(G \frac{P_{\text{лп приц}}}{hf} qe \right)^2 R_n + 2(eG)^2 \Delta f_0 \frac{P_{\text{лп загор}}}{hf} q R_n = \frac{(Ge)^2}{hf} q \left(qP_{\text{лп приц}} + 2\Delta f_0 P_{\text{лп загор}} \right) R_n. \quad (3,в)$$

На основі виразів (3,а), (3,б), (3,в) та співвідношення (1) можливо отримати вираз для відношення сигнал / шум на виході фотодетектора за умови наявності лазерної перешкоди у полі зору фотодетектора лазерної системи для кожного з трьох розглянутих випадків:

– для випадку постановки прицільної лазерної перешкоди:

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{лп приц вих}} = \frac{q \frac{P_c^2}{hf}}{2\Delta f_0 (P_c + P_\phi) + q \frac{P_{\text{лп приц}}}{hf}}; \quad (4,а)$$

– для випадку постановки загороджувальної лазерної перешкоди:

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{лп загор вих}} = \frac{q \frac{P_c^2}{hf}}{2\Delta f_0 (P_c + P_\phi + P_{\text{лп загор}})}; \quad (4,б)$$

– для випадку одночасної постановки прицільної і загороджувальної лазерної перешкод:

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{лп вих}} = \frac{q \frac{P_c^2}{hf}}{2\Delta f_0 (P_c + P_\phi + P_{\text{лп загор}}) + q \frac{P_{\text{лп приц}}}{hf}}. \quad (4,в)$$

Дані співвідношення дозволяють оцінити значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора лазерної системи за умови наявності лазерної перешкоди у полі зору фотодетектора, при цьому на основі співвідношення (4,в) можливо отримати вираз для відношення сигнал / шум при знаходженні у полі зору фотодетектора трьох та більш передавачів лазерних перешкод різного типу.

Характерні графіки залежностей значень відношення сигнал / шум на виході фотодетектора лазерної системи, що функціонує на довжині хвилі $\lambda = 1,06$ мкм з інтерференційним фільтром для пропускання випромінювання тільки у вузькій смузі хвиль ($\Delta\lambda = 1,04 \dots 1,08$ мкм), і квантовою ефективністю фотоприймача $q = 0,5$, для трьох розглянутих випадків представлені на рис. 1 – 3. Відповідні залежності розраховані для різних значень співвідношень потужностей лазерних перешкод і сигналу на вході фотодетектора.

Аналіз представлених на рис. 1 – 3 залежностей показує:

– наявність лазерних перешкод у полі зору фотодетектора істотно впливає на значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора вже при співвідношеннях потужності сигналу лазерної перешкоди і корисного сигналу $P_{\text{лп приц}} / P_c \geq 0,1$ у випадку постановки прицільної лазерної перешкоди в та $P_{\text{лп загор}} / P_c \geq 0,3$ при постановці загороджувальної лазерної перешкоди;

– подавлення інфрачервоних лазерних систем шляхом постановки лазерних прицільних перешкод у полі зору фотодетектора більш доцільне, ніж шляхом постановки загороджувальних лазерних перешкод: при потужності корисного сигналу на вході фотодетектора 0,35 мВт спостерігається зниження значення сигнал / шум на виході фотодетектора з 46,6 (відсутність лазерних перешкод в полі зору) до 31,8 при $P_{\text{лп приц}} / P_c = 0,1$; 16,3 при $P_{\text{лп приц}} / P_c = 0,2$;

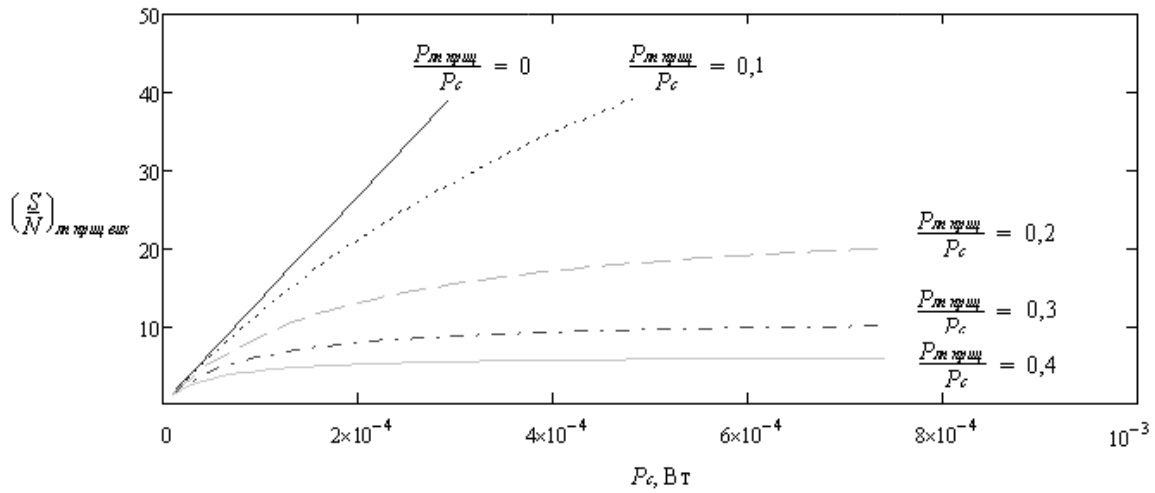


Рис. 1. Залежності значення відношення сигнал/шум на виході фотодетектора лазерної системи при постановці прицільної лазерної перешкоди

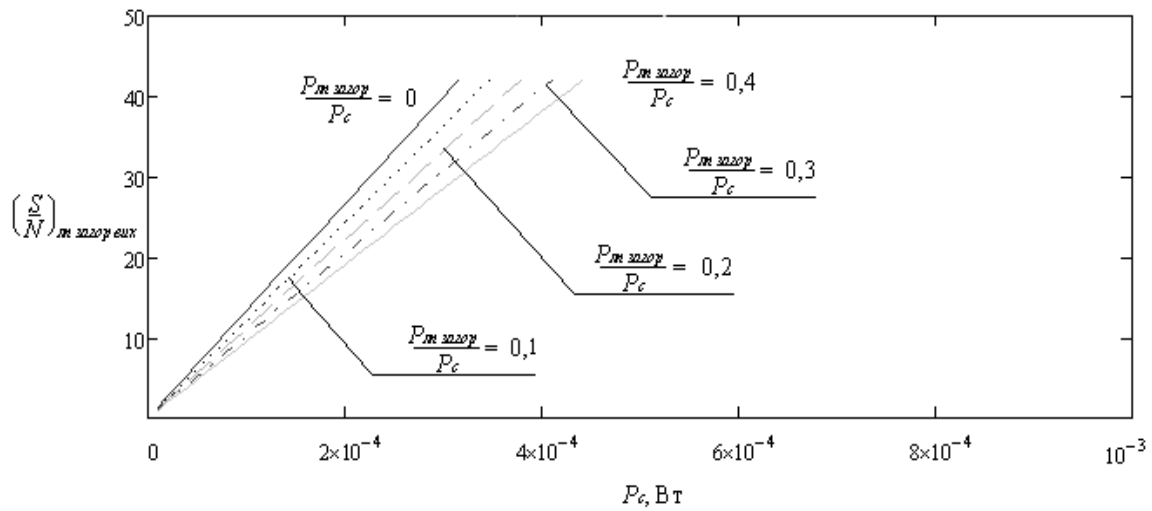


Рис. 2. Залежності значення відношення сигнал/шум на виході фотодетектора лазерної системи при постановці загороджувальної лазерної перешкоди

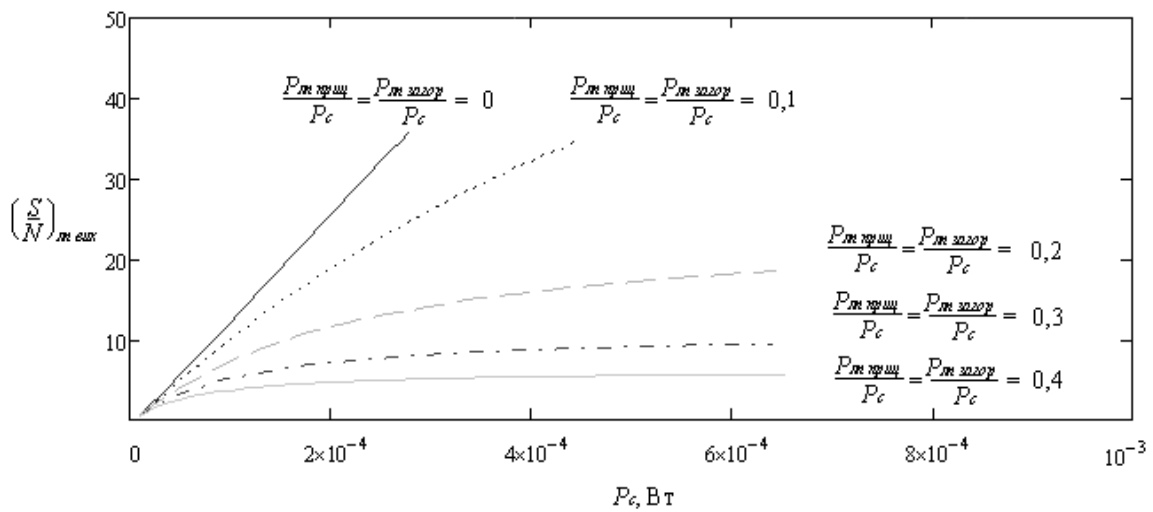


Рис. 3. Залежності значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора лазерної системи при одночасній постановці прицільної та загороджувальної лазерних перешкод

8,9 при $P_{\text{лп приц}} / P_c = 0,3$ і 5,5 при $P_{\text{лп приц}} / P_c = 0,4$ (рис. 1) при постановці прицільних лазерних перешкод; у цей же час при постановці загороджувальних лазерних перешкод значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора знижується до 42,4 при $P_{\text{лп загор}} / P_c = 0,1$; 38,9 при $P_{\text{лп загор}} / P_c = 0,2$; 35,9 при $P_{\text{лп загор}} / P_c = 0,3$ і 33,3 при $P_{\text{лп загор}} / P_c = 0,4$ (рис. 2).

– значення відношення сигнал / шум на виході фотодетектора лазерної системи при одночасній постановці прицільних і загороджувальних лазерних перешкод зменшуються незначно в порівнянні з ситуацією постановки тільки прицільних перешкод (рис. 3 і рис. 1 відповідно): з 31,8 до 29,6 при $P_{\text{лп приц}} / P_c = P_{\text{лп загор}} / P_c = 0,1$; з 16,3 до 15,1 при $P_{\text{лп приц}} / P_c = P_{\text{лп загор}} / P_c = 0,2$; з 8,9 до 8,4 при $P_{\text{лп приц}} / P_c = P_{\text{лп загор}} / P_c = 0,3$; з 5,5 до 5,2 при $P_{\text{лп приц}} / P_c = P_{\text{лп загор}} / P_c = 0,4$; таким чином отримані дані дозволяють зробити відповідні висновки щодо ефективності одночасної постановки прицільних і загороджувальних лазерних перешкод.

Висновки

Для подавлення інфрачервоних лазерних систем, можливе використання різних способів, які мають відповідні достоїнства і недоліки. Застосування оптичних (лазерних) перешкод є одним з перспективних способів подавлення лазерних систем. Тому розробка постановників (передавачів) лазерних перешкод різних типів є актуальним завданням.

Рівень сучасної елементної бази і розробок у сфері високопотужних лазерних генераторів дозволяє проводити розробку станцій оптико-електронного подавлення високої потужності. При цьому у полі зору фотодетекторів лазерних систем можливо формувати перешкоди, потужність яких порівнянна з потужністю відбитого від цілі лазерного випромінювання.

Отримані в роботі співвідношення і розраховані залежності дозволяють зробити оцінку потенцій

них можливостей застосування лазерних перешкод різного типу для подавлення оптико-електронних систем.

Надалі необхідним є проведення відповідних досліджень щодо оцінювання ефективності застосування оптичних перешкод для подавлення оптико-електронних систем різних типів: лазерних систем бачення, слідкуючих систем на основі імпульсних лазерів і інших.

Список літератури

1. *Авиационные лазерные и телевизионные системы* / [Сидорин В.М., Гончаров И.Н., Кутахов В.П., Петухов А.В., Сухарь И.М.]. – М.: Военно-воздушная инженерная академия им. Н.Е. Жуковского, 1985. – 340 с.
2. *Тарасов В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа* / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенко. – М.: Логос, 2004. – 444 с.
3. *Карасик В.Е. Лазерные системы видения: учебное пособие* / В.Е. Карасик, В.М. Орлов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.
4. *Состав, принцип действия, техническое обслуживание и боевое применение ракет класса «воздух-поверхность» Х – 25 и Х – 29Л с лазерными системами управления* / Под ред. И.Е. Казакова, В.М. Сидорина – М.: Военно-воздушная инженерная академия им. Н.Е. Жуковского, 1985. – 202 с.
5. *Справочник по инфракрасной технике: в 4 т / Под ред. У. Волфа, Г. Цисиса.* – М.: Мир, 1999. – Т.4. Проектирование инфракрасных систем. – 472 с.
6. *Мусьяков М.П. Проблемы ближней лазерной локации: Учебное пособие для втузов* / М.П. Мусьяков, И.Д. Миценко, Г.Г. Ванев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 295 с.
7. *Леоненко С. Воюющие двойники. [Электронный ресурс] / С. Леоненко // Армейский сборник. – 1996. – № 2. – Режим доступа: <http://armor.kiev.ua/ptur/mask/false.html>.*
8. *«Штора». Незримая, но эффективная защита. [Электронный ресурс] – Режим доступа до док.: <http://armor.kiev.ua/ptur/armor/shtora.html>.*

Надійшла до редколегії 1.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКИХ (ЛАЗЕРНЫХ) ПОМЕХ НА ВЕЛИЧИНУ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ НА ВЫХОДЕ ФОТОДЕТЕКТОРА ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ

А.Н. Катунин

В статье показана актуальность задачи разработки передатчиков лазерных помех различных типов для подавления лазерных систем. Проведена оценка влияния оптических помех на величину отношения сигнал / шум на выходе фотодетектора лазерной системы. Полученные результаты позволяют оценить эффективность применения оптических (лазерных) помех для подавления лазерных систем.

Ключевые слова: лазерная помеха, отношение сигнал / шум, лазерная система, фотодетектор.

INFLUENCE OF OPTICAL (LASER) HINDRANCES ON A VALUE OF SIGNAL-TO-NOISE RATIO ON THE PHOTODETECTORS OUTPUT OF THE LASER SYSTEM

A.N. Katunin

In the article is rotined actuality elaboration of transmitters for different laser hindrances for suppression of the laser systems. The estimation of optical hindrances influence on the values of signal-to-noise ratio on the photodetectors output of the laser system is conducted. The results of works allow to assess efficiency applications of laser hindrances for suppression of the laser systems.

Keywords: laser hindrance, signal-to-noise ratio, laser system, photodetector.