

# Електронна система протидії лазерним засобам локації та ураження

Пахомов<sup>f</sup> А. А., ORCID [0000-0003-3457-008X](https://orcid.org/0000-0003-3457-008X)

Бевза<sup>g</sup> О. М., ORCID [0000-0002-0903-1263](https://orcid.org/0000-0002-0903-1263)

Факультет електроніки

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Київ, Україна

**Анотація**—Робота присвячена розробці пристрою для протидії лазерним засобам локації та ураження. Проведено аналіз даних з відкритих літературних джерел про аналогічні системи та технології. Проведено теоретичні розрахунки ефективності захисту людського ока або оптичного приладу від лазерного ураження при різних типах захисту.

**Ключові слова** — система протидії; лазерні засоби локації та ураження; діелектричні дзеркала; система захисту; датчик лазерного випромінювання; рідкокристалічна панель; світлофільтр; фотодіод; оптоелектронні засоби.

## I. ВСТУП

Лазерні системи для військового застосування використовуються з середини 60-х років. Військові застосовують лазери в системах безпосереднього теплового враження об'єкту, в цілевказувачах, системах виявлення снайперів, системах постановки перешкод снайперам, далекомірах [1] і т.д. В кінці 70-х на початку 80-х в СРСР були створені експериментальні осліплюючі самохідні комплекси [2]. Розвиток лазерної та комп'ютерної техніки дозволив суттєво зменшити масогабаритні параметри пристроїв, а також їх вартість. Зараз такі системи широко застосовуються в бойових діях [3].

З іншої сторони, стоїть задача протидії таким комплексам. Потрібні системи, що зможуть приховати оптичні системи від виявлення, а також запобігти їх враженню осліплюючими комплексами.

Метою роботи є розробка системи протидії лазерним комплексам локації та ураження. Її задача приховати оптичний прилад від систем лазерного сканування та запобігти ураженню оптичного приладу або ока людини осліплюючим лазерним випромінюванням. Актуальність даної статті обумовлена необхідністю створення нових та вдосконалення існуючих електронних систем протидії лазерним засобам локації та ураження. Незважаючи на те, що дослідження в даному напрямку ведуться не один рік, вибір подібних систем дуже малий.

## II. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для мінімізації вірогідності виявлення оптичного приладу зазвичай використовуються механічні засоби звуження кута відблиску променя. Як приклад можна відмітити сотові бленди [4]. Довжина однієї

соти повинна на порядок перевищувати її діаметр. Поверхня сотових трубок має бути зачорнена, для зменшення відбиття світлових променів. Для більш надійного звуження кута відблиску можна встановити одразу кілька сотових бленд підряд – кількість залежить від їх оптичних якостей.

До оптичних засобів відносяться світлофільтри [5], які поглинають, блокують або розсіюють інфрачервоний спектр, бо саме у ньому працюють лазерні детектори оптичних приладів. Такий фільтр варто ставити на оптичний приціл між лінзою та блендою. Адже він відбиває інфрачервоні промені, працюючи як дзеркало. Тому цей кут відбиття потрібно зменшувати усіма можливими засобами - зокрема, трубчастими блендами, як описано вище.

Проте ці методи не можуть повноцінно захистити оператора оптичного приладу спостереження від направлено на цей прилад потужного лазерного випромінювання. Щоб вирішити цю проблему можна застосувати технологію, що повністю блокує оптичний канал під час надходження на оптичний прилад високопотужного лазерного випромінювання. Датчики випромінювання реагують на високопотужне лазерне випромінювання ураження і передають сигнал на електронну схему, яка в свою чергу вмикає рідкокристалічний фільтр, що перекриває оптичний канал. Під дією електричного струму рідкі кристали стають спеціальною структурою таким чином, що інфрачервоне випромінювання не проходить крізь фільтр. Коли випромінювання ураження зникає, електронна система повертає рідкокристалічний фільтр до прозорого стану.



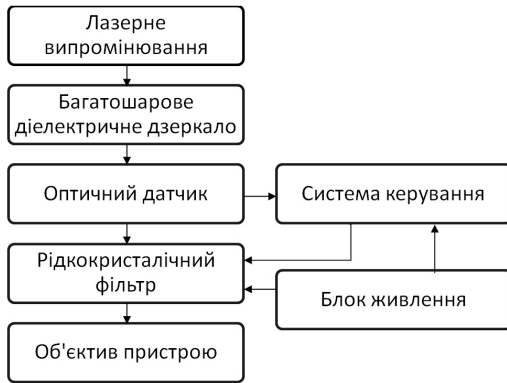


Рис. 1 Структурна схема електронної системи протидії лазерним засобам локації та ураження

### III. СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ПРОТИДІЇ ЛАЗЕРНИМ ЗАСОБАМ ЛОКАЦІЇ ТА УРАЖЕННЯ

Структурна схема (Рис. 1) системи містить: багатшаровий діелектричний фільтр, оптичний датчик, рідкокристалічний фільтр, систему керування та блок живлення.

Дана система розробляється для захисту від приладу протидії снайперам «ПАПВ» (переносний автоматичний прилад оптико-електронної протидії) [6], призначений для виявлення оптичних і оптико-електронних засобів (ОЕЗ) [7], які проводять зустрічне спостереження і прицілювання, та постановки лазерним випромінюванням імпульсних світлових перешкод.

Для приховування оптичного приладу від скануючого лазерного променя довжиною хвилі 860 нм, застосовується діелектричне зеркало [8], встановлене під кутом 45 градусів і розраховане на довжину хвилі скануючого променя. За діелектричним дзеркалом розташовано оптичний датчик, задача якого виявити лазерне випромінювання ураження.

Для довжин хвиль випромінювання ураження також використовуються діелектричні дзеркала з кутом нахилу 45 градусів. При належному виборі матеріалів і товщини шарів можна створити оптичні покриття з необхідним відбиттям на обраній довжині хвилі.

Як датчик лазерного випромінювання краще всього підійде фотодіод завдяки тому, що цей напівпровідниковий елемент має малі габарити, поєднання високої фоточутливості та великої швидкодії перемикачання, а також низьку собівартість. Слід зазначити, що прилад «ПАПВ» може опромінювати ціль у довжинах хвиль від 0,53 до 1,06 мкм, тому фотодіод підбирається таким чином, щоб його спектральна характеристика могла перекрити весь цей діапазон. Потрібним параметрам відповідає фотодіод OSRAM SFH 203 [9].

Рідкокристалічна панель виконує роль захисту від лазерного випромінювання. Це декілька рідкокристалічних (РК) фільтрів, розділених поляризаційними плівками. Датчики розташовані в приладі після світлофільтру на 860 нм. Після фіксування променю ураження датчики передають сигнал на електронну плату, плата перетворює сигнал, на РК фільтри

подається живлення. Під впливом електричного струму рідкі кристали змінюють (повертають) площину поляризації світла, яке проходить крізь них. Змінюючи величину прикладеної до рідких кристалів напруги, можна керувати кількістю світла, що проходить крізь поляризаційний світлофільтр. Якщо кут між площинами поляризації світла, що пройшло крізь рідкі кристали і світлофільтру становить 0 градусів, то світло буде проходити крізь поляризатор без втрат (максимальна прозорість), якщо 90 градусів, то світлофільтр буде пропускати мінімальну кількість світла (мінімальна прозорість). Таким чином при мінімальній прозорості (коефіцієнт пропускання в закритому стані не більше 0,001%), випромінювання в діапазоні від ультрафіолетового до інфрачервоного практично не проходить крізь фільтр. Після завершення опромінення променем ураження датчики перестають передавати сигнал на плату. Електронна плата відключає живлення від фільтрів і фільтри стають прозорими. Час спрацювання електронної системи складає 40 мкс.

Рідкокристалічний фільтр та схема його керування споживають малий струм тому можуть живитися від хімічного елемента напругою 1,5 В або аналогічним акумулятором. Це дозволить мінімізувати масогабаритні параметри пристрою.

Для розрахунку щільності енергії, яка передається потужним лазерним випромінюванням [10] приладу «ПАПВ» в залежності від відстані та діаметру об'єктиву використовується формула (1).

$$W = \frac{[cQ \exp(-k_\lambda R)]}{[\pi(d_0 + \theta_p R)^2]}, \quad (1)$$

де  $W$  – щільність енергії, Дж/см<sup>2</sup>;  $\theta_p$  – кут розходження лазерного променя, рад;  $c$  – коефіцієнт, величина якого залежить від того по якому рівню інтенсивності визначений кут розходження лазерного випромінювання  $\theta_p$ ;  $Q$  – вихідна енергія лазера, Дж;  $R$  – відстань до джерела випромінювання, см;  $k_\lambda$  – коефіцієнт послаблення, який описує загасання випромінювання лазера атмосферою за рахунок поглинання і розсіювання світла молекулами, дисперсійною фазою (дим, пил, туман) і флуктуаціями щільності повітря, см<sup>-1</sup>;  $d_0$  – діаметр вихідної апертури випромінювача, см.

Коефіцієнт послаблення визначається за формулою (2):

$$k_\lambda = \frac{3,91}{L_m} \left( \frac{\lambda}{0,55} \right)^{-n}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі лазерного випромінювання, нм;  $L_m$  – метеорологічна дальність видимості, см;  $n = 0,585L_m^{1/3}$ .

З урахуванням формули (1) було побудовано графіки (Рис. 2, Рис. 3), які відображають щільність енергії випромінювання ПАПВ з довжиною хвилі 530 нм і 1060 нм з енергією імпульсу потужного

випромінювання 0,2 Дж і 1,5 Дж відповідно в залежності від відстані. Окремими лініями зображено гранично допустимі рівні щільності енергії випромінювання для різних діаметрів об'єктивів. При збільшенні діаметру об'єктиву відповідно збільшується кількість енергії випромінювання, що фокусується окуляром на оці чи світлочутливій матриці приладу, тому зменшується гранично допустимий рівень щільності енергії випромінювання на вході об'єктиву. Гранично допустимі рівні були розраховані враховуючи дані з [11]. Як видно з рисунків щільність енергії випромінювання, яка передається з приладу «ПАПВ» перевищує гранично допустимі рівні щільності випромінювання для всіх діаметрів об'єктивів на всій робочій області цього приладу.

На Рис. 4, Рис. 5 приведені результати розрахунків щільності енергії випромінювання ПАПВ для лазерного випромінювання з довжиною хвилі 530 нм і 1060 нм з енергією імпульсу потужного випромінювання 0,2 Дж і 1,5 Дж відповідно та гранично допустимі рівні щільності енергії лазерного випромінювання для різних діаметрів об'єктивів при

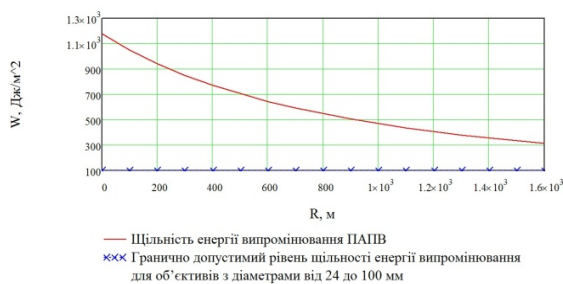


Рис. 2 Залежність щільності енергії лазерного випромінювання приладу ПАПВ з довжиною хвилі 1060 нм, енергією імпульсу потужного випромінювання 1,5 Дж та гранично допустимі рівні щільності енергії випромінювання для об'єктивів різного діаметру

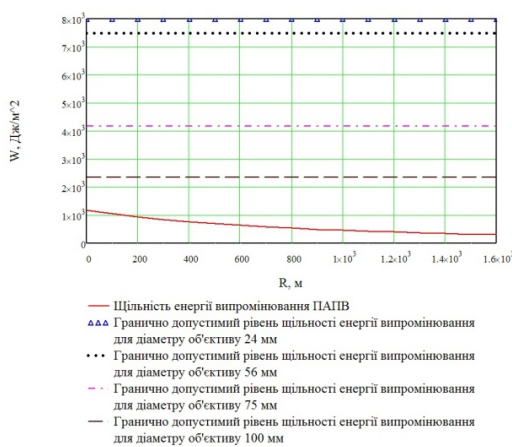


Рис. 4 Залежність щільності енергії лазерного випромінювання приладу ПАПВ з довжиною хвилі 1060 нм, енергією імпульсу потужного випромінювання 1,5 Дж та гранично допустимі рівні щільності енергії випромінювання для об'єктивів різного діаметру при спрацюванні енергії випромінювання для об'єктивів різного діаметру при спрацюванні електронної системи захисту за 40 мкс

спрацюванні рідкокристалічного фільтру за час, що його забезпечує електронна система захисту, а саме 40 мкс.

Як можна бачити з графіків (Рис. 4, Рис. 5), введення електронного фільтру з часом спрацювання 40 мкс дозволяє захистити око або світлочутливу матрицю оптико-електронного приладу від уражувачої дії потужного випромінювання ПАПВ на всьому робочому діапазоні його роботи.

## ВИСНОВКИ

Потужний імпульс ПАПВ може суттєво зашкодити зору людини, а при великих діаметрах об'єктиву або при малих відстанях між ПАПВ та спостерігачем, людина взагалі може його втратити. Те ж саме відноситься і до світлочутливих матриць оптико-електронних приладів. Як показують наведені розрахунки, гранично допустимий рівень щільності енергії випромінювання в незахищений оптиці знаходиться набагато нижче щільності енергії випромінювання, яку забезпечують потужні лазери ПАПВ.

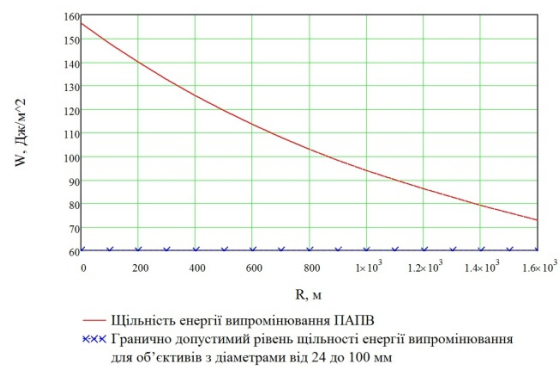


Рис. 3 Залежність щільності енергії лазерного випромінювання приладу ПАПВ з довжиною хвилі 530 нм, енергією імпульсу потужного випромінювання 0,2 Дж та гранично допустимі рівні щільності енергії випромінювання для об'єктивів різного діаметру

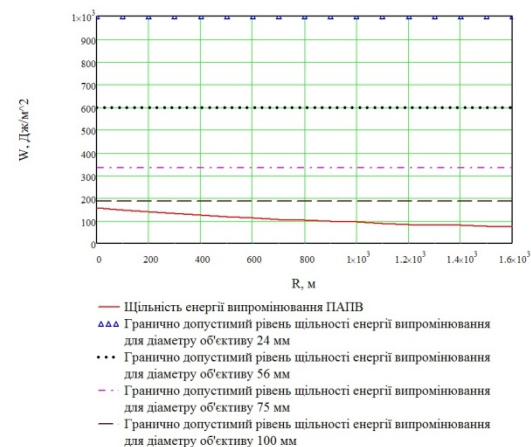


Рис. 5 Залежність щільності енергії лазерного випромінювання приладу ПАПВ з довжиною хвилі 530 нм, енергією імпульсу потужного випромінювання 0,2 Дж та гранично допустимі рівні щільності енергії випромінювання для об'єктивів різного діаметру при спрацюванні електронної системи захисту за 40 мкс



Розроблена оптико-електронна система захисту зменшує час дії лазерного випромінювання на око людини чи світлочутливу матрицю оптико-електронного приладу до 40 мкс. Як показали проведені розрахунки, це підвищило гранично допустимий рівень щільності енергії випромінювання вище рівню, що забезпечують потужні лазери ПАПВ для всієї дальності їх застосування і об'єктів з діаметрами від 24 мм до 100 мм, що вбереже їх від засліплюючої дії ПАПВ.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] A. Mitrofanov, "Lazernoye oruzhiye: tekhnologii, istoriya, sostoyaniye, perspektivy. Chast' 1 [Laser weapons: technology, history, condition, prospects. Part 1]," *Voyennoye obozreniye*, 2020. [Online]. Available: <https://topwar.ru/155326-lazernoe-oruzhie-tehnologii-istorija-sostojanie-perspektivy-chast-1.html>.
- [2] S. Apresov and A. Khlopov, "Vyzhigatel': samokhodnyy lazernyy kompleks 1K17 'Szhatiye' [Burner: self-propelled laser system 1K17 'Compression']," 2020. [Online]. Available: <https://www.popmech.ru/weapon/11215-vyzhigatel-samokhodnye-lazernye-kompleksy/>.
- [3] "Sredstva obnaruzheniya i podavleniya snayperov [Sniper Detection and Suppression Tools]," 2020. [Online]. Available: <http://www.bnti.ru/index.asp?tbl=02.04.&p=1>.
- [4] "Lazer proty snaypera: protydiya suchasnym lazernym detektoram optychnykh pryladiv [Laser against sniper: counteraction to modern laser detectors of optical devices]," *Defense Express*, 2018. [Online]. Available: <https://old.defence-ua.com/index.php/statti/publikatsiji-partneriv/4690-lazer-proty-snaypera-protydiya-suchasnym-lazernym-detektoram-optychnykh-pryladiv>.
- [5] C. K. Madsen and J. H. Zhao, *Optical Filter Design and Analysis: A Signal Processing Approach*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999, ISBN: 978-0-471-18373-0.
- [6] "Perenosnoy lazernyy pribor optiko-elektronnogo protivodeystviya (PAPV) [Portable laser device for optoelectronic counteraction (PAPV)]," *kbtochmash*, 2020. [Online]. Available: <http://www.kbtochmash.ru/defence/defence-prod/ПАПВ.html>.
- [7] "Perspektivnyye optoelektronnyye sredstva razvedki, nablyudeniya i tseleukazaniya dlya artillerii (2004) [Promising optoelectronic devices for intelligence, observation and target designation for artillery (2004)]," *Pentagonus*, 2020. [Online]. Available: [http://factmil.com/publ/vooruzhenie/sredstva\\_tekhnicheskoy\\_razvedki/perspektivnyye\\_optoelektronnyye\\_sredstva\\_razvedki\\_nabljudeniya\\_i\\_tseleukazaniya\\_dlya\\_artillerii\\_2004/110-1-0-1237](http://factmil.com/publ/vooruzhenie/sredstva_tekhnicheskoy_razvedki/perspektivnyye_optoelektronnyye_sredstva_razvedki_nabljudeniya_i_tseleukazaniya_dlya_artillerii_2004/110-1-0-1237).
- [8] J. H. Apfel, "Phase retardance of periodic multilayer mirrors," *Appl. Opt.*, vol. 21, no. 4, pp. 733–738, 1982, DOI: [10.1364/AO.21.000733](https://doi.org/10.1364/AO.21.000733).
- [9] "Silicon PIN Photodiode - SFH 203." OSRAM Opto Semiconductors, p. 23, 2013, URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1019710/OSRAM/SFH203.html>.
- [10] "Sanitarnyye normy i pravila ustroystva i ekspluatatsii lazerov [Sanitary regulations and rules of the device and laser operation]," *Biblioteka normativnoy dokumentatsii*, 1991. [Online]. Available: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293847/4293847331.htm#i1945856>.
- [11] "Vyzhigatel': samokhodnyy lazernyy kompleks 1K17 «Szhatiye» [Burner: self-propelled laser system 1K17 'Compression']," URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293847/4293847331.htm#i1945856>.



# Electronic System of Counteraction to Laser Means of Location and Destruction

A. A. Pakhomov<sup>f</sup>, ORCID [0000-0003-3457-008X](https://orcid.org/0000-0003-3457-008X)

O. M. Bevza<sup>s</sup>, ORCID [0000-0002-0903-1263](https://orcid.org/0000-0002-0903-1263)

Faculty of Electronics

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Kyiv, Ukraine

**Abstract**—The work is devoted to the development of a device for counteracting laser means of location and destruction. The analysis of data from open literature on similar systems and technologies have been performed. Theoretical calculations of the effectiveness of protecting the human eye or optical device from laser damage with various types of protection have been carried out.

Laser technology has been used by the military since the mid-1950s. The military uses lasers in systems of direct thermal destruction of the object, pointers, detection systems of snipers, systems of interference with snipers, rangefinders, etc. In the late 1970s and early 1980s, military-experimental blinding self-propelled complexes were created in the USSR. The development of laser and computer technology has significantly reduced the dimensions of the devices, as well as their cost. Now such systems are widely used in combat operations.

On the other hand, there is a challenge to counteract such complexes. Systems are needed that can hide optical systems from detection, as well as prevent them from being destroyed by blinding complexes.

The purpose of the work is to develop a system to counteract the laser complexes of location and damage. Its task is to hide the optical device from laser scanning systems and prevent the damage of the optical device or the human eye by blinding laser radiation.

The relevance of this article is due to the need to create new and improve existing electronic systems to counteract the laser means of location and destruction. Despite the fact that studies in this area are conducted for more than one year, the choice of such systems is very small.

To minimize the probability of detecting an optical device, mechanical means of narrowing the beam glare angle are commonly used. One example is cellular blinds. The length of one cell must be much higher than its diameter. The surface of the cell tubes should be blackened to reduce the reflection of light rays. For more accurate narrowing of the flare angle, it is possible to set several cellular blinds in a row - the number depends on their optical qualities.

Optical means include optical filters that absorb, block, or scatter the infrared spectrum, because laser detectors of optical devices are in it. Such a filter should be placed on the optical sight between the lens and the lens hood. After all, it reflects the infrared rays, working as a mirror. Therefore, this angle of reflection should be reduced by all means, in particular tubular blinds, as described above.

However, these methods cannot fully protect the operator of the optical observation device from the powerful laser radiation directed to the device. To solve this problem, you can use technology that completely blocks the optical channel when you receive high-power laser radiation on an optical device. The radiation sensors respond to the high-power laser radiation of the destruction and transmit the signal to an electronic circuit, which turn on a liquid crystal filter that covers the optical channel. Under the influence of electric current, liquid crystals become a special structure in such a way that infrared radiation does not pass through the filter. When the radiation is lost, the electronic system returns the liquid crystal filter to a transparent state.

The power impulse of laser means of location and destruction can significantly damage a person's vision, and at large lens diameters or at short distances between a these means and an observer, a person may lose it completely. The same applies to light-sensitive arrays of optoelectronic devices. As shown in the calculations, the maximum permissible level of radiation energy density in unprotected optics is much lower than the radiation energy density provided by laser means of location and destruction.

The opto-electronic protection system reduces the time of laser radiation to the human eye or the light-sensitive matrix of the optoelectronic device to safe limits. As shown by the calculations, this increased the maximum allowable level of radiation energy density above the level provided by power lasers for their entire range of use and lenses with diameters from 24 mm to 100 mm, which will protect them from the blinding effect of laser means of location and destruction.

**Keywords** — counteraction system; laser means of location and destruction; dielectric mirrors; protection system; laser radiation sensor; liquid crystal panel; optical filter; photodiode; optoelectronic means.

