

Сєлюков О.В., Хлапонін Ю.І. *Київський національний університету будівництва і архітектури, Київ*

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ДАТЧИКА ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЮВАННЯ

Лазерний мікрофон для акустичного спостереження або пристрій для лазерного прослуховування на далеких відстанях це високотехнологічний апарат для збору інформації, в якому використовується невидимий інфрачервоний лазерний промінь, за допомогою якого проводиться підслухування розмов цільового об'єкта. Цей пристрій є достатньо ефективним пристроєм і дозволяє оператору виконувати прослуховування аудіосигналів, що виходять з будь-якого цільового приміщення, що має, принаймні, одне вікно, на значній відстані, яке становить 300-1000 метрів. Такий пристрій спеціально розроблений для застосування в ситуаціях, коли вхід в приміщення персоналу для розміщення пристрою для підслухування в цільовій області є небажаним або неможливим. Лазерний мікрофон важко виявити в процесі функціонування, тому що інфрачервоний промінь лазера повністю невидимий для неозброєного ока. Якщо знати, що лазерна апаратура прослуховування використовується, то її знаходження не викликає труднощів. Її розвідувальною ознакою є лазерна пляма на склі вікна розміром від 2 до 20 мм. Неозброєними очима її не видно, але в будь-який пристрій нічного бачення ця пляма буде виглядати як друге сонце. Форма цієї плями дасть додаткову інформацію щодо розташування джерела лазерного випромінювання: кругла пляма – джерело навпроти вікна, еліпс – з боку. Ця стаття присвячена принципам виявлення апаратури лазерного прослуховування пасивним датчиком, який розміщується в контрольованому приміщенні окремо або в складі інших технічних засобів захисту інформації. Такий датчик імітує приймальну частину стандартного лазерного мікрофону. Щоб виявити таке лазерне випромінювання, необхідна оптична система, фотоприймальний пристрій (ФПП) та електронна схема з пороговим пристроєм, а також необхідно врахувати ряд особливостей.

Ключові слова: лазерний мікрофон, лазер, фотоприймальний пристрій, апаратура лазерного прослуховування, захист інформації.

Selyukov A.V., Khlaponin Yu.I. *Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE LASER RADIATION SENSOR

A laser microphone for acoustic surveillance or a device for long-distance laser listening is a high-tech device for collecting information, which uses an invisible infrared laser beam, which is used to eavesdrop on the conversations of the target object. This device is a fairly efficient device and allows the operator to listen to audio signals coming from any target room having at least one window, at a considerable distance of 300-1000 meters. Such a device is specifically designed for use in situations where entry into the premises of personnel to place the eavesdropping device in the target area is undesirable or impossible. The laser microphone is difficult to detect during operation because the infrared laser beam is completely invisible to the naked eye. If you know that laser listening equipment is used, then finding it is not difficult. Its reconnaissance feature is a laser spot on the window glass with a size of 2 to 20 mm. It is not visible to the naked eye, but in any night vision device this spot will look like the second sun. The shape of this spot will give additional information about the location of the laser source: a round spot - the source in front of the window, an ellipse - on the side. This article is devoted to the principles of detection of laser listening equipment by a passive sensor, which is placed in a controlled room separately or as part of other technical means of information protection. This sensor simulates the receiving part of a standard laser microphone. To detect such laser radiation, an optical system, a photodetector (FPP) and an electronic circuit with a threshold device are required, and a number of features must be taken into account.

Keywords: laser microphone, laser, photodetector, laser listening equipment, information security.

Селюков А.В., Хлапонин Ю.И.

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев***ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДАТЧИКА ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

Лазерный микрофон для акустического наблюдения или устройство для лазерного прослушивания на дальних расстояниях является высокотехнологическим аппаратом для сбора информации, в котором используется невидимый инфракрасный лазерный луч, с помощью которого проводится прослушивание разговоров целевого объекта. Это устройство является достаточно эффективным устройством и позволяет оператору выполнять прослушивания аудиосигналов, исходящих из любого целевого помещения, имеет, по крайней мере, одно окно, на значительном расстоянии, которое составляет 300-1000 метров. Такое устройство специально разработано для применения в ситуациях, когда вход в помещение персонала для размещения прослушивающего устройства в целевой области является нежелательным или невозможным. Лазерный микрофон трудно обнаружить в процессе функционирования, так как инфракрасный луч лазера полностью невидим для невооруженного глаза. Если знать, что лазерная аппаратура прослушивания используется, то ее нахождение не вызывает затруднений. Ее разведывательным признаком является лазерное пятно на стекле окна размером от 2 до 20 мм. Невооруженным глазом ее не видно, но в любое устройство ночного видения это пятно будет выглядеть как второе солнце. Форма этого пятна даст дополнительную информацию о расположении источника лазерного излучения: круглое пятно - источник напротив окна, эллипс - со стороны. Эта статья посвящена принципам выявления аппаратуры лазерного прослушивания пассивным датчиком, который размещается в контролируемом помещении отдельно или в составе других технических средств защиты информации. Такой датчик имитирует приемную часть стандартного лазерного микрофона. Чтобы выявить такое лазерное излучение, необходимо оптическая система, фотоприемное устройство (ФПП) и электронная схема с пороговым устройством, а также необходимо учесть ряд особенностей.

Ключевые слова: лазерный микрофон, лазер, фотоприемное устройство, аппаратура лазерного прослушивания, защита информации.

1. Вступ. Лазерний мікрофон для акустичного спостереження або пристрій для лазерного прослуховування на далеких відстанях є високотехнологічний апарат для збору інформації, в якому використовується невидимий інфрачервоний лазерний промінь, за допомогою якого проводиться підслуховування розмов цільового об'єкта [3]. Цей пристрій є достатньо ефективним пристроєм і дозволяє оператору виконувати прослуховування аудіосигналів, що виходять з будь-якого цільового приміщення, що має, принаймні, одне вікно, на значній відстані, яке становить 300-1000 метрів. Такий пристрій спеціально розроблений для застосування в ситуаціях, коли вхід в приміщення персоналу для розміщення пристрою для підслуховування в цільовій області є небажаним або неможливим [2].

Лазерний мікрофон важко виявити в процесі функціонування, тому що інфрачервоний промінь лазера повністю невидимий для неозброєного ока. В загальному випадку лазерний мікрофон складається з трьох головних компонентів: лазерного передавача, лазерного приймача, блоку посилення і обробки з аудіозаписуючим пристроєм (рис.1). Принцип роботи пристрою полягає в передачі невидимого інфрачервоного променя на вікно цільового приміщення. Лазерний мікрофон для акустичного спостереження перетворює вібрації віконного скла, що викликаються звуковими хвилями (промовою) всередині кімнати, в електричні сигнали. Лазерний промінь, відбиваючись від вікна цільового приміщення, перетворюється в форму електричних сигналів, після чого відбувається фільтрація і посилення сигналів, які потім надсилаються в виділений блок записи, підключений до свого власного підсилювача, оснащеному гучномовцем і головними телефонами. Можна

одночасно вести моніторинг аудіосигналу в режимі реального часу і запис зазначеного сигналу. Лазер такого пристрою генерує безперервне (може бути модульоване) випромінювання в діапазоні 808-1600 нм максимальної потужності до 5 Вт. Пристрій достатньо важкий (до 20 кг), тому частіше використовується з салонів автомобілів.



Рис. 1. Апаратура лазерного прослуховування типу FG [3]

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] глибоко розкрити питання дифузійного розповсюдження оптичного випромінювання, але практичних співвідношень між складовими випромінювання не визначено. В роботі [4] розглянутий дослідний зразок обладнання, на якому були досліджені питання модулювання лазерного випромінювання, але дослідження були здійснені на «блакитному» лазері. В роботі [5] глибоко розкрити питання реєстрації лазерного випромінювання інфрачервоного діапазону, але для реєстрації фотокамерами. В роботі [6] глибоко проаналізовані закономірності розповсюдження лазерного випромінювання, але тільки в волоконній оптиці. В роботі [7] висвітлені досягнення в сфері фотоматеріалів, але практичних рекомендацій щодо вибору ефективного фотоприймача не наведено. В роботі [8] наведені аналітичні залежності для реєстрації оптичного опромінювання, але практичних рекомендацій щодо вибору ефективного фотоприймача також не наведено. В роботі [9] глибоко досліджені питання відображення лазерного випромінювання від різних поверхонь, результати цих досліджень використані при визначенні долі дифузійного відображення від віконного скла. В роботі [10] наведені аналітичні залежності щодо енергетиці оптичних сенсорів, результати цих досліджень використані при визначенні потужності лазерного випромінювання на приймачі. В роботі [11] наведені приклади систем спеціального призначення, результати цих досліджень використані при виборі структури датчика випромінювання. В роботі [12] наведений приклад датчика лазерного випромінювання, який, на жаль, не має оптичної системи, реєструє тільки не модульоване випромінювання та може використовуватися тільки в умовах недостатнього освітлення, але надає загальні поняття щодо габаритів датчиків такого типу. В роботі [13] наведена структурна схема блоку приймання лазерного випромінювання, але для пристроїв сканування. В роботі [14] наведені аналітичні залежності щодо взаємодії лазерного випромінювання з речовиною, але без прикладів щодо інтер'єру приміщень.

Підсумком проведеного аналізу є:

- іншими фахівцями недостатньо вирішені питання розповсюдження лазерного випромінювання через скло та питання відображення лазерного випромінювання від стелі, стін та меблів приміщень;
- визначення і обґрунтування тематики дослідження, яке проводиться в представленій статті.

3. Мета дослідження. Актуальність цієї проблеми визначена тим, що слід констатувати наявність стандартної апаратури акустичної розвідки та відсутність засобів її виявлення. З

проведеного в п.2 аналізу невирішених питань не з'ясовано, що є джерелом лазерного випромінювання всередині приміщень, якщо лазерний промінь потрапляє на віконне скло ззовні. Ця стаття присвячена визначенню принципів виявлення апаратурою лазерного прослуховування пасивним датчиком, який розміщується в контрольованому приміщенні окремо або в складі інших технічних засобів захисту інформації. Наукова новизна отриманих результатів полягає в визначенні загальних принципів виявлення лазерного випромінювання від апаратури акустичної розвідки. Задачами цього дослідження є складання переліку складових лазерного променя на склі вікна та визначенні загальних принципів енергетичних розрахунків приймача лазерного випромінювання і принципів захисту від оптичних перешкод.

4. Результати дослідження. Якщо знати, що лазерна апаратура прослуховування використовується, то її знаходження не викликає труднощів. Її розвідувальною ознакою є лазерна пляма на склі вікна розміром від 2 до 20 мм. Неозброєними очима її не видно, але в будь-який пристрій нічного бачення ця пляма буде виглядати як друге сонце. Форма цієї плями дасть додаткову інформацію щодо розташування джерела лазерного випромінювання: кругла пляма – джерело навпроти вікна, еліпс – з боку. При цьому форма еліпсу надасть полярні координати джерела випромінювання: нахил великої вісі еліпсу допоможе визначити азимут до джерела, а співвідношення малої вісі до великої допоможе визначитися з відстанню до вікна. З вікна через пристрій нічного бачення не побачити джерело лазерного випромінювання неможливе. Щоб виявити таке лазерне випромінювання, необхідна оптична система, фотоприймальний пристрій (ФПП) та електронна схема з пороговим пристроєм, а також необхідне врахувати ряд особливостей. Такий датчик імітує приймальну частину стандартного лазерного мікрофону.

По-перше, основною задачею енергетичних розрахунків для розробки датчику лазерного випромінювання є визначення граничної потужності лазерного опромінювання, що може бути визначена. Датчик лазерного опромінювання повинний забезпечити впевнену реєстрацію з імовірністю не гірше 0,95. При цьому основним параметром, що визначає спроможність виявити лазерне опромінювання, є апаратне відношення сигнал/шум μ_a на виході ФПП, оскільки сигнал з ФПП потім потрапляє на вхід порогового пристрою, де приймається рішення щодо наявності або відсутності лазерного сигналу. Звісно, що для забезпечення заданої імовірності (0,95) виявлення лазерного сигналу достатньо, щоб апаратне відношення сигнал/шум на виході ФПП було [2]:

$$\mu_a \geq 6.$$

В цьому разі, якщо знехтувати шумами ФПП, можливо визначити мінімальний струм ФПП, що може бути зареєстрований:

$$I_o = \mu_a \cdot I_T,$$

де I_T – темрявий струм ФПП.

По-друге, лазерний промінь, що падає на скло, піддається ефектам відображення (розсіюванню), поглинанню та пропусканню. За законом зберігання енергії світловий струм, що падає на скло (Φ):

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_\alpha + \Phi_\rho + \Phi_\tau, \\ \alpha + \rho + \tau &= 1, \end{aligned}$$

де Φ_α - світловий струм, що поглинається склом з коефіцієнтом поглинання α ,
 Φ_ρ - світловий струм, що відображається склом з коефіцієнтом відображення ρ ,
 Φ_τ - світловий струм, що пропускається склом з коефіцієнтом пропускання τ .

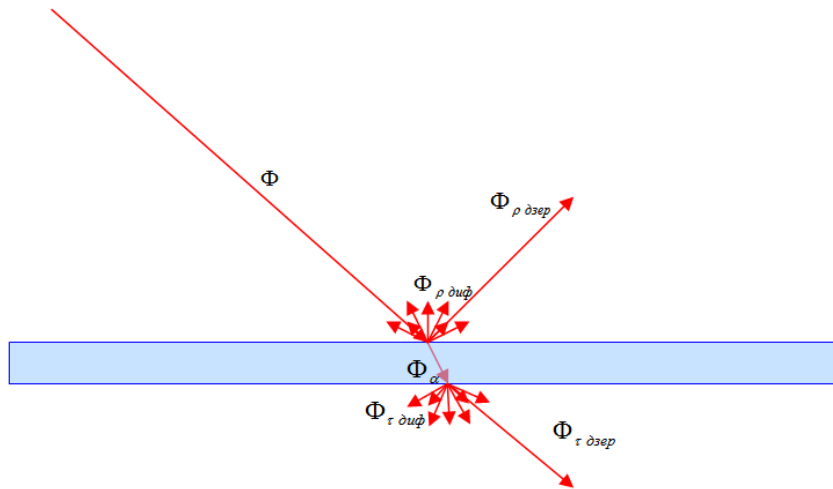


Рис. 2. Світлові струми лазерного опромінювання на склі віконному

Коефіцієнти α, ρ, τ залежать від довжини хвилі світла лазера. Як при відображенні (Φ_ρ), так і при пропусканні (Φ_τ) світлового струму слід розрізняти направлене (дзеркальне) та дифузійне (розсіяне) відображення та пропускання:

$$\Phi_\rho = \Phi_{\rho \text{ дзер}} + \Phi_{\rho \text{ диф}}$$

$$\Phi_\tau = \Phi_{\tau \text{ дзер}} + \Phi_{\tau \text{ диф}}$$

Всередині приміщення з них буде лише $\Phi_\tau = \Phi_{\tau \text{ дзер}} + \Phi_{\tau \text{ диф}}$. Розраховувати, що струм $\Phi_{\tau \text{ дзер}}$ буде попадати на датчик – марне, реально треба розраховувати лише на $\Phi_{\tau \text{ диф}}$, але фактичне є ще дифузійне розсіювання від стіни приміщення, на яку потрапляє струм Φ_τ [9]. На рис.2 показані всі вищезазначені світлові промені.

Співвідношення між дзеркальним та дифузійним пропусканням залежить від кута падіння лазерного променя на скло. При малих кутах падіння існує практично дзеркальне відображення, а при великих кутах найбільша складова на дифузійне відображення. Якщо скло буде забруднено, то дифузійна складова ще збільшується. Насамперед передбачити реальний коефіцієнт дифузійного відображення неможливе, тому звично він надається в технічному завданні на розробку. Для військових лазерних далекомірів $\rho = 0,1$, тобто для непрозорих поверхонь не більш 10% всього лазерного опромінювання перетворюється на дифузійне, але для скла є дифузійне пропускання та дифузійне відображення: $\Phi_{\rho \text{ диф}} = \Phi_{\tau \text{ диф}}$, тому в подальших розрахунках доцільне використовувати $\rho = 0,05$.

По-третє, датчик лазерного опромінювання повинний реєструвати оптичні сигнали малої потужності та виділяти їх на фоні перешкод. Для покращення захищеності від перешкод датчик повинний мати обмежений кут полю зору та реєструвати випромінювання тільки на довжині хвилі опромінювання. З іншого боку, краще, щоб в приміщенні такий датчик був один, щоб контролювати всі вікна приміщення, при цьому враховувати, що вікна

можуть бути розташовані на короткій або довгій стороні приміщення. Прийняте опромінювання збирається на світлочутливій площадці ФПП, сигнал з якого потім надходить до електронного блоку вимірювання та прийняття рішення.

5. Обговорення результатів проведеного дослідження. Таким чином, приймальна оптична система датчика повинна складатися з короткофокусного об'єктиву та інтерференційного світлофільтру (як окремо, так і у вигляді покриття скла об'єктиву) за довжиною хвилі опромінювання. Для кімнати загальною площею 20-30 м² кутове поле зору об'єктиву датчику повинне бути не менш 120°. Об'єktiv датчику з кутом зору 1200 може бути побудований за трьохлінзовою схемою, хід променів в якій зображений на рис.3.

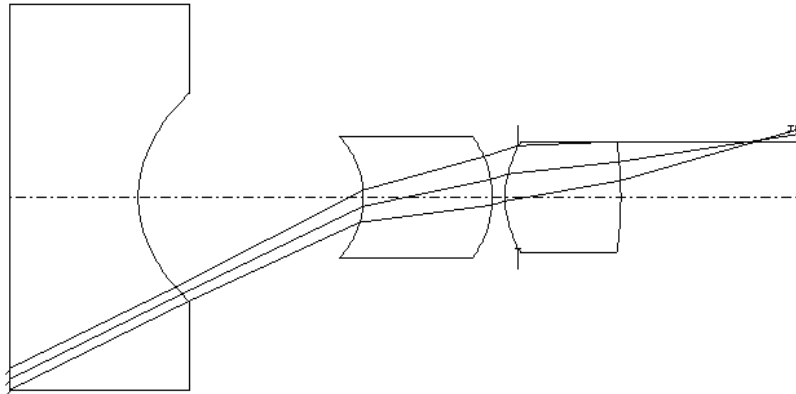


Рис. 3. Хід променів в оптичній системі датчику

Конструкція об'єктиву складається з лінз та механічних деталей типу обичайки та гайок (рис.4). Фотоприймальний пристрій буде складатися з об'єктиву та приймального фотодіоду. В основі електронної схеми повинні бути підсилювачі сигналу з фотодіоду з пороговим пристроєм. Сигналізацією датчика може бути світлове або звукове сповіщення.

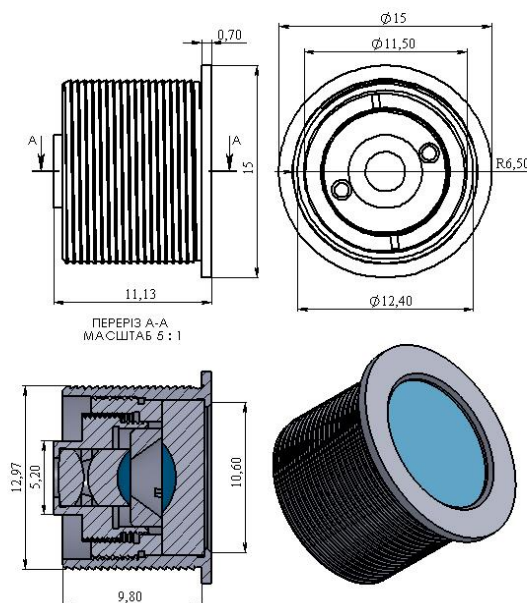


Рис. 4. Конструкція об'єктиву датчику

Висновки.

Таким чином, за вищенаведеним можливі наступні висновки:

1. Датчик лазерного опромінювання – це не дуже складний оптико-електронний пристрій.
2. Для одного приміщення достатньо одного такого пристрою.
3. До обов'язкового складу комплексу технічного захисту інформації доцільно розпочати включати датчик лазерного опромінювання.

Список використаної літератури

1. Durduran, T., Choe, R., Baker, W. B. & Yodh, A. G. Diffuse optics for tissue monitoring and tomography. // *Rep. Prog. Phys.* 73, 076701. – 2010.
2. Hemani Kaushal, Georges Kaddoum. Applications of Lasers for Tactical Military Operations. // Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2017.2755678. – Vol. 5, – 2017.
3. Laser Window Bounce Systems [Текст]. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://russian.alibaba.com/product-detail/laser-listening-50011848821.html>). Дата звернення 25.05.2020.
4. Matthew S. Hoehler and Christopher M. Smith. Application of Blue Laser Triangulation Sensors for Displacement Measurement Through Fire. // *Meas Sci Technol.* – 2016 Nov; 27(11): 115201.
5. Raf Vandersmissen. Laser beam profiling and infrared cameras. // MKT-2017-AN012-R001 Belgium, Leuven. – Date: 29/06/17. – Page 1 of 10.
6. Udd Eric, Spillman William. Fiber optic sensors an Introduction for Engineers and Scientists.// John Wiley & Sons, Inc., – 2011. – 506 p.
7. Yun Ying Wang, Qi Lan Huang, Gong Yuan Yang. *Advanced Materials Research (Volume 298)*. July 2011, 35-39.
8. Бараночников М.Л. Приемники и детекторы излучений. Ч. 2: Приемники оптического излучения. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 586 с.
9. В.И. Олейник, В.Н. Шмаров. Некоторые вопросы отражения лазерного излучения от шероховатых металлических поверхностей. // *Системы обработки информации.* – 2005. – № 3 (43).
10. І.О. Брагинець, Ю.О. Масюренко. Волоконно-оптичний сенсор для лінійних вимірювань. // *Технічна електродинаміка (Інститут електродинаміки НАН України).* – 2019. – № 6. – С.81-86.
11. Легкий В.Н., Галун Б.В., Санков О.В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 455 с.
12. Сенсор лазерного излучения. [Текст]. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.robostore.com.ua/moduli-i-datchiki/datchiki-osveshennosti/sensor-lazernogo-izlucheniya>). Дата звернення 25.05.2020.
13. Технологии лазерного сканирования Земли открывают новые возможности. // *Знание сила.* – 2015. – № 2.
14. Ю.М. Климков, В.С. Майоров, М.В. Хорошев. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2014– 108 с.

References

1. Durduran, T., Choe, R., Baker, W. B. & Yodh, A. G. (2010) Diffuse optics for tissue monitoring and tomography. *Rep. Prog. Phys.* 73, 076701.
2. Hemani Kaushal, Georges Kaddoum. (2017) Applications of Lasers for Tactical Military Operations. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2017.2755678. Vol. 5.

3. Laser Window Bounce Systems Url: <https://russian.alibaba.com/product-detail/laser-listening-50011848821.html>. Date: 25/05/2020.
4. Matthew S. Hoehler and Christopher M. Smith. (2016) Application of Blue Laser Triangulation Sensors for Displacement Measurement Through Fire. *Meas Sci Technol*. Nov 2016, 27(11): 115201.
5. Raf Vandersmissen. Laser beam profiling and infrared cameras. MKT-2017-AN012-R001 Belgium, Leuven. Date: 29/06/17. Page 1 of 10.
6. Udd Eric, Spillman William. (2011) Fiber optic sensors an Introduction for Engineers and Scientists. John Wiley & Sons, Inc.: 506.
7. Yun Ying Wang, Qi Lan Huang, Gong Yuan Yang. (2011) *Advanced Materials Research (Volume 298)*. July 2011: 35-39.
8. Baranochnikov M.L. (2017) Radiation receivers and detectors. Part 2: Optical radiation receivers. Moscow, DMK Press: 586.
9. V.I. Oleynik, V.N. Shmarov. (2005) Some issues of reflection of laser radiation from rough metal surfaces. *Information processing systems*. 3 (43).
10. I.O. Braginets, Yu.O. Masyurenko. (2019) Fiber optic sensor for linear measurements. *Technical Electrodynamics (Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine)*. 6: 81-86.
11. Light V.N., Galun B.V., Sankov O.V. (2011) Optoelectronic elements and devices of special-purpose systems. - Novosibirsk: Publishing House of NSTU: 455.
12. Laser light sensor. Url: <https://www.robostore.com.ua/moduli-i-datchiki/datchiki-osveshennosti/sensor-lazernogo-izlucheniya>). Date 25.05.2020.
13. Earth's laser scanning technologies are opening up new possibilities. (2015) *Knowledge is power*. 2.
14. Yu.M. Klimkov, V.S. Mayorov, M.V. Khoroshev. (2014) The interaction of laser radiation with matter: a training manual. Moscow MIIGA&K: 108.