

УДК 621.382.2/3

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.2\(30\).54-59](https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.2(30).54-59)**А. В. ФЕДОРЕНКО**, провідний інженер<https://orcid.org/0000-0001-6201-6129>(Інститут фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, м. Київ)**В. М. РИЖИХ**, доктор технічних наук, професор<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>**А. В. КУЧИНСЬКИЙ**, кандидат технічних наук,
провідний науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0002-2478-5776>(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)**В. П. МАСЛОВ**, доктор технічних наук,

професор, завідувач відділом

<https://orcid.org/0000-0001-7795-6156>(Інститут фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
м. Київ)

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТАНКОВИХ ЛАЗЕРНИХ ДАЛЕКОМІРІВ

В статті розглянуто тенденції розвитку танкових лазерних далекомірів. Предметом дослідження є лазерний далекомір. Метою роботи є визначення сучасних тенденцій в розробці лазерних далекомірів та додаткових вимог, пов'язаних з маскуванням танків в ІЧ-діапазоні, котрі потребують вирішення.

Проаналізовано існуючі танкові лазерні далекоміри в сучасних системах прицілювання та визначено тенденції вибору їх робочої довжини хвилі і основних приладових компонентів імпульсних лазерів та швидкодіючих фотоприймачів. Обґрунтовано перспективність використання джерела лазерного випромінювання з діодною накачкою та робочою довжиною хвилі 1,54 мкм. Результати роботи можна застосувати в галузі оптоелектроніки, зокрема, для створення лазерних далекомірів.

Ключові слова: тенденції розвитку, проблеми лазерних далекомірів, системи прицілювання танків, довжина хвилі.

ВСТУП

Задача автоматизації наведення озброєння надзвичайно важлива для військової техніки, адже відомо, що «той, хто зробив перший влучний постріл, – той переміг». Для прицілювання необхідно точно знати відстань до цілі, що і вирішують лазерні імпульсні далекоміри.

Перші прототипи танкових далекомірів з'явилися ще в середині 50-х років минулого століття [1]. Цей напрям продовжують активно розвивати в усіх провідних країнах світу. У відкритих публікаціях [2] у США в 1978 році максимально можлива вимірювана лазерним далекоміром відстань становила щонайменше 5 км з похибкою ± 10 м, а його робоча довжина хвилі становила 1,06 мкм. На той час і в радянських розробках використовувались твердотільні лазери на основі неодимового скла, які працюють на довжині хвилі 1,06 мкм. В Україні на сьогодні переважна більшість систем прицілювання базується на розробках тих часів. За більш ніж 40 років спостережень за роботою таких далекомірів можна визначити наступні недоліки [3]: невисока надійність, яка в основному пов'язана з невисокою надійністю ламп розжарювання в системі накачування активного елемента, великі габарити і небезпечність випромінювання цієї довжини хвилі для сітчатки ока. Тому пошук альтернатив в цій сфері пов'язаний з переходом до систем з іншими робочими довжинами хвилі, на основі інших лазерів і, відповідно до цього, фотоприймачів.

Метою роботи є визначення сучасних тенденцій в розробці лазерних далекомірів та додаткових вимог, пов'язаних з маскуванням танків в ІЧ-діапазоні, котрі потребують вирішення.

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЛАЗЕРНИХ ДАЛЕКОМІРІВ В ТАНКОВИХ СИСТЕМАХ

Робочим середовищем для танкових далекомірів є земля атмосфера з висотою, не значно більшою рівня моря. Враховуючи необхідність точно вимірювати великі відстані, середовище повинно бути максимально прозорим на робочій довжині хвилі, тобто працювати в так званих «вікнах прозорості». Оптичний спектр пропускання земної атмосфери наведено на рис. 1.

Як видно, «вікна прозорості» наявні в ближній та середній інфрачервоній (ІЧ) областях, а також атмосфера прозора в широкому діапазоні дальньої ІЧ області. Окрім газів, в атмосфері присутні тверді частинки, особливо це впливає на відстань вимірювання на полі бою, де можуть бути значна задимленість та пил. Перехід до більших довжин хвилі зменшує вплив таких частинок, що корисно для збільшення максимальної вимірюваної відстані.

Іншим важливим фактором вибору робочої довжини хвилі у «вікнах прозорості» є можливість створення джерела потужного лазерного випромінювання. Також для роботи далекоміра важлива висока чутливість фотоприймача при необхідній швидкодії. В імпульсних лазерних далекомірах постійна часу одного імпульсу складає від 5 до 50 нс, відповідно швидкодія фото-

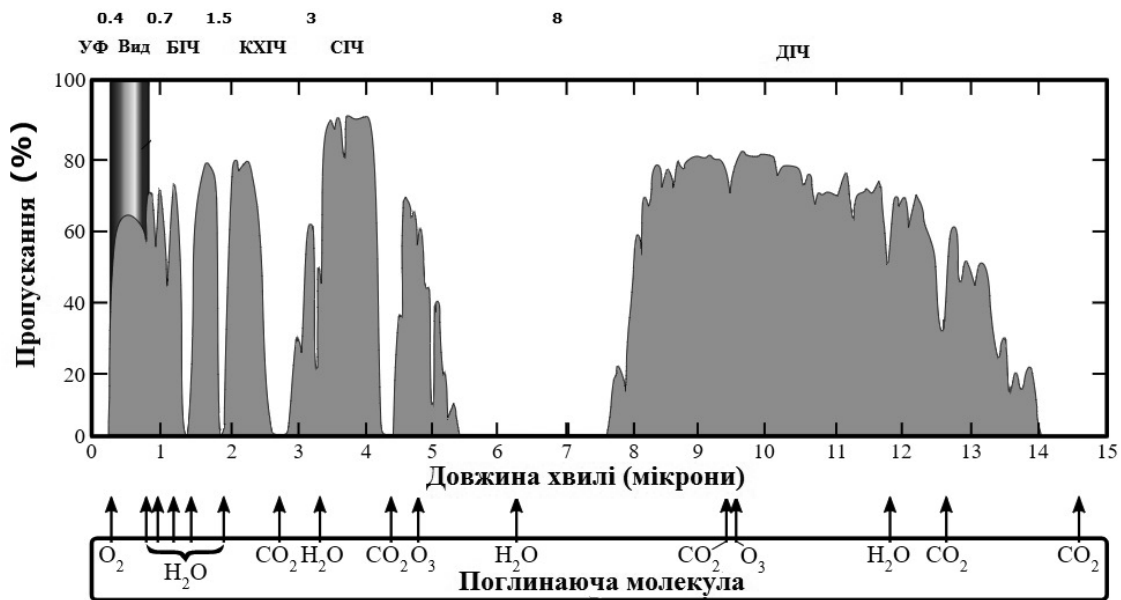


Рис. 1. Оптичний спектр пропускання земної атмосфери [4]

приймача повинна бути достатньою для сприймання настільки коротких імпульсів. Точність визначення відстані до цілі залежить від швидкості, з якою фотоприймач реєструє передній фронт імпульсу [5]. Швидкодію, яка задовольняє таким вимогам, а також високу надійність та доступність мають фотодіоди з р-і-n структурою [6].

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЛАЗЕРНИХ ДАЛЕКОМІРІВ

Розглянемо основні танки армій з різних країн світу. Леопард 2А6М знаходиться на озброєнні не лише Німеччини, а також поставляється до США, Австрії, Туреччини. Його приціл навідника має лазерний далекомір SE628, розроблений компанією Zeiss Optronik [7], лазер – ітрій-алюмінієвий гранат, активований іонами неодиму (Nd: YAG). Це твердотільний лазер, який працює на довжині хвилі $\lambda = 1,06$ мкм, з дальністю вимірювання 0,2 – 9,9 км та похибкою < 20 м на максимальній відстані. Але така довжина хвилі не є безпечною для сітківки ока [8].

Основний американський танк M1A2 SEP Абрамс обладнується лазерним далекоміром Hughes LR, який також за основу має Nd: YAG лазер. Проте модернізований такий далекомір включає в себе Раманівський резонатор, що змінює довжину хвилі до 1,54 мкм, безпечно для ока [9]. Дальність вимірювання складає 0,2 – 7,9 км, з похибкою ± 10 м. Про актуальність задачі розробки танкового далекоміра з безпечною для ока довжиною хвилі можна зробити висновок з публікації [10] в 2019 році федерального гранту від Department of the Army Materiel Command Contracting Command Detroit Arsenal.

Далекоміри основних танків Великобританії Челленджер 2, Китаю ZTZ-99A2, Південної Кореї K2, Японії Тип 10 та Росії Т-90А також базуються на Nd: YAG лазерах.

Необхідність переходу на безпечні для людського ока довжини хвилі 1,54 мкм та 10,6 мкм розглядали ще в

роботах [2, 11, 12]. Для лазерних далекомірів з $\lambda = 10,6$ мкм джерелом випромінювання є CO_2 , проте вони мають значно менший коефіцієнт відбиття від цілі, хоча і менш чутливі до кліматичних умов [13].

Розроблено ряд приладів на довжині хвилі 1,54 мкм, які з успіхом можуть замінити далекоміри на довжині хвилі 1,06 мкм при модернізації танкових підрозділів НАТО, а саме:

- лазерні далекоміри Hensoldt із сучасною оптикою CarlZeiss [14];
- універсальна система управління прицілом та вогнем SAAB [15];
- лазерні далекоміри для мобільних та стаціонарних систем Jenoptic [16].

Крім того, до недоліків приладів з довжиною хвилі 1,06 мкм слід віднести те, що таке випромінювання реєструється звичайними приладами нічного бачення навіть піхоти, що демаскує військову техніку. А для 1,54 мкм необхідні вже спеціальні камери для ближнього інфрачервоного діапазону, як SWIR від Sensors inc. [17] та інших тепловізійних систем.

Аналіз роботи військових прицільних комплексів в ітчизняної бронетанкової техніки, наприклад, ТПД-К1, 1К13 [18], в якому збудження лазерного випромінювання в активному стрижні з неодимового скла відбувається завдяки ламповому «накачуванню», дозволив виявити наступні недоліки, які співпадають з раніше наведеними: великі габарити, високе енергоспоживання, недостатня надійність через перегорання ламп «накачування», до того ж довжина хвилі випромінювання 1,06 мкм є небезпечною для людського ока [19]. Тенденція розвитку таких приладів пов'язана з усуненням цих недоліків завдяки створенню нових лазерних матеріалів та лазерів на їх основі на довжину безпечної для ока хвилі 1,54 мкм з діодним «накачуванням», що дає змогу суттєво підвищити надійність, зменшити габарити та енергоспоживання [6, 3].

Сучасні системи прицілювання бронетанкової техніки передбачають високонадійні лазерні далекоміри, які працюють в інфрачервоному діапазоні випромінювання і забезпечують на відстані 9,9 км похибку ± 10 м. Подальший розвиток цих систем спрямований на розробку високонадійних, малогабаритних лазерів з діодним накачуванням та високочутливих і надійних фотоприймальних пристроїв.

Для України особливо важлива розробка р-і-п фотоприймачів власного виробництва [3] на довжину хвилі 1,54 мкм, які не поступалися б параметрами зарубіжним аналогам. Основним матеріалом для таких фотоприймачів є напівпровідниковий германій. Підвищення чутливості напівпровідникового фотоприймача особливо необхідно у військовій техніці, для котрої постійно удосконалюються системи маскування, в тому числі в ІЧ-діапазоні. Ці засоби захисту передбачають поглинання або розсіювання ІЧ-випромінювання або спотворення форми об'єкту [20]. Чутливість р-і-п фотоприймачів може бути підвищена завдяки зменшенню власних шумів, витоків поверхневих реєструючих струмів, застосуванню просвітлюючих покриттів та спеціальних вузькозонних фільтрів для деталей всього оптичного тракту фотоприймальних пристроїв. Однією з перспектив розвитку далекометрії є використання одночасно двох довжин хвиль в ІЧ-діапазоні та використання штучного інтелекту для обробки результатів і виявлення замаскованого об'єкту [21].

В роботах [22 – 24] досліджувалась стійкість фотоприймального пристрою лазерного далекоміра з $\lambda_0 = 1,54$ мкм, побудованого на основі германієвого лавинного фотодіоду (ЛФД), до «осліплюючого» імпульсного потужного лазерного випромінювання з $\lambda_0 = 1,064$ мкм і $\tau_0 = 4$ нс. Встановлено, що граничне значення потужності «осліплюючого» лазерного випромінювання для Ge ЛФД становить $\sim 1 \cdot 10^8$ Вт/см², тоді як у ЛФД, виготовлених на основі A_3B_5 (наприклад InGaAs), це значення майже на два порядки менше, що однозначно свідчить про перевагу використання германієвих фотоприймачів у військових імпульсних лазерних далекомірах. Крім того, в [24] показано, що Ge ЛФД з більш глибоким заляганням р-п переходу від опромінюваної поверхні (~ 6 мкм) проявляють в рази більшу стійкість, ніж з глибиною залягання ~ 2 мкм, що пояснюється особливістю генерації лазерно-індукованих дефектів в активній області Ge ЛФД. Логічно допустити, що в Ge р-і-п фотодіодах будуть спостерігатись закономірності зміни темного струму і шуму при їх «осліпленні» імпульсним лазерним випромінюванням з $\lambda_0 = 1,064$ мкм, аналогічні закономірностям, встановленим у роботах [22 – 24].

Отже, перспективними є далекоміри з довжиною хвилі $\lambda_{\max} = 1,54$ мкм, оскільки вони більш безпечні для ока людини [25] в порівнянні з 1,06 мкм. Для цієї довжини хвилі можливе створення потужних лазерів з накачкою світлодіодами, що забезпечує компактність та високу надійність. Доцільне застосування в якості фотоприймача Ge р-і-п фотоприймача, розробленого в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, працездатність якого в складі імпульсного

лазерного далекоміру досліджено в роботі [26]. Однією з переваг такого фотоприймача є наявність вхідного кремнієвого фільтра, який не лише зменшує засвітку сторонніми джерелами, а й дозволяє значно підвищити стійкість до спеціальних перешкод.

ВИСНОВКИ

Тенденція розвитку лазерних далекомірів пов'язана зі створенням нових лазерних матеріалів на довжину безпечної для ока хвилі 1,54 мкм з діодним «накачуванням», що суттєво підвищує надійність, зменшує габарити та енергоспоживання. Для цих систем в якості фотоприймача рекомендується застосування високочутливого Ge р-і-п фотодіоду.

Для вирішення проблеми створення перспективних систем прицілювання на основі фотоприймальних р-і-п структур, що виявлятимуть замасковані об'єкти, рекомендуємо використовувати одночасно дві довжини хвиль в ІЧ-діапазоні. Доцільним є використання штучного інтелекту для обробки результатів в таких системах і виявлення замаскованого об'єкту.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Абрамов А.И. Эволюция танковых прицелов – от механических прицелов к системам управления огнем (Аналитический обзор). Контентант. 2017. № 3. Т. 16. С. 80—94. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mtlblab.ru/a227289-evolyutsiyatankovyh-pritselov.html>.
2. Final technical report laser rangefinder/tank thermal sight integration study. Available at: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a054622.pdf>.
3. Лазерные системы танковых прицелов / А.Р. Глушенко, В.И. Гордиенко, А.А. Бурковский, А.В. Бурак, В.Н. Замосенчук, Г.Я. Соловьев. Черкассы: Маклаут. 2009. 216 с.
4. Atmospheric Transmittance. Available at: https://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/md_help/remote_sensing_course/atmos_transmit.htm.
5. Долгих А.Е., Жидков П.М. Модель авиационного импульсного лазерного дальномера, работающего по аэродинамическим объектам. М.: Тр. МАИ. 2018. № 100. С. 315—335.
6. Лазерные приборы и методы измерения дальности / В.Б. Бокшанский, Д.А. Бондаренко, М.В. Вязовых, И.В. Животовский, А.А. Сахаров, В.П. Семенов; под ред. В.Е. Карасика. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 96 с.
7. Leopard 2 Main Battle Tank. Available at: <https://www.army-technology.com/projects/leopard>.
8. Rangefinding with Eye-safe Light. Available at: <https://www.thefreelibrary.com/Rangefinding+with+Eye-safe+Light.-a070367447>.
9. M1 Abrams. Available at: https://tanks-encyclopedia.com/coldwar/US/M1_Abrams.php.
10. Electronic Eye-Safe Laser Rangefinder. Available at: <https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/electronic-eye-safe-laser-rangefinder-w56hzv19r0215>.

11. Holtrup, G. (1983). Evaluation and control of laser hazards. Occupational Medicine Relevant to Aviation Medicine. Conf. Proc. of the Aerospace Medical Panel Symposium Held at London on 4 October, 1983.
12. Mandal, R., Sanyal, S., Sharma, P.K. & Singh, I. Optics design for laser designator cum range finder. Conf.: Trends in Optics and Photonics. At: Kolkata. December, 2011.
13. Larochelle, V., Hutt, D., Bonnier, D. & Theiault, J.-M. (1993). 1.54/10.6- μ m eyesafe laser rangefinders performance under adverse weather conditions. Infrared Phys. Vol. 34. No. 4. Pp. 421—439.
14. Hensoldt Eye-Safe Laser Rangefinders – LRF Modules with State-of-the-Art Carl Zeiss Optics. Available at: http://www.idssi.com/hensoldt_sa.
15. Universal sight and fire control system. Available at: <https://www.saab.com/products/utaas-tank-and-anti-aircraft-system>.
16. Laser rangefinders for mobile and stationary systems. Available at: <https://www.jenoptik.com/products/lidar-sensors-technologies/laser-rangefinders>.
17. Imaging and Detection of Laser Designators and Range Finders with Short Wave Infrared. Available at: <http://www.sensorsinc.com/applications/military/laser-designation>.
18. Автоматические системы управления огнем / И.Ю. Лепешинский, П.М. Варлаков, Д.Н. Захаров, Д.В. Погодаев, О.И. Чикерев. Омск: Омский гос. техн. ун-т. 2010. 200 с.
19. Нечипорук А.А., Старчевский Ю.Л. Фотоприёмник для дальномера в безопасном для глаз диапазоне 1,54 мкм. Биомедицинская инженерия и электроника. 2013. № 1(3). С. 37—38.
20. Пути усовершенствования противодействия тепловизионной разведке / С.Ю. Поляков, В.М. Ленкин, С.С. Королев, Г.А. Змиевской. Зб. наук. пр. Харків: Харківський ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2015. Вип. 1(42). С. 7—15.
21. Андрощук Г. Тенденції розвитку технологій штучного інтелекту: економіко-правовий аспект. Теорія і практика інтелектуальної власності. 2019. № 3. С. 84—101.
22. Зверев Г.М., Землянов М.М., Короннов А.А. Действие мощного импульса лазерного излучения на германиевый лавинный фотодиод. Прикладная физика. 2015. № 2. С. 79—83.
23. Короннов А.А., Зверев Г.М., Землянов М.М. Исследование характеристик германиевого лавинного фотодиода, подвергнутого мощному лазерному воздействию. Прикладная физика. 2015. № 4. С. 54—58.
24. Повышение стойкости фотоприемных устройств на базе германиевого лавинного фотодиода к воздействию мощного лазерного излучения / Короннов А.А., Сафутин А.Е., Землянов М.М., Зверев Г.М. Прикладная физика. 2015. № 6. С. 65—69.
25. Увеличение дальности действия лазерных дальнометров с безопасным для глаз излучением / Фираго В.А., Петрович И.П., Буйко А.С., Шумак Д.В. ЭБ БГУ: Естественные и точные науки: Физика. Минск: Изд-ий центр БГУ. 2010. С. 141—143.
26. Fedorenko, A.V., Vorona, I.O. & Maslov, V.P. (2021). Investigation of Ge p-i-n photodetector as a part of pulsed laser range finder prototype. Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. Vol. 24. No 1. Pp. 129—131.

REFERENCES

1. Abramov, A.I. (2017), “Evolutsia tankovyh pritselov – ot mekhanicheskikh pritselov k sistemam upravleniya ognem (Analiticheskii obzor)” [The evolution of tank sights – from mechanical sights to fire control systems (Analytical review)], Kontenant, № 3. Vol. 16. Pp. 80—94. Available at: <https://mtlblab.ru/a227289-evolyutsiya-tankovyh-pritselov.html>.
2. Final technical report laser rangefinder/tank thermal sight integration study. Available at: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a054622.pdf>.
3. Gluschenko, A.R., Hordienko, V.I., Burkovskii, A.A., Burak, A.V., Zamosenchuk, V.N. & Soloviev, G.Ia. (2009), “Lazernie sistemy tankovyh pritselov” [Laser systems for tank sights], Maklaud, Cherkasy. 216 p.
4. Atmospheric Transmittance. Available at: https://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/md_help/remote_sensing_course/atmos_transmit.htm.
5. Dolgikh, A.E. & Jidkov, P.M. (2018), “Model aviatsionnogo impulsnogo lazernogo dalnomera, rabotaiuschego po aerodinamicheskim obektam” [Model of an aviation pulsed laser rangefinder operating on aerodynamic objects], Reports of MAI. № 100. Pp. 315—335.
6. Bokshanskii, V.B., Bondarenko, D.A., Viazovikh, M.V., Zhivotovskii, I.V., Sakharov, A.A. & Semenov, V.P.; Ed. Karasik, V.E. (2012), “Lazernie pribori i metody izmerenia dalnosti” [Laser devices and methods of measuring range], MSTU N. Bauman, M. 96 p.
7. Leopard 2 Main Battle Tank. Available at: <https://www.army-technology.com/projects/leopard>.
8. Rangefinding with Eye-safe Light. Available at: <https://www.thefreelibrary.com/Rangefinding+with+Eye-safe+Light.-a070367447>.
9. M1 Abrams. Available at: https://tanks-encyclopedia.com/coldwar/US/M1_Abrams.php.
10. Electronic Eye-Safe Laser Rangefinder. Available at: <https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/electronic-eye-safe-laser-rangefinder-w56hz-v19r0215>.
11. Holtrup, G. (1983). Evaluation and control of laser hazards. Occupational Medicine Relevant to Aviation Medicine. Conf. Proc. of the Aerospace Medical Panel Symposium Held at London on 4 October, 1983.
12. Mandal, R., Sanyal, S., Sharma, P.K. & Singh, I. Optics design for laser designator cum range finder. Conf.: Trends in Optics and Photonics. At: Kolkata. December, 2011.
13. Larochelle, V., Hutt, D., Bonnier, D. & Theiault, J.-M. (1993). 1.54/10.6- μ m eyesafe laser rangefinders

- performance under adverse weather conditions. *Infrared Phys.* Vol. 34. No. 4. Pp. 421—439.
14. Hensoldt Eye-Safe Laser Rangefinders – LRF Modules with State-of-the-Art Carl Zeiss Optics. Available at: http://www.idssi.com/hensoldt_sa.
 15. Universal sight and fire control system. Available at: <https://www.saab.com/products/utaas-tank-and-anti-aircraft-system>.
 16. Laser rangefinders for mobile and stationary systems. Available at: <https://www.jenoptik.com/products/lidar-sensors-technologies/laser-rangefinders>.
 17. Imaging and Detection of Laser Designators and Range Finders with Short Wave Infrared. Available at: <http://www.sensorsinc.com/applications/military/laser-designation>.
 18. Lepeshinskii, I.Iu., Varlakov, P.M., Zakharov, D.N., Pogodaev, D.V. & Chikerev, O.I. (2010), “*Avtomaticheskije sistemy upravleniia ognem*” [*Automatic fire control systems*], Omsk State Technological Univ. Omsk. 200 p.
 19. Nechiporuk, A.A. & Starchevskii, Iu.L. (2013), “*Fotopriiomnik dlia dalnomera v bezopasnom dlia glaz diapazone 1,54 mkm*” [*Photodetector for rangefinder in the eye-safe range of 1.54 microns*], *Biomedical engineering and electronics*. № 1(3). Pp. 37—38.
 20. Poliakov, S.Iu., Lenkin, V.M., Korolev, S.S. & Zmi-evskoi, G.A. (2015), “*Puti usovershenstvovaniia protivodeistviia teplovizionnoi razvedke*” [*Ways to improve countermeasures to thermal imaging reconnaissance*], Coll. of scientific works of Ivana Kozheduba Kharkiv Univ. of the Air Force. Vol. 1(42). Pp. 7—15.
 21. Androschuk, G. (2019), “*Tendentsii rozvytku tekhnolohii shtuchnoho intelektu: ekonomiko-pravovyi aspekt*” [*Trends in the development of artificial intelligence technologies: economic and legal aspect*], *Theory and practice of intellectual property*. № 3. Pp. 84—101.
 22. Zverev, G.M., Zemlianov, M.M. & Koronnov, A.A. (2015) “*Deistvie moshchnogo impulsa lazernogo izlucheniia na germanievyi lavinnyi fotodiod*” [*The action of a powerful laser pulse on a germanium avalanche photodiode*], *Applied physics*. № 2. Pp. 79—83.
 23. Koronnov, A.A., Zverev, G.M. & Zemlianov, M.M. (2015), “*Issledovanie kharakteristik germanieвого lavinnogo fotodioda, podvergnutogo moshchnomu lazernomu vozdeystviuu*” [*Investigation of the characteristics of a germanium avalanche photodiode exposed to high-power laser action*], *Applied physics*. № 4. Pp. 54—58.
 24. Koronnov, A.A., Safutin, A.E., Zemlianov, M.M. & Zverev, G.M. (2015), “*Povyshenie stoikosti fotopriemnykh ustroystv na baze germanieвого lavinnogo fotodioda k vozdeystviuu moshchnogo lazernogo izlucheniia*” [*Increasing the resistance of photodetectors based on a germanium avalanche photodiode to high-power laser radiation*], *Applied physics*. № 6. Pp. 65—69.
 25. Firago, V.A., Petrovich, I.P., Buiko, A.S. & Shumak, D.V. (2010), “*Uvelichenie dalnosti deistviia lazernykh dalnomerov s bezopasnym dlia glaz izlucheniem*” [*Extending the range of laser rangefinders with eye-safe radiation*], *EL BSU: Natural and exact sciences: Physics*. Publishing Center BSU. Minsk. Pp. 141—143.
 26. Fedorenko, A.V., Vorona, I.O. & Maslov, V.P. (2021). Investigation of Ge p-i-n photodetectors as a part of pulsed laser range finder prototype. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*. Vol. 24. No 1. Pp. 129—131.

Fedorenko A., Ryzhyh V., Maslov V.

THE DEVELOPMENT TRENDS OF TANK LASER RANGEFINDERS

The article considers the development trends of tank laser rangefinders. The subject of research is a laser rangefinder. The purpose of this work is to identify current trends in the development of laser rangefinders and additional requirements, related to the masking of tanks in the IR range, the requirements that need to be addressed.

The existing tank laser rangefinders in modern aiming systems are analyzed and the tendencies of choosing their working wavelength and the main instrument components of pulsed lasers and high-speed photodetectors are determined. The prospects of using a laser radiation source with diode pumping and a working wavelength of 1.54 μm are substantiated. For this wavelength, it is possible to create powerful lasers with LED pumping, which provides compactness and high reliability. It is advisable to use as a photodetector Ge p-i-n photodetector developed in the Institute of Semiconductor Physics by V.Ye. Lashkaryov of NAS of Ukraine, the efficiency of which, as part of a pulsed laser rangefinder was studied in the work. One of the advantages of such a photodetector is the presence of an input silicon filter, which not only reduces the illumination by external sources, but also allows to significantly increase the resistance to special interference. Due to the widespread tendency to mask tanks in the infrared (thermal) range, laser aiming and rangefinder systems have additional requirements that need to be addressed as soon as possible. One way to do this is to use two wavebands and artificial intelligence to analyze the image.

The trend in the development of laser rangefinders is associated with the creation of new laser materials at an eye-safe wavelength of 1.54 μm with diode «pumping», which significantly increases reliability, reduces size and power consumption. For these systems, the use of a highly sensitive germanium p-i-n photodiode is recommended as a photodetector.

To solve the problem of creating promising aiming systems based on photodetective p-i-n structures that will detect masked objects, we recommend using two wavelengths in the infrared range at the same time. It is advisable to use artificial intelligence to process the results in such systems and detect the masked object.

The results can be applied in the field of optics and electronics, in particular, to create laser rangefinders.

Key words: *development tendencies, problems of laser rangefinders, tank aiming systems, wavelength.*

Відомості про авторів:

Федоренко Артем Вячеславович

провідний інженер

Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова
НАН України,

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-6201-6129>

e-mail: aaartemaa@gmail.com

Information about the authors:

Artem Fedorenko

General engineer

of V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS
of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6201-6129>

e-mail: aaartemaa@gmail.com

Рижих Василь Миколайович

Доктор технічних наук, професор,

провідний науковий співробітник

Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України,

Київ, Україна

e-mail: vasyl.ryzhyh@ukroboronprom.com

Vasyl Ryzhyh

Doctor of Technical Sciences, Professor

General Researcher

of Central Research Institute of Armament and Military
Equipment

of the Armed Forces of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

e-mail: vasyl.ryzhyh@ukroboronprom.com

Маслов Володимир Петрович

Доктор технічних наук, професор,

завідуючий відділом

Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова
НАН України,

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-7795-6156>

e-mail: vpmaslov@ukr.net

Volodymyr Maslov

Doctor of Technical Sciences, Professor

Head of Department

of V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS
of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-7795-6156>

e-mail: vpmaslov@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 23.03.2021.