



**Artemii
V. Bernatskyi**
Бернацький
Артемій
Володимирович

УДК 621.373.826: 623.82: 623.98:681.7.069.24:903.22

DEVELOPMENT OF HIGH-ENERGY LASER SHIP INSTALLATIONS AND ANALYSIS OF THE SPECIFICS OF THEIR APPLICATION IN MARINE CONDITIONS (REVIEW)

**СТВОРЕННЯ ПОТУЖНИХ ЛАЗЕРНИХ КОРАБЕЛЬНИХ
УСТАНОВОК ТА АНАЛІЗ СПЕЦИФІКИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ
У МОРСЬКИХ УМОВАХ (ОГЛЯД)**

DOI [https://doi.org/10.15589/smi2024.2\(19\).08](https://doi.org/10.15589/smi2024.2(19).08)



**Mykola
V. Sokolovskyi**
Соколовський
Микола
Володимирович

Artemii V. Bernatskyi

Бернацький Артемій Володимирович,
канд. техн. наук, старш. дослідник
bernatskyi@paton.kiev.ua
ORCID: 0000-0002-8050-5580

Mykola V. Sokolovskyi

Соколовський Микола Володимирович,
аспірант
ksvmua@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3243-5060

Oleksandr V. Siora

Сіора Олександр Васильович,
наук. співробітник
siora_ov@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1927-790X

Yurii V. Yurchenko

Юрченко Юрій Вікторович,
аспірант
yuriyyurchenko14@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9253-009X



**Oleksandr
V. Siora**
Сіора Олександр
Васильович

Taras M. Nabok

Набок Тарас Миколайович,
молодший наук. співробітник
nabok@paton.kiev.ua
ORCID: 0000-0002-9582-5763

*E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv*

*Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук
України, м. Київ*



**Yurii
V. Yurchenko**
Юрченко Юрій
Вікторович

Abstract. The purpose of this article is to define and consider the specifics of the usage of laser weapons in maritime conditions and to determine the patterns of interaction between scientific progress and its integration into naval affairs through a comprehensive review of the problems and practical applications of laser technologies in their development and use by countries around the world. The research methodology used in this article includes a systematic review of sources, namely: peer-reviewed articles, industry reports, as well as news and popular science articles to collect data on the historical development and technological progress in the use of laser weapons in the maritime environment. The results of the work are represented by a series of conclusions and assessments of the use of lasers in the maritime environment, as well as an analytical assessment of the problems faced by the developers of these systems. The scientific novelty of the study lies in the possibly new approach to the consideration of



Taras M. Nabok
Набок Тарас
Миколайович

the interaction of laser radiation with various materials (plastics, textolite, aluminum alloys, etc.), in the context of their destruction. For this purpose, we reviewed the development of powerful laser shipboard installations and analyzed the specifics of their application in marine conditions. This will make it possible to develop a methodology for determining the effect of laser radiation parameters on the destruction of materials used to make UAV parts. The dependencies of the influence of changes in energy, time and other parameters of laser radiation on the interaction with the materials from which UAV parts are made will be determined. The practical significance of this study lies in the fact that its results will allow us to establish the values of these parameters of laser radiation, the achievement of which leads to the destruction of materials of UAV parts. Despite the long way and great progress in the use of lasers as naval weapons to combat both missiles and pirates, this area of laser energy use is still in a very active stage of development. It can be argued that the development, creation, testing and deployment of laser weapons for shipboard use will be extremely relevant in the next 5-10 years.

Key words: laser; shipborne installation; laser weaponry; warship; history of usage; naval specifics.

Анотація. Мета даної статті – визначення та розгляд специфіки використання лазерного озброєння в морських умовах та визначення закономірностей взаємодії наукового прогресу та його інтеграції в військово-морське діло за допомогою багатогранного аналізу проблематики та практичних використань лазерних технологій у розробці та на озброєнні країн світу. Методика дослідження, що використовується у даній статті, включає у себе систематичний огляд джерел, а саме: рецензованих статей, галузевих звітів, а також новин та науково-популярних статей для збору даних про історичний розвиток і технологічний прогрес в області використання лазерного озброєння в морських умовах. Результати роботи представляють собою ряд висновків та оцінок використання лазерів у морському середовищі, а також аналітичну оцінку проблем, з якими стикаються розробники даних систем. Наукова новизна дослідження полягає у новому підході до розгляду питання взаємодії лазерного випромінювання з різними матеріалами (пластиками, текстолітом, алюмінієвими сплавами та іншими), у розрізі їх деструкції. Саме для цього було виконано огляд створення потужних лазерних корабельних установок та проведено аналіз специфіки їх застосування у морських умовах. Це дозволить розробити методику визначення впливу параметрів лазерного випромінювання на деструкцію матеріалів, з яких виготовляються деталі БПЛА. Будуть визначені залежності впливу зміни енергетичних, часових та інших параметрів лазерного випромінювання на взаємодію з матеріалами з яких виготовляються деталі БПЛА. Практична значимість полягає в тому, що її результати дозволять встановити значення зазначених параметрів лазерного впливу, досягнення яких призводить до руйнування матеріалів деталей БПЛА. Незважаючи на пройдений шлях та великий прогрес у темі використання лазерів як корабельного озброєння для боротьби як з ракетами, так і з піратами, цей напрямок використання лазерної енергії знаходиться у досить активній стадії розробки. Можна стверджувати, що тематика розроблення, створення, випробування та впровадження лазерної зброї для корабельного використання буде надзвичайно актуальна у найближчі 5-10 років.

Ключові слова: лазер; корабельні застосування; лазерне озброєння; військовий корабель; історія застосувань; морська специфіка.

References

- [1] Hecht, J. (2010). Short history of laser development. *Optical Engineering*, 49(9), 091002. <https://doi.org/10.1117/1.3483597>
- [2] Cook, J. (2012). High-energy laser weapons since the early 1960s. *Optical Engineering*, 52(2), 021007. <https://doi.org/10.1117/1.oe.52.2.021007>
- [3] Titterton, D. (2004). A review of the development of optical countermeasures. *SPIE Proceedings, Technologies for Optical Countermeasures*, 5615, 1–15. <https://doi.org/10.1117/12.610112>
- [4] Zabunov, S., & Mardirossian, G. (2020). Malicious drones interception and neutralization – latest technologies overview. *Proceedings of SES 2020 Sixteenth International Scientific Conference Space, Ecology, Safety*, Sofia, Bulgaria, 120–123. Retrieved from http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202020_DOKLADI/2_Aerospace%20Technologies/5_Zabunov.pdf
- [5] O'Rourke, B. (2023, June 22). Now arriving: High-power laser competition. *U.S. Naval Institute*. Retrieved from <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2022/july/now-arriving-high-power-laser-competition>
- [6] Abott, R. (2023, February 15). Navy cautious on lasers because first program of record could cost \$1 billion, ONR official says. *Defense Daily*. Retrieved from <https://www.defensedaily.com/navy-cautious-on-lasers-because-first-program-of-record-could-cost-1-billion-onr-official-says/navy-usmc/>
- [7] Militaryni. (2023, June 20). VMS Frantsii vyprobuvaly boiovyi lazer Helma-P [The French Navy tested the Helma-P combat laser]. *Militaryni [Military]*. Retrieved from <https://mil.in.ua/uk/news/vms-frantsiyi-vyprobuvaly-bojoviy-lazer-helma-p/>
- [8] Kosuke, T. (2023, March 31). Japanese defense firms unveil high-energy laser anti-drone weapons. *The Diplomat*. Retrieved from <https://thediplomat.com/2023/03/japanese-defense-firms-unveil-high-energy-laser-anti-drone-weapons/>
- [9] ICRC. (1996). Practice relating to Rule 86: Blinding Laser Weapons. *IHL*. Retrieved from <https://ihl-databases.icrc.org/en/customary-ihl/v2/rule86>
- [10] Chinese Navy Trials Laser Weapon. (2019, April 10). *Janes*. Retrieved from <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/chinese-navy-trials-laser-weapon>
- [11] Newdick, T. (2024, August 19). Laser weapon appears on Chinese amphibious assault ship. *The War Zone*. Retrieved from <https://www.twz.com/air/laser-weapon-appears-on-chinese-amphibious-assault-ship>
- [12] Pike, J. (2018). Aquilon/Project 10030 Foros. *Global Security*. Retrieved from <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/aquilon.htm>
- [13] Pike, J. (2018). Aydar/Project 596P Dixon. *Global Security*. Retrieved from <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/aydar.htm>
- [14] BBC. (2013, August 1). UK deployed Falklands “dazzle” laser, documents show. *BBC News*. Retrieved from <https://www.bbc.com/news/uk-politics-23518592>
- [15] O'Rourke, R. (2015, June 12). Navy shipboard lasers for surface, air, and missile defense: Background and issues for Congress, CRS Report No.R41526. *CRS Report*. Retrieved from <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R41526>
- [16] O'Rourke, R. (2024, August 6.). Navy shipboard lasers: background and issues for Congress. CRS Report No.R44175. *CRS Report* Retrieved from <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R44175/111>
- [17] Reid, J. S., Westphal, D. L., Paulus, R. M., Tsay, S., & van Eijk, A. (2004) Preliminary evaluation of the impacts of aerosol particles on laser performance in the coastal marine boundary layer. *US Naval Research Laboratory, Monterey, CA*, 93943-5502. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Jeffrey-Reid/publication/277994712_Preliminary_Evaluation_of_the_Impacts_of_Aerosol_Particles_on_Laser_Performance_in_the_Coastal_Marine_Boundary_Layer/links/55ea190c08ae3e1218450a6b/Preliminary-Evaluation-of-the-Impacts-of-Aerosol-Particles-on-Laser-Performance-in-the-Coastal-Marine-Boundary-Layer.pdf
- [18] Qiwan, F., Zhixiang, Y., & Chuanfu, J. (1998). Menace of anti-ship missiles and shipborne laser weapons. *Jiguang Jishu (Laser Technology)*, 19(6), 365–370.

- [19] Bernatskyi, A., & Sokolovskyi, M. (2022). History of military laser technology development in military applications. *History of Science and Technology*, 12(1), 88-113. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2022-12-1-88-113>
- [20] Cook, J. R., & Albertine, J. R. (1997). The Navy's high-energy laser weapon system. *SPIE Proceedings*, 2988, 264-271. <https://doi.org/10.1117/12.274390>
- [21] Kalashnikova, O. & Willebrand, H. & Mayhew, L. (2002). Wavelength and altitude dependence of laser beam propagation in dense fog. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 4635, 279-288. <https://doi.org/10.1117/12.464103>.

Вступ.

Постановка задачі. Розробка потужних лазерів, що випромінюють невидимі інфрачервоні (ІЧ) промені, призвела до розробки низки вражаючих технологічних демонстрацій, особливо в США і колишньому Радянському Союзі в 1970-х роках. Ці демонстратори були створені з ціллю знищення ракет або надзвукових дронів у польоті. Інше, більш витончене використання спрямованої енергії в оборонних цілях, включало руйнування оптичних сенсорів, таких як камери в ракетах і прицільні комплекси [1-3].

При цьому закінчення доведення процесу доведення перших конструкцій лазерів збіглося з початком різких змін у баченні майбутнього збройних конфліктів. У зв'язку з закінченням “холодної війни” та розпаду СРСР почалося перепрофілювання розробок лазерного озброєння [2], котре певним чином триває і донині. Розробка лазерної зброї має низку проблем і викликів, які напругу пов'язані з середовищем, у якому вона працює. З цього постає потреба окремого розгляду специфіки застосування потужних лазерних корабельних установок у морських умовах. А саме вплив різних природних та технічних факторів на особливості використання таких установок. Дана стаття бере перед собою завдання розглянути проблематику використання лазерної зброї в морських умовах та історію її вирішення різними розробниками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом необхідно відзначити, що всі праці за цим напрямком можна розділити на декілька основних напрямків:

1. сповіщення та науково-популярні статті у пресі [4-6] – загалом такі статті просто затверджують факт одного з етапів розробки або випробування комплексів озброєння

[7-9], однак в них досить часто зустрічається невелика кількість технічної інформації [10, 11], котра не з'являється у інших джерелах [12-14];

2. різноманітні загальнодоступні звіти парламентів, міністерств оборони та інших державних структур різних країн мають широкий аналітичний характер з достатніми посиланнями на науково-оглядові та науково-практичні статті [15-17];

3. науково-оглядові статті [1, 18, 19], а також наукові [2] (теоретичні, експериментальні та комбіновані, які містять у собі як теоретичну, так й експериментальну складову) статті присвячені розробці окремих складових таких комплексів [3, 20];

4. наукові праці, присвячені поширенню лазерного випромінювання у просторі, із врахуванням специфіки використання його у морських умовах [16, 21].

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Розробка лазерної зброї стикається з кількома специфічними проблемами та викликами, що залежать від середовища її використання. Це вимагає детального аналізу особливостей застосування потужних лазерних установок на кораблях у морських умовах, зокрема впливу різних природних і технічних факторів. Необхідно звернути увагу на проблематику використання лазерної зброї у морі та на історії створення та випробування зразків лазерної зброї, що використовувались (або використовуються і зараз) в якості корабельних установок.

Мета дослідження. Метою даного дослідження є визначення та розгляд специфіки використання лазерного озброєння в морських умовах та визначення закономірностей взаємодії наукового прогресу та його інтеграції в військово-морське діло за

допомогою багатогранного аналізу проблематики та практичних використань лазерних технологій у розробці та на озброєнні країн світу.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Методологія даної статті включає систематичний огляд джерел, а саме: рецензованих статей, галузевих звітів, а також новин та науково-популярних статей для збору даних про історичний розвиток і технологічний прогрес в області використання лазерного озброєння в морських умовах. Використано загальнонаукові методики: порівняльний аналіз і синтез, а також хронологічний. Це дало змогу здійснити комплексне дослідження та представити багатогранний аналіз проблематики та практичних використань лазерних технологій у розробці та на озброєнні країн світу. Історіографічний аналіз при цьому було розбито на декілька категорій, кожна з яких буде розповідати про окремий період розробок лазерних технологій в озброєнні у хронологічному порядку.

Основний матеріал.

Специфіка використання лазерних установок у морських умовах. Першим кроком у дослідженні впливу аерозолів на лазерні системи в морських умовах є збір існуючих знань про інтенсивні фізичні та оптичні властивості самих аерозольних частинок. Жодна з широко використовуваних моделей впливу аерозолів (NAAPS і Target Acquisition Weapons Software (TAWS) [20]) не використовує сучасні відкриття у фізиці аерозолів або лазерного випромінювання. Їхні моделі видимості в кінцевому підсумку розбиваються на об'ємні вхідні змінні, такі як масова концентрація, вологість і швидкість вітру. Це не тільки вносить похибку через високий ступінь невизначеності навколишнього середовища через місцеві метеорологічні ефекти, але й створює проблему при переході до прототипів, які включають більш досконалі фізичні і хімічні схеми, оскільки необхідні вхідні параметри не можуть бути просто введені. Щоб повністю оцінити більш досконалі моделі для прогнозування видимості, які необхідні, корисно надати коротке обговорення властивостей первинних аерозольних видів, які, ймовірно,

впливатимуть на поширення високопотужних лазерів в умовах моря.

Вплив атмосфери на передачу концентрованих потоків енергії (таких, як лазерне випромінювання) суттєво впливає на загальну ефективність поширення лазерного випромінювання. Тяжкість і тривалість цих атмосферних умов безпосередньо впливають на відстань поширення і продуктивність передачі випромінювання. Однак ці ефекти залежать від довжини хвилі. У субмікронному і мікронному діапазонах хвиль трьома найбільш важливими умовами, що впливають на передачу лазерного випромінювання, є поглинання, розсіювання і сцинтиляція. Всі три умови можуть зменшити енергію на цілі, що потім вплине на надійність і частоту помилок розрахунків [21].

Поглинання спричинене насамперед водяною парою і вуглекислим газом, що містяться в повітрі. Густина води і вуглекислого газу залежить від вологості і висоти над рівнем моря. Газу, які утворюються в атмосфері, мають багато резонансних смуг, так званих вікон пропускання, які дозволяють пропускати певні частоти світла. Розсіювання в атмосфері є функцією довжини хвилі, а також кількості та розміру розсіюючих елементів у повітрі. Оптична видимість вздовж шляху безпосередньо пов'язана з концентрацією і розподілом частинок, що розсіюють, за розмірами. Найбільш поширеними елементами розсіювання в повітрі, які впливають на передачу коротких лазерних ліній, є: частинки, малі в порівнянні з довжиною хвилі поширення (туман, серпанок і дим), і частинки, великі в порівнянні з довжиною хвилі (дощ і сніг). Сцинтиляція або теплове мерехтіння виникає, коли атмосферна турбулентність змушує дрібні клітинки повітря нагріватися, змінюючи щільність і, таким чином, показник заломлення. Сцинтиляція вносить низькочастотні коливання в світловий сигнал, що досягає цілі.

При всьому цьому, необхідно врахувати, що аерозольні частинки як розсіюють, так і поглинають світло, сума цих ефектів називається світлопоглинанням. Зменшення інтенсивності монохроматичного світла внаслідок екстинкції описується законом

експоненціального розпаду Біра (Beer's Law of Exponential Decay) [17, 21].

Вивчення електрооптичних ефектів морської солі і морських аерозолів цілком зрозуміло привертає найбільшу увагу серед усіх видів аерозолів у дослідженнях ВМС США [17]. Як дрібно-, так і крупнозерниста морська сіль утворюється з білого покриву поверхні океану. Як і у випадку з пилом, існує велика варіабельність у розподілі частинок солі за розмірами. У морському середовищі морська сіль/морський аерозоль також відрізняється від інших видів аерозолів тим, що поверхня океану є не тільки поглиначем, але й джерелом. Отже, вертикальний розподіл морської солі біля поверхні океану складніший, ніж у інших видів аерозолів. Часто присутні сильні градієнти.

Огляд історії розробки та використання лазерного озброєння на корабельній основі. Першими розробниками практичних сучасних лазерних корабельних застосувань були американці. Під час “холодної війни”, у 1971 ВМС США створило комітет PMS-405, ціллю роботи якого було забезпечення умов для створення корабельних установок, призначених для активного знищення (hard-kill) ракет та снарядів. Перші розробки були пов’язані з CO₂-лазерами, однак у середині 1970-х відбувся зсув у сторону хімічних лазерів на основі дейтерію флуориду (DF). Так, першими створеними в США флотськими лазерними системами стали Navy-ARPA Chemical Laser (NACL) та Navy's Pointer/Tracker, котрі змогли знищити протитанкову ракету TOW під час випробувань у 1978 році. Це була найвища середня потужність американської системи HEL на той час. Попередні демонстрації використовували CO₂-лазери потужністю 10 кВт (MTU) і 100 кВт (проект «Дельта»), а в якості мішеней використовували безпілотники і макети літаків [17].

Тим часом, з початку сімдесятих років минулого століття військове керівництво СРСР виявляло величезний інтерес до розробок, пов’язаних із лазерною зброєю. Лазерні установки планувалося розміщувати на космічних платформах, станціях і літальних апаратах. Усі побудовані установки були

прив’язані до стаціонарних джерел енергії і не відповідали головній вимозі військового космосу – повній автономності, це також не давало змоги конструкторам провести повноцінні випробування. Урядом СРСР завдання з випробувань і відпрацювання автономності було покладено на ВМФ. Лазерну гармату, що проходила у всіх документах під позначенням «МСУ» (потужна силова установка), було вирішено встановити на надводному кораблі. Так, у 1976 році у ЦКБ «Чорноморець» було затверджено спеціальне завдання на переобладнання десантного корабля проєкту 770 СДК-20 у дослідне судно, яке отримало позначення проєкт 10030 «Форос» (наведено на рис. 1). На «Форосі» планувалося випробовувати лазерний комплекс «Аквілон», ціллю створення якого було ураження оптико-електронних засобів та екіпажів кораблів противника [12]. Процес переобладнання затягнувся на вісім років, маса і пристойні габарити «Аквілона» вимагали значного посилення корпусу корабля і збільшення надбудови. Через ці та інші фактори судно під позначенням ОС-90 «Форос» вступило до складу Чорноморського флоту СРСР наприкінці вересня 1984 року. У жовтні 1984 року у Феодосійському полігоні з дослідного судна «Форос» уперше в історії радянського ВМФ було проведено випробувальні стрільби з лазерної гармати. Стрільби загалом пройшли успішно, ракета, що летіла низько, була своєчасно виявлена і знищена променем лазера.

Паралельно з будівництвом “Форосу” для випробувань бойових лазерних систем у корабельних умовах Невське ПКБ розробило проєкт 05961, який передбачав переробку лісовоза «Восток-3» типу «Витегра-лес» на носій лазерної зброї (наведено на рис. 2). Перероблений корабель отримав найменування «Діксон». Перші випробування «Діксона» відбулися влітку 1980 року. Під час випробувань було здійснено лазерний залп, стріляли по мішені, розташованій на березі на відстані 4 кілометри. Вразити мішень вдалося з першого разу, але при цьому самого променя і видимих руйнувань мішені ніхто з присутніх не побачив. Попадання було зафіксовано тепловим датчиком, вста-



Рис. 1. Дослідне судно ОС-90 “Форос” [12]

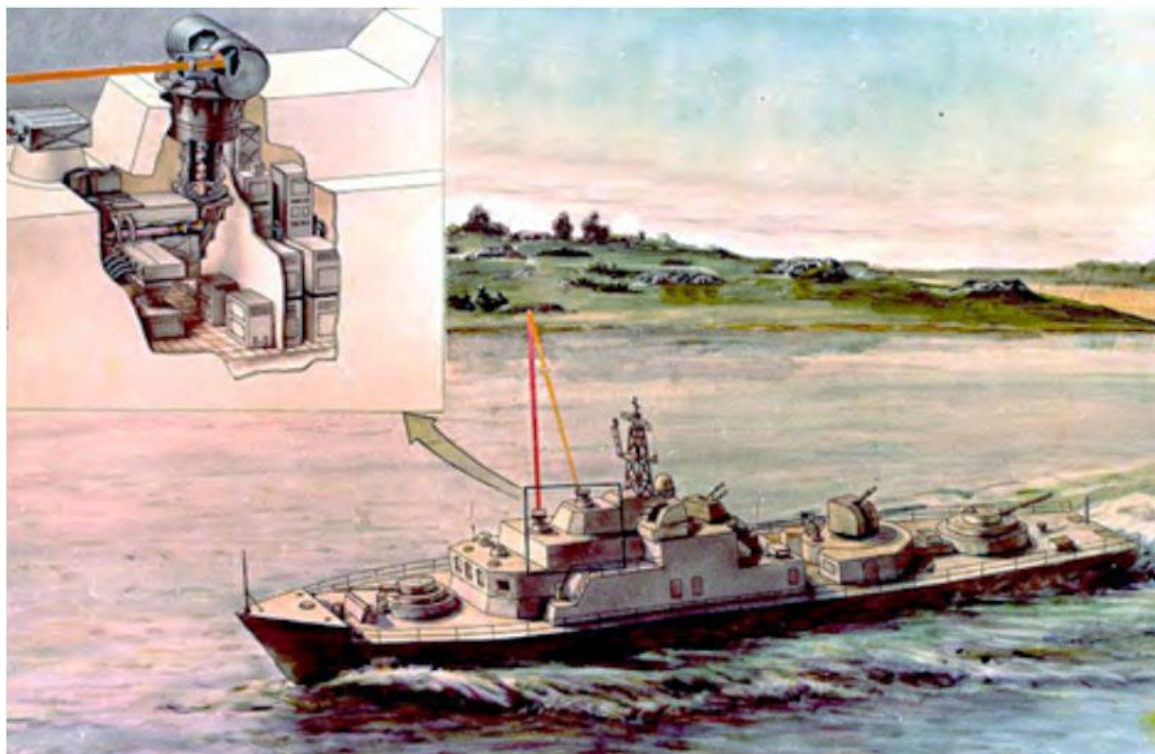


Рис. 2. Прототип сторожового корабля проекту 05961 [13]

новленим на самій мішені. ККД променя становив 5%, оскільки всю енергію променя поглинули випаровування вологи з поверхні моря [13].

Схожі напрацювання відбувались і у Великобританії, котра не тільки розробила лазерну корабельну систему для осліплення пілотів літаків під шифрами Raker

та Shingle, але й включила корабель з прототипом даної установки до складу флотилії, котра брала участь у Фолклендському конфлікті (1982). При цьому варто зазначити, що перевірених даних про використання даного лазера під час бойових дій проти Аргентини немає [14].

Програма ВМС США на той момент стала основною програмою розвитку лазерного озброєння у Америці і започаткувала програму розробки повномасштабного прототипу системи класу МВт під назвою SeaLite (наведено на рис. 3) [10]. Метою SeaLite була демонстрація здатності лазера DF класу МВт захищати кораблі (авіаносці і бойові групи) від низьколітаючих надзвукових крилатих ракет. У ВМС не було хорошого рішення з прийнятними шансами на успіх проти постійно зростаючої швидкості і маневреності радянських протикорабель-

них крилатих ракет. ВМС розробили лазер DF класу МВт (Mid-InfraRed Advanced Chemical Laser – MIRACL) у 1980 році і підсистему керування променем з вихідним дзеркалом з апертурою 180 см на тактичному сервомодулі (SeaLite Beam Director, або SLBD) у 1984 році.

Вони були переміщені до HELSTF на ракетному полігоні Уайт Сендс (WSMR), штат Нью-Мексико. Система SeaLite мала повномасштабні компоненти і багато діагностичних систем для моніторингу роботи системи і її компонентів. Інтеграція системи SeaLite зайняла кілька років і стала першою інтегрованою системою управління високоенергетичними лазерами і променями потужністю у декілька МВт в країнах НАТО [17].

Тим часом, французький флот використовував лазерні установки для знищення інфрачервоної головки ракети і пробиття

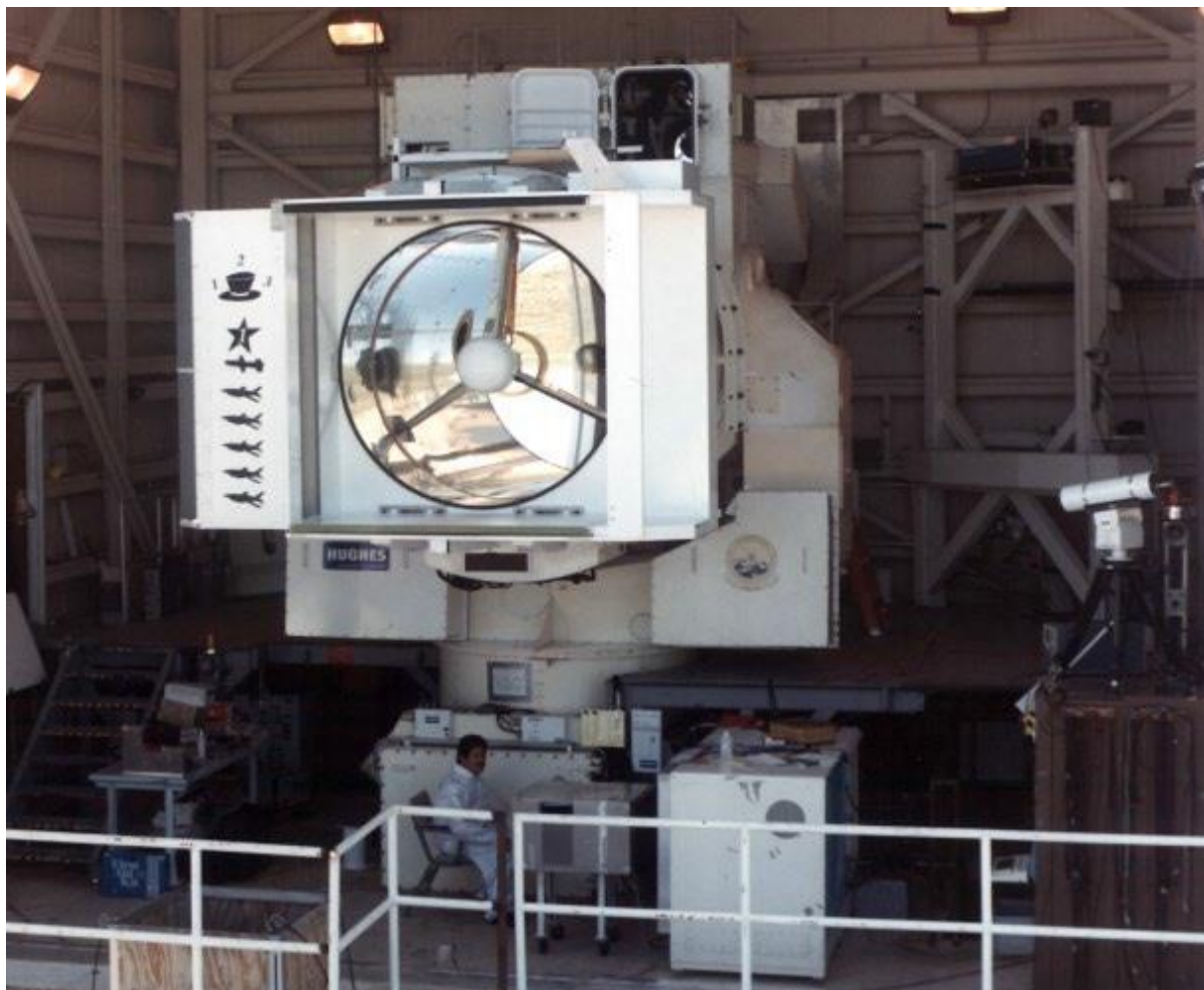


Рис. 3. SeaLite Beam Director [10]

металевої пластини, на відстані 700 метрів. Лазерна установка “68020” почала системні випробування в 1984 році. Станом на кінець 1987 року даним лазером було проведено понад 50 000 циклів роботи. [18]

Кінець “Холодної війни” поклав кінець багатьом новим розробкам: всі світові лідери даних технологій значно знизили свої бюджети, а радянські програми корабельного лазерного устаткування було завершено – практично всі системи були демонтовані, а кораблі переобладнані чи пущені на злам. [12,13] Через ці події у період 1990х флагманом розробки лазерних систем для корабельного застосування залишились США, котрі продовжили розробку та тестування своїх напрацювань.

Серед попередніх досягнень ВМС США у розробці твердотільних корабельних лазерів можна виділити наступні:

- Між 2010 і 2011 роками ВМС випробовували ще один прототип SSL під назвою «Демонстраційний морський лазер» (MLD) в серії випробувань, кульмінацією яких стало те, що MLD, встановлений на кораблі ВМС, успішно уразив невеликий катер [15];

- Між 2009 і 2012 роками ВМС успішно випробували прототип під назвою AN/SEQ-3 Laser Weapon System (LaWS) (наведено на рис. 4) проти БПЛА в серії навчань, які відбулися спочатку на суші, а потім на кораблі ВМС у морі. Повідомлялося, що потужність променя LaWS становила 30 кіловат (кВт). У серпні 2014 року ВМС встановили LaWS на кораблі ВМС США «USS Ponce» – переобладнаному десантному кораблі, який діяв у Перській затоці, щоб оцінити корабельні лазери в оперативній обстановці проти рою катерів і рою БПЛА. У грудні 2014 року ВМС оголосили LaWS на Ponce «прийнятною» системою. Ponce залишався в Перській затоці, поки у вересні 2017 року його не замінив новий корабель експедиційної морської бази «Льюїс Б. Пуллер» (ESB-3). Ponce повернувся до США і був списаний [16];

- Нині, на борту декількох бойових кораблів ВМС США проходять випробування модернізованої системи AN/SEQ-4 ODIN (наведено на рис. 5) [6]. ODIN зосереджується на захисті кораблів від переслідувань неозброєних безпілотних літальних систем,



Рис. 4. Лазерна система AN/SEQ-3 розташована над командним мостиком USS Ponce [4]



Рис. 5. AN/SEQ-4 під час випробування в 2021 році [6]

проблеми, яка, як повідомляється, мучила надводних бойових дій в останні роки.

Для більшого захисту від більш потужних загроз Lockheed Martin розробляє лазер HELIOS потужністю 60 кВт («з потенціалом зростання до 150 кВт», згідно з даними, опублікованими Конгресом США) [5, 6].

Через події останнього десятиріччя (громадянська війна у Сирії, боротьба з ІДІЛ, російське вторгнення в Україну) напрямок боротьби з невеликими БПЛА шляхом використання лазерів отримав великий ажіотаж. Так, французькі розробники провели перші тести корабельної системи HELMA-R у 2018 році, ці тести тривають і нині. Ця низькопотужна система (до 5 кВт) призначена для боротьби з невеликими БПЛА (рис. 6) [7].

Тим часом, в Японії у 2023 році представили результати випробувань лазерів потужністю 10 кВт у боротьбі з дронами (рис. 7) [8]. Компанією МНІ (Mitsubishi Heavy Industries) заявлено, що дана система може

захистити від дронів та БПЛА на відстані до 1,5 км [8].

На протязі всього цього періоду, КНР спокійно розвивала свої лазерні технології з 1980-х років, фокусуючись в секторі ручного (переносного) нелетального лазерного озброєння [9]. Через це, актуальні корабельні застосування китайських лазерів є досить новітнім відкриттям. Перші випробування китайських корабельних лазерних систем були представлені у 2019 році (рис. 8) [10], а випробування на кораблях ВМС КНР почалися у 2024 році [11].

Обговорення результатів. Після проведення огляду історичних та сучасних застосувань лазерних пристроїв в морських умовах важливо помітити, що фокус розробки різних корабельних застосувань постійно зміщувався під умовами військово-політичного протистояння даного періоду часу; так, перші розробки періоду “холодної війни” проводились у вимірі швидкодійних систем ППО та ПРО і були частково припинені піс-



Рис. 6. HELMA-P на фрегаті MN Forbin [7]



а

б

Рис. 7. Результати експериментальних випробувань (а) та корабельний лазер виробництва МНІ (б) [8]

ля її кінця [1, 2, 14]. Після цього, фокус змістився до боротьби з піратами та іншими нетрадиційними бойовими загрозами. Однак, в сучасності фокус змістився з частковим поверненням до боротьби з БПЛА та іншим керованим озброєнням, зменшення ціни індивідуального застосування з всебічним розширення функцій лазерної зброї в пошуку можливостей часткової заміни дорогого ракетного озброєння.

Після порівняння історичних застосувань і сучасних розробок та випробувань

морських застосувань лазерного озброєння з загальними трендами розвитку лазерного озброєння [19], можна впевнено підвести висновок, що, незважаючи на пройдений шлях та великий прогрес у темі використання лазерів як корабельного озброєння для боротьби як з ракетами, так і з піратами, цей напрямок використання лазерної енергії знаходиться у досить активній стадії розробки, і не буде прийнята до масового використання у найближчі 5-10 років.



Рис. 8. Китайський прототип морського лазера [10]

Використання лазерів в умовах корабельного розташування створює ряд унікальних проблем та можливостей, які активно вивчаються і використовуються [17]. Так, наприклад, корабельне розташування набагато спрощує завдання постачання охолоджувальної рідини, оскільки лазерна установка оточена практично безкінечним джерелом води. При цьому, однак, необхідно зазначити, що морська вода потребуватиме очистки для використання у такій ролі.

Однак, основна специфіка використання лазерів полягає в проблематиці, яку створює морське середовище [17, 21]. Окрім того, до основних проблем розсіювання та відбиття, з котрими борються всі розробники лазерного устаткування, в морських умовах існує ряд проблем, які безпосередньо пов'язані з самим морем. Так, пари морської води, бризки та хвилі негативно впливають на можливість коректного використання лазерної зброї на корабельній основі. Додатково можна згадати солі та їх відкладення, котрі сприяють корозії та впливають на всі складові системи [3, 17, 20].

З огляду можна зрозуміти, наскільки високим був рівень обізнаності щодо цих проблем. Можна спостерігати еволюцію як лазерних установок, так і обладнання, що підтримує їх. Також це помітно тим, що з самого початку використання лазерів в якості озброєння [3, 17, 19], великі ресурси вкла-

далися в максимальну потужність лазерного випромінювання (від десятків кВт до декількох МВт). Очевидно, що це було зроблено для того, щоб гарантувати те, щоб достатня кількість енергії досягала своєї цілі.

Висновки. В результаті багатогранного аналізу створення потужних лазерних корабельних установок та аналіз специфіки їх застосування у морських умовах, проведеного у даній статті, можна зазначити, що:

1. Існує вкрай комплексна проблема специфіки використання лазерної зброї у морських умовах, оскільки для правильної експлуатації необхідно не тільки відповідати умовам, що присутні в будь-якій атмосфері (масова концентрація, вологість і швидкість вітру), але й морська проблематика у вигляді іншого складу морської води та їх парів; проблем бризок та коливань, що утворюються хвилями; проблема експлуатації у середовищі, багатому на солі та їх відкладення тощо.

2. Фокус розробки різних корабельних застосувань постійно зміщувався під умовами військово-політичного протистояння даного періоду часу; так, перші розробки періоду “холодної війни” проводились у вимірі швидкодіючих систем ППО та ПРО і були частково припинені після її кінця. Після цього, фокус змістився до боротьби з піратами та іншими нетрадиційними бойовими загрозами. Однак, в сучасності лазерне озброєння почало розроблюватися і вико-

ристовуватися для боротьби з БПЛА та іншим керованим озброєнням.

Незважаючи на пройдений шлях та великий прогрес у темі використання лазерів як корабельного озброєння для боротьби як з ракетами, так і з піратами, цей напрямок використання лазерної енергії знаходиться у досить активній стадії розробки. Можна стверджувати, що тематика розроблення, створення, випробування та впровадження лазерної зброї для корабельного викорис-

тання буде надзвичайно актуальна у найближчі 5-10 років.

Фінансування. Дослідження виконано за фінансової підтримки Національним фондом досліджень України проекту № 2023.04/0166 «Дослідження впливу лазерного пучка на матеріали деталей БПЛА та обґрунтування технічних параметрів лазерного обладнання мобільного комплексу для боротьби з ними» за договором грантової підтримки № 155/0166 від 01.08.2024.

Список літератури

- [1] Hecht J. Short history of laser development. *Optical Engineering*. 2010. Vol. 49. No. 9. Id. 091002. URL: <https://doi.org/10.1117/1.3483597>
- [2] Cook J. High-energy laser weapons since the early 1960s. *Optical Engineering*. 2012. Vol. 52. No. 2. Id. 021007. URL: <https://doi.org/10.1117/1.oe.52.2.021007>
- [3] Titterton D. A review of the development of optical countermeasures. *SPIE Proceedings, Technologies for Optical Countermeasures*. 2004. Vol. 5615. C. 1–15. URL: <https://doi.org/10.1117/12.610112>
- [4] Zabunov S., Mardirossian G. Malicious drones interception and neutralization – latest technologies overview. *Proceedings of SES 2020 Sixteenth International Scientific Conference Space, Ecology, Safety*: (Sofia, Bulgaria, 2020 November 4-6). Sofia, Bulgaria. 2020. C. 120–123. URL: http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202020_DOKLADI/2_Aerospace%20Technologies/5_Zabunov.pdf (Last accessed: 15.09.2024).
- [5] O'Rourke B. (2023, June 22). Now arriving: High-power laser competition. *U.S. Naval Institute*. URL: <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2022/july/now-arriving-high-power-laser-competition> (Last accessed: 15.09.2024).
- [6] Abott, R. (2023, February 15). Navy cautious on lasers because first program of record could cost \$1 billion, ONR official says. *Defense Daily*. URL: <https://www.defensedaily.com/navy-cautious-on-lasers-because-first-program-of-record-could-cost-1-billion-onr-official-says/navy-usmc/> (Last accessed: 15.09.2024).
- [7] BMC Франції випробували бойовий лазер Helma-P. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/vms-frantsiyi-vuprobuvay-bojovuj-lazer-helma-p/> (Дата звернення: 15.09.2024).
- [8] Kosuke T. Japanese defense firms unveil high-energy laser anti-drone weapons. *The Diplomat*. URL: <https://thediplomat.com/2023/03/japanese-defense-firms-unveil-high-energy-laser-anti-drone-weapons/> (Last accessed: 15.09.2024).
- [9] ICRC. Practice relating to Rule 86: Blinding Laser Weapons. *IHL*. URL: <https://ihl-databases.icrc.org/en/customary-ihl/v2/rule86> (Last accessed: 15.09.2024).
- [10] Chinese Navy Trials Laser Weapon. *Janes*. URL: <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/chinese-navy-trials-laser-weapon> (Last accessed: 15.09.2024).
- [11] Newdick T. Laser weapon appears on Chinese amphibious assault ship. *The War Zone*. URL: <https://www.twz.com/air/laser-weapon-appears-on-chinese-amphibious-assault-ship> (Last accessed: 15.09.2024).
- [12] Pike J. Aquilon/Project 10030 Foros. *Global Security*. 2018. URL: <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/aquilon.htm> (Last accessed: 15.09.2024).
- [13] Pike J. Aydar/Project 596P Dixon. *Global Security*. 2018. URL: <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/aydar.htm> (Last accessed: 15.09.2024).
- [14] BBC. UK deployed Falklands “dazzle” laser, documents show. *BBC News*. URL: <https://www.bbc.com/news/uk-politics-23518592> (Last accessed: 15.09.2024).
- [15] O'Rourke R. Navy shipboard lasers for surface, air, and missile defense: Background and issues for Congress, CRS Report No. R41526. *CRS Report*. 2015. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R41526> (Last accessed: 15.09.2024).

- [16] O'Rourke R. Navy shipboard lasers: background and issues for Congress. CRS Report No. R44175. *CRS Report*. 2024. URL: https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R44175/111_ (Last accessed: 15.09.2024).
- [17] Reid J. S., Westphal D. L., Paulus R. M., Tsay S., van Eijk A. Preliminary evaluation of the impacts of aerosol particles on laser performance in the coastal marine boundary layer. *US Naval Research Laboratory, Monterey, CA*. 2004. 93943-5502. URL: https://www.researchgate.net/profile/Jeffrey-Reid/publication/277994712_Preliminary_Evaluation_of_the_Impacts_of_Aerosol_Particles_on_Laser_Performance_in_the_Coastal_Marine_Boundary_Layer/links/55ea190c08ae3e1218450a6b/Preliminary-Evaluation-of-the-Impacts-of-Aerosol-Particles-on-Laser-Performance-in-the-Coastal-Marine-Boundary-Layer.pdf (Last accessed: 15.09.2024).
- [18] Qiwan F., Zhixiang Y., Chuanfu J. Menace of anti-ship missiles and shipborne laser weapons. *Jiguang Jishu (Laser Technology)*. 1998. Vol. 19. No. 6. C. 365–370.
- [19] Bernatskyi A., Sokolovskyi M. History of military laser technology development in military applications. *History of Science and Technology*. 2022. Vol. 12. No. 1. C. 88-113. URL: <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2022-12-1-88-113>
- [20] Cook J. R., Albertine J. R. The Navy's high-energy laser weapon system. *SPIE Proceedings*. 1997. Vol. 2988. C. 264-271. URL: <https://doi.org/10.1117/12.274390>
- [21] Kalashnikova O. Willebrand H., Mayhew L. Wavelength and altitude dependence of laser beam propagation in dense fog. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering* (San Jose, California, United States, 2002 April 26). San Jose, California, United States. 2002. Vol. 4635. C. 279-288. URL: <https://doi.org/10.1117/12.464103>.

© Бернацький А. В., Соколовський М. В.,

Сіора О. В., Юрченко Ю. В., Набок Т. М.

Дата надходження статті до редакції: 20.09.2024

Дата затвердження статті до друку: 09.10.2024