

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОТУЖНОСТІ ТА МАСОГАБАРИТНИХ
ПОКАЗНИКІВ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО РЕАКТОРА
НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД

І.О. Берестовой¹, І.М. Смирнова², І.З. Маслов³

¹к.т.н., доцент кафедри «Суднові енергетичні установки і системи»,
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,
Ізмаїл, Одеська область, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-3843-570X

²д.п.н., професор кафедри «Управління у транспортній галузі»,
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,
Ізмаїл, Одеська область, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-2085-5391

³к.т.н., завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки і системи»,
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,
Ізмаїл, Одеська область, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-1759-6077

Анотація

Вступ. Перенесення чужорідних організмів і патогенних мікроорганізмів через баластну воду під час операцій прийому та скидання баласту на суднах має негативний вплив на морське середовище та здоров'я людей. Міжнародні норми, установлені Міжнародною конвенцією про контроль суднових баластних вод і осадів, регулюють максимальну кількість живих організмів у баластній воді, що створює потребу в аналізі та порівнянні конструкцій систем очищення баластних вод. **Мета.** У статті описано дослідження впливу потужності та масогабаритних показників ультрафіолетового реактора на продуктивність систем очищення баластних вод. **Результати.** У роботі проаналізовано енергетичні показники існуючих систем очищення баластних вод, які мають ультрафіолетову стадію очищення, фірм: Alfa Laval, Desmi Ocean Guard, Hyundai Heavy Industries, Wartsila, Trojan Marinex, Optimarin, Norwegian Greentech. На основі отриманих показників виконана оцінка впливу потужності та масогабаритних показників ультрафіолетового реактора на номінальну продуктивність систем очищення баластних вод, отримано залежності споживаної потужності, ваги та габаритного об'єму ультрафіолетового реактора від максимальної подачі баласту. **Висновки.** Отримані результати дослідження дозволять: спростити процедуру вибору ультрафіолетового реактора під час проєктування систем очищення баластних вод, провести порівняння ефективності наявного рівня ультрафіолетового очищення щодо інших подібних, отримані залежності можуть бути корисними у проєктуванні та модернізації систем очищення баластних вод, вони дозволять більш точно розраховувати потрібну потужність і масогабаритні характеристики ультрафіолетового реактора залежно від очікуваної продуктивності системи.

Ключові слова: баласті води, ультрафіолетове, знезараження, потужність, маса, масогабаритні показники, BWTS, ефективність, очищення.

IMPACT ASSESSMENT OF THE POWER AND SIZE PARAMETERS
OF ULTRAVIOLET REACTORS ON THE PERFORMANCE
OF BALLAST WATER TREATMENT SYSTEMS

I.O. Berestovoi¹, I.M. Smyrnova², I.Z. Maslov³

¹Ph.D., Associate Professor of the Department “Ship Power Plants and Systems”,
Danube Institute of National University “Odessa Maritime Academy”,
Izmail, Odesa region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-3843-570X

²D.Sc., Professor of the Department “Transport Industry Management”,
Danube Institute of National University “Odessa Maritime Academy”,
Izmail, Odesa region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-2085-5391

³Ph.D., Head of the Department “Ship Power Plants and Systems”,
Danube Institute of National University “Odessa Maritime Academy”,
Izmail, Odesa region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-1759-6077

Summary

Introduction. The transfer of alien organisms and pathogenic microorganisms through ballast water during ballast intake and discharge operations on ships has a negative impact on the marine environment and human health. International standards established by the International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments regulate the maximum amount of live organisms in ballast water, creating a need for the analysis and comparison of ballast water treatment system designs. **Purpose.** This article describes a study on the influence of the power and size parameters of ultraviolet reactors on the performance of ballast water treatment systems. **Results.** In the article analyzes the energy characteristics of existing ballast water treatment systems with ultraviolet disinfection stages from companies such as Alfa Laval, Desmi Ocean Guard, Hyundai Heavy Industries, Wartsila, Trojan Marinex, Optimarin, Norwegian Greentech are presented. Based on the obtained data, an evaluation of the impact of the power and size parameters of the ultraviolet reactor on the nominal performance of ballast water treatment systems was performed, and dependencies of power, weight, and capacity of the ultraviolet reactor on the maximum ballast flow rate were obtained. **Conclusions.** The results of this study will simplify the process of selecting ultraviolet reactors during the design of ballast water treatment systems, enable a comparison of the efficiency of the existing ultraviolet treatment stage relative to others, and the obtained dependencies can be useful in the design and modernization of ballast water treatment systems. They will allow for a more accurate calculation of the required power and size characteristics of the ultraviolet reactor depending on the expected system performance.

Key words: ballast water, ultraviolet, disinfection, power, weight, size parameters, BWTS, efficiency, treatment.

Вступ. Під час переходів суден здійснюються операції прийому баласту та його скидання, унаслідок чого можливе перенесення та розповсюдження чужорідних для цього району та/або патогенних живих мікроорганізмів. На законодавчому рівні питання переносу патогенних живих мікроорганізмів у баластній воді нормовані Міжнародною конвенцією про контроль суднових баластних вод

й осадів та управління ними [1], згідно з якою з 8 вересня 2017 р. нові судна повинні відповідати стандарту D2, а існуючі судна – до 8 вересня 2024 р. (залежно від часу поновлення їхніх сертифікатів) [2; 3]. Стандарт D2 встановлює максимальну допустиму кількість життєздатних організмів, яка може бути в баластній воді, що зливається, зокрема й індикаторні мікроби, шкідливі для здоров'я людини. Фактично це означає, що до 8 вересня 2024 р. судна, що здійснюють міжнародне плавання, повинні бути обладнані системою очищення баластних вод.

Постановка проблеми. Проблема перенесення чужорідних організмів і патогенних мікроорганізмів через баластну воду під час операцій прийому та скидання баласту на судах є актуальною. Одним із ключових рішень для вирішення такої проблеми є використання систем очищення баластних вод, зокрема й таких, що використовують ультрафіолетовий метод знезараження. Дуже важливі технічні параметри, як-от споживана потужність і масогабаритні характеристики ультрафіолетового реактора, що впливають на ефективність систем очищення. Це створює потребу в аналізі та порівнянні конструкцій систем очищення баластних вод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням, які пов'язані з методами та способами очищення баластних вод, у багатьох країнах приділяється велика увага на різних рівнях [2–9]: місцевих – у дослідженнях окремих учених або їх колективів, фірм та інститутів, державному – у програмах розвитку та державних науково-дослідних роботах, міжнародному – у транснаціональних науково-дослідних програмах і роботах міжнародних організацій. Так, у дослідженні American Bureau of Shipping [2] реалізовано огляд існуючих методів очищення баластних вод, їх типові підключення. У роботі [4] наведено залежність різновиду системи очищення баласту від дедвейту судна та його призначення, у роботах [4; 6] проведено аналіз техніко-економічних показників окремих моделей систем очищення баластних вод на номінальних режимах роботи. Оцінювання додаткових витрат енергії для різних варіантів схемних рішень обробки баластних вод на борту судна проведено в дослідженні [5]. Варто також згадати колективи вітчизняних дослідників із Національного університету «Одеська морська академія» та Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, праці яких спрямовані на вдосконалення систем очищення баластних вод [5–9].

Велика кількість досліджень пов'язана з оцінкою впливу продуктивності системи очищення баластних вод на її енергетичні показники: так, наприклад, у дослідженні [5] розглянуто оцінку енергетичних витрат за різних режимів роботи системи очищення, у роботах [4; 6] наведено інформацію стосовно залежності споживаної потужності та маси обладнання від продуктивності систем обробки баласту для поодиноких фірм.

Незважаючи на вищезазначені дослідження, мало уваги приділялось функціональній залежності потужності та масогабаритних показників від номінальної продуктивності системи очищення баластних вод, що пов'язано зі складнощами отримання таких залежностей на базі теоретичних досліджень і відносно невеликою кількістю статистичних даних на початку впровадження систем очищення.

Мета статті – визначення необхідної споживаної потужності та масогабаритних характеристик ультрафіолетового реактора з урахуванням продуктивності системи очищення баластних вод і отримання функціональних залежностей на базі статистичних даних енергетичних показників існуючих систем очищення

баластних вод. Що дозволить спростити процедуру вибору систем очищення баластних вод, провести порівняння ефективності наявних систем очищення щодо інших подібних, попередньо оцінити необхідні масогабаритні вимоги для встановлення ультрафіолетового очищення під час модернізації існуючих або побудови нових систем очищення баластних вод.

Виклад основного матеріалу. Одним із поширених методів очищення баластної води від мікроорганізмів є використання ультрафіолетового (далі – УФ) реактора, принцип дії такого методу базується на застосуванні ультрафіолетового випромінювання для знищення мікроорганізмів у воді. Основні етапи дії УФ реактора такі: вироблення УФ випромінювання за допомогою ламп, які виробляють випромінювання з короткою довжиною хвилі в ультрафіолетовому діапазоні “С” (UV-C); проходження води через УФ камеру? де встановлені УФ лампи, внаслідок чого ультрафіолетове випромінювання проходить через воду та взаємодіє з мікроорганізмами; знищення мікроорганізмів внаслідок руйнування ДНК ультрафіолетовим випромінюванням.

Конструктивне виконання УФ реакторів для систем очищення баластних вод має особливості: використання УФ ламп із подовженим терміном служби; стійкість УФ ламп до зміни тиску, вібрацій і коливань; оптимізація УФ реакторів для обробки великого обсягу води; наявність автоматизованої системи керування на базі ультрафіолетових сенсорів, що моніторить рівень випромінювання та забезпечує ефективну роботу УФ реактора, зокрема і вчасне виявлення потреби заміни ламп; використання матеріалів, які є стійкими до корозії. Вищезазначені особливості по-різному конструктивно реалізуються в різноманітних фірмах, окрім цього, ще ускладнюються ергономічними особливостями та наявністю унікальних патентованих, іноді засекречених, конструктивних рішень. Зазначені чинники зумовлюють складність технічної оцінки ефективності систем очищення баластних вод, ускладнюють процедури їх обрання, проектування та модернізації.

Для оцінки впливу потужності та масогабаритних показників ультрафіолетового реактора на продуктивність систем очищення баластних вод було опрацьовано та проаналізовано конструкцію та технічні характеристики існуючих моделей систем очищення баластних вод різноманітних фірм, а саме: Alfa Laval – модель “Pure Ballast 3” [10], Desmi Ocean Guard – Ray Clean BWTS [11], Hyundai Heavy Industries – Eco Ballast [12], Wartsila – Aquarius UV System [13], Trojan Marinex – Trojan Marinex [14], Optimarin – Optimarin Ballast System [15], Pansia – GloEn-Patrol™ [16], Norwegian Greentech – NGT BWMS [17].

Під час аналізу технічних характеристик УФ реакторів розглядалась саме споживана потужність ультрафіолетового реактора, яка вказує на електричну потужність, що витрачається ультрафіолетовим реактором під час його роботи.

Треба зазначити, що в інформації про споживану потужність ультрафіолетового реактора в інструкціях і презентаціях фірм є невизначеність, тому що деякі фірми вказують максимально можливу потужність [10; 11; 13–16], інші фірми – осереднену потужність [10]. Також потужність може бути наведена за різних значень ультрафіолетового пропускання (UVT) води: 62% [11], 65% [12], 85% [11], окрім цього, деякі фірми вказують лише загальну потужність обладнання без конкретизації потужності ультрафіолетового реактора [12; 13; 17], що вносить похибки в дослідження.

Отримані результати обробки статистичних даних споживаної потужності УФ реактора та продуктивність систем очищення баластних вод показано на рис. 1.

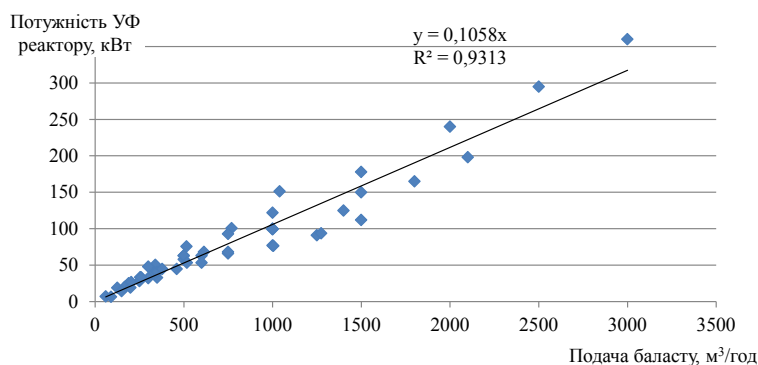


Рис. 1. Вплив потужності ультрафіолетового реактора на продуктивність систем очищення баластних вод

На рис. 1 простежується прямопропорційний зв'язок максимальної споживаної потужності УФ реактора та продуктивності систем очищення баластних вод, на кожні 100 м³/год подачі баласту необхідно 7,2÷16 кВт потужності УФ реактора, лінія тренду може бути описана залежністю:

$$N = 0,1058 \cdot Q_{\text{бн}} \text{ кВт}, \quad (1)$$

де, N – потужність УФ реактора, кВт;

$Q_{\text{бн}}$ – номінальна подача баласту, м³/год.

Отриману залежність (1) можна використовувати для надання попередньої оцінки необхідних витрат електричної потужності для системи очищення баластних вод з УФ реактором під час модернізації існуючих або побудови нових суден, а також в аналізі енергоефективності системи очищення баластних вод, порівнюючи реальні значення зі значеннями, отриманими за залежністю (1).

У межах дослідження також було проведено аналіз статистичних даних масо-габаритних показників УФ реактора системи очищення баластних вод, як-от маса та об'єм УФ реактора, отримані результати обробки таких даних наведено на рис. 2 та 3.

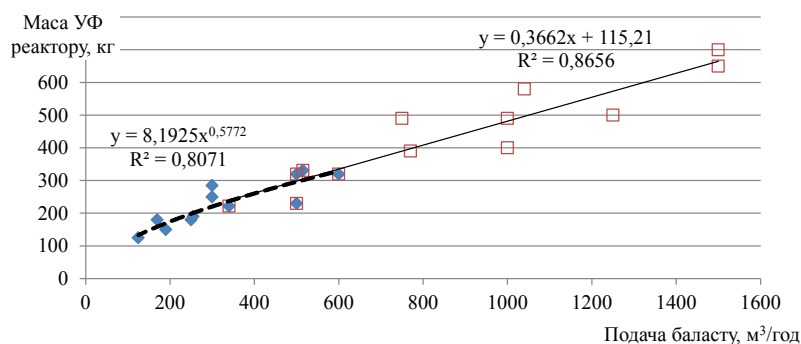


Рис. 2. Вплив продуктивності системи очищення баластних вод на вагу УФ реактора

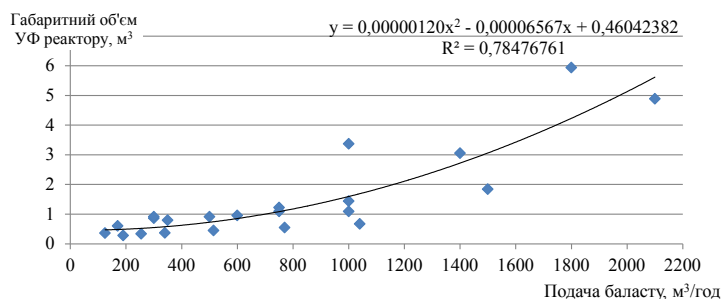


Рис. 3. Вплив продуктивності системи очищення баластних вод на габаритний об'єм УФ реактора

Аналіз отриманих даних на рис. 2 та 3 показує, що залежність ваги УФ реактора від продуктивності системи очищення баластних вод за невеликих подач баласту ($Q_6 < 400 \text{ м}^3/\text{год}$) може бути описана ступеневою залежністю (рис. 2), за більших значень подачі баласту простежується прямопропорційна залежність ваги від продуктивності системи очищення баластних вод, лінія тренду може бути описана залежністю:

$$m = 115,2 + 0,3662 \cdot Q_{\text{бн}} \text{ кг}, \quad (2)$$

де, m – маса УФ реактора, кг.

Габаритний об'єм УФ реактора зі збільшенням подачі баласту збільшується за квадратичною закономірністю (рис. 3):

$$V = 0,00000120 \cdot Q_{\text{бн}}^2 - 0,00006567 \cdot Q_{\text{бн}} + 0,46 \text{ м}^3, \quad (3)$$

де V – об'єм УФ реактора, м³.

Параболічна закономірність, імовірно, зумовлена тим, що є мінімальний необхідний час для знезараження, який залежить від значень UVT води, коефіцієнта опірності бактерій і необхідної якості знезараження [5], тому навіть за дуже низьких значень продуктивності мінімальна можлива довжина УФ реактора обмежена. Наступне збільшення продуктивності очищення можливе завдяки збільшенню площі поперечного перетину УФ реактора до критичного значення, яке зумовлено значенням ультрафіолетового пропускання баласту, що обробляється. Подальше збільшення продуктивності очищення УФ реактора можливо лише завдяки використанню паралельно під'єднаних блоків УФ реакторів, оптимальна довжина та максимальний поперечний переріз яких зумовлені необхідним часом знезараження та значенням ультрафіолетового пропускання.

Отримані залежності (2, 3) також можна використовувати в попередній оцінці необхідних масогабаритних характеристик, для оцінки ефективності УФ реакторів, але не для оцінки масогабаритних показників системи очищення баластних вод загалом, тому що маса й об'єм УФ реактора є лише часткою системи. Так, наприклад, у моделях “Pure Ballast 3” [10] залежно від продуктивності вага УФ реактора становить 19÷27% від усієї системи, а об'єм – 19÷30%.

Висновки. На основі проведеного дослідження встановлено функціональні залежності споживної потужності та масогабаритних характеристик УФ реактора від продуктивності системи очищення баластних вод. Ці залежності можуть бути корисними під час проектування та модернізації систем очищення баластних вод.

Вони дозволяють більш точно розраховувати потрібну потужність і масогабаритні характеристики УФ реактора залежно від очікуваної продуктивності системи. Також отримані залежності можуть бути використані для порівняння різних моделей і фірм, сприяти вибору оптимального рішення для конкретних ситуацій. Отримані результати дослідження сприятимуть покращенню енергоефективності систем очищення баластних вод, а також спростять їх модернізацію та вибір під час проектування. Подальші дослідження будуть направлені на аналіз впливу енергетичних показників систем очищення баластних вод з електрохімічним очищенням на їхню продуктивність, а також на розроблення більш енергоефективних систем очищення баластних вод.

Фінансування. Дослідження проводилося в рамках НДДКР 0123U104285 з фінансовою підтримкою Міністерства освіти і науки України.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments / International Maritime Organization. *International Conference Ballast Water Management for Ships*, February 2004, p. 38.
2. American Bureau of Shipping, Guide for Ballast Water Treatment. 2022. P. 90. URL: https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/187_ballast_water_treatment_2022/bwt-guide-mar22.pdf.
3. Ballast water management. *Lloyd's Register – Trusted advice in the maritime industry* : вебсайт. URL: <https://www.lr.org/en/services/classification-certification/ballast-water-management/> (дата звернення: 31.10.2023).
4. Берестовой І.О. Особливості використання систем очищення баластних вод. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2022)* : Збірка матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції, 7 грудня 2022 р., м. Херсон. 2022. С. 6–8.
5. Порівняльна оцінка енергетичної ефективності способів обробки баластних вод / В.М. Горбов та ін. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2013. № 1 (8). С. 35–44.
6. Горбов В.М., Мітенкова В.С. Аналіз техніко-економічних показників під час вибору систем обробки баласту. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2014. № 2 (11). С. 28–38.
7. Установа для очищення баластних вод / І.З. Маслов та ін. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2019. № 2 (25). С. 104–108.
8. Спосіб знезараження і очищення баластної води / В.І. Чимшир та ін. ; пат. 142319, Україна: МКП С02F 1/32, С02F 1/36, С02F 9/12. № 201912222; заявл. 24.12.2019; опубл. 25.05.2020 р. Бюл. № 10.
9. Міжнародні положення щодо запобігання забрудненню морського середовища / О.В. Гаврилов та ін. Одеса, 2021. 400 с.
10. Alfa Laval, Alfa Laval PureBallast 3 Std & Ex, 2022. P. 8. URL: <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/pureballast/pdf/latest/pureballast-3-std--ex--updated-2022.pdf> (дата звернення: 31.10.2023).
11. Desmi, Compact Clean Bulker, Non-EX, Loose Components. P. 2. URL: https://desmioceanguard.com/media/s5ggxl4t/cc_bulker-non-ex_loose-components.pdf (дата звернення: 31.10.2023).

12. Hyundai Welding Co., HiBallastEcoBallast, Ballast Water Treatment System, 2019. P. 36. URL: http://www.hyundaiwelding.com/data/file/ballasterWater/HWC_HHI-BWTS%20Introduction_20181207.pdf (дата звернення: 31.10.2023).
13. Wartsila, Aquarius UV Ballast water management system, 2019. P. 2. URL: <https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/bwms-files/brochure-o-aquarius-uv.pdf> (дата звернення: 31.10.2023).
14. Trojan Marinex, Ballast Water Treatment, 2013. P. 13. URL: <http://www.trojanmarinex.com/wp-content/uploads/2013/05/BWT-Detailer1.pdf> (дата звернення: 31.10.2023).
15. Optimarin, Care for our oceans, Environmental Treatment of Ballast Water, 2014. P. 22. URL: https://www.zepelin-ballastwatertreatment.com/fileadmin/user_upload/downloads/Optimarin_BWT_Brochure_2014_edit.pdf (дата звернення: 31.10.2023).
16. Panasia Co, GloEn-Patrol Ballast Water Management System, Instruction Manual, 2015. P. 124. URL: <https://docplayer.net/86872930-Ballast-water-management-system-instruction-manual.html> (дата звернення: 31.10.2023).
17. Norwegian Greentech, Norwegian Greentech, BWMS, Passion for Clean Water, 2022. P. 20. URL: https://issuu.com/cannas/docs/ngt_brosjyre_2022_orig_issuu (дата звернення: 31.10.2023).

REFERENCES

1. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments 2004 (International Maritime Organization). *International Conference Ballast Water Management for Ships*, 38 [in English].
2. American Bureau of Shipping (2022). Guide for Ballast Water Treatment, 90. Retrieved from https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/187_ballast_water_treatment_2022/bwt-guide-mar22.pdf [in English] (2023, October, 31).
3. Ballast water management, Lloyd's Register – Trusted advice in the maritime industry. Retrieved from <https://www.lr.org/en/services/classification-certification/ballast-water-management/> [in English] (2023, October, 31).
4. Berestovoi, I.O. (2022). Osoblyvosti vykorystannia system ochyshchennia balastnykh vod [Features of ballast water treatment systems utilization]. *Problemy staloho rozvytku morskoi haluzi (PSDMI-2022): Zbirka materialiv II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (7 hrudnia 2022 r., m. Kherson) [Issues of Sustainable Development of the Maritime Industry (PSDMI-2022): Collection of Materials of the 2nd International Scientific and Practical Conference (December 7, 2022, Kherson)]*, 6–8 [in Ukrainian].
5. Horbov, V.M., Mitienkova, V.S., & Tymofieieva, A.S. (2013). Porivnialna otsinka enerhetychnoi efektyvnosti sposobiv obrobky balastnykh vod [Comparative assessment of the energy efficiency of ballast water treatment

- methods]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii* [Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy]. № 1 (8), 35–44 [in Ukrainian].
6. Horbov, V.M., Mitienkova, V.S. (2014). Analiz tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv pid chas vyboru system obrobky balastu. [Analysis of technical and economic indicators in the selection of ballast treatment systems]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. [Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy]. № 2 (11), 28–38 [in Ukrainian].
 7. Maslov, I.Z., Danylian, A.H., Tiron-Vorobiova, N.B., Romanovska, O.R., & Babak, A.O. (2019). Ustanovka dlia ochyshchennia balastnykh vod [Ballast water treatment plant]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal “Ekolohichni nauky”* [Scientific and Practical Journal “Ecological Sciences”]. № 2 (25), 104–108 [in Ukrainian].
 8. Chymshyr, V.I., Maslov, I.Z., Danylian, A.H., Tiron-Vorobiova, N.B., & Rakytska, N.M. (2022). Sposib znezarazhennia i ochyshchennia balastnoi vody (Patent Ukrainy № 142319) [Method for disinfection and purification of ballast water (Patent Ukraine № 142319)]. *Ukrainskyi natsionalnyi ofis intelektualnoi vlasnosti ta innovatsii* [Ukrainian National Intellectual Property and Innovation Office]. Retrieved from <https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u201912222&doctype=ou> [in Ukrainian] (2023, October, 31).
 9. Havrylov, O.V., Sahaidak, O.I., Shumylo, O.M. (2021). Mizhnarodni polozhennia shchodo zapobihannia zabrudnenniu morskoho seredovyscha. [International regulations on preventing marine environment pollution], 400 p. [in Ukrainian].
 10. Alfa Laval Co. (2022). Alfa Laval PureBallast 3 Std & Ex, 8. Retrieved from <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/pureballast/pdf/latest/pureballast-3-std--ex-updated-2022.pdf> [in English] (2023, October, 31).
 11. Desmi Co. CompactClean Bulker, Non-EX, Loose Components, 2. Retrieved from https://desmioceanguard.com/media/s5ggx14t/cc_bulker-non-ex_loose-components.pdf [in English] (2023, October, 31).
 12. Hyundai Welding Co. (2019). HiBallast EcoBallast, Ballast Water Treatment System, 36. Retrieved from http://www.hyundaiwelding.com/data/file/ballasterWater/HWC_HHI-BWTS%20Introduction_20181207.pdf [in English] (2023, October, 31).
 13. Wartsila Co. (2019). Aquarius UV Ballast water management system, 2. Retrieved from <https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/bwms-files/brochure-o-aquarius-uv.pdf> [in English] (2023, October, 31).
 14. Trojan Marinex Co. (2013). Ballast Water Treatment, 13. Retrieved from <http://www.trojanmarinex.com/wp-content/uploads/2013/05/BWT-Detailer1.pdf> [in English] (2023, October, 31).
 15. Optimarin Co. (2014). Care for our oceans, Environmental Treatment of Ballast Water, 22. Retrieved from <https://www.>

- zeppelin-ballastwatertreatment.com/fileadmin/user_upload/downloads/Optimarin_BWT_Brochure_2014_edit.pdf[inEnglish](2023,October,31).
16. Panasia Co. (2015). GloEn-Patrol Ballast Water Management System, Instruction Manual, 124. Retrieved from <https://docplayer.net/86872930-Ballast-water-management-system-instruction-manual.html> [in English] (2023, October, 31).
 17. Norwegian Greentech Co. (2022). BWMS, Passion for Clean Water, 20. Retrieved from https://issuu.com/cannas/docs/ngt_brosjyre_2022_orig_issuu [in English] (2023, October, 31).