

УДК 656.612:629.54

## ОГЛЯД ОСНОВНИХ МЕХАНІЗМІВ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ТА КОНТРОЛЮ ЗА ВИКИДАМИ З МОРСЬКИХ СУДЕН

Д-р екон. наук С. П. Онищенко, кандидати техн. наук О. М. Мельник, А. О. Волошин, Є. В. Калініченко, старш. викл. С. В. Заяц

## REVIEW OF THE BASIC MECHANISMS OF ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT AND EMISSIONS CONTROL FROM SHIPS

D. Sc. (Econ.) S. Onyshchenko, PhD (Tech.) O. Melnyk, PhD (Tech.) A. Voloshyn, PhD (Tech.) Ye. Kalinichenko, Senior Lecturer S. Zaiats

*Анотація.* Щороку динаміка впровадження проєктів, що спрямовані на підвищення енергоефективності використання енергоносіїв, поступово зростає на різних рівнях і у різних галузях промисловості. Своє поширення вона знайшла в галузях проєктування, модернізації та реконструкції енергоефективних будівель та споруд, конструюванні та будівництві елементів виробничої інфраструктури, технологічних процесах виробництва. Впровадження таких проєктів є пріоритетним напрямом діяльності для підприємств і компаній різних видів економічної діяльності. Відповідно до цього, у провідних галузях промисловості розробляються стратегії підвищення рівня екологічної безпеки і енергоефективності (і судноплавство не є винятком, де процес підвищення енергоефективності відбувається різними засобами, що у підсумку приводить до скорочення обсягів викидів у повітря забруднювальних речовин), втім негативно позначаються на показниках комерційної експлуатації судна. Проблеми забезпечення енергоефективності поряд з підвищенням вимог до забезпечення екологічної безпеки транспорту та посилення відповідальності судовласників стають центральним об'єктом досліджень сучасної теорії і практики експлуатації засобів морського транспорту. Актуальними також залишаються питання вдосконалення універсальних принципів енергоефективності в рамках окремих судноплавних компаній і розроблення інструментів економічного аналізу енергетичної ефективності власного флоту, пошуку нових способів щодо формування професійних компетенцій членів екіпажів суден у галузі енергозбереження.

**Ключові слова:** енергоефективність судна, індекс проєктування, план управління енергоефективністю.

*Abstract.* Increasing relevance of the problem of energy conservation and use of alternative sources of energy in connection with global and local resource crises led to the formation of a developed system of international standards in the field of energy management, which is aimed at regulating and disclosing the content of the principles of energy efficient processes and development. Rational policy in enterprises of various industries and the implementation of energy-saving measures, particularly in the maritime transport. The dynamics of implementation of projects aimed at increasing the efficiency of energy use is growing steadily at different levels and in different sectors of industry. It is widespread in the fields of design, modernization and reconstruction of energy-efficient buildings and structures, construction of industrial infrastructure elements, technological production processes. Implementation of such projects is a priority line of activity for enterprises and companies of various types of economic activity. Accordingly, the leading sectors of industry develop

*strategies to improve environmental safety and energy efficiency - ship navigation is no exception. Indeed, the process of increasing energy efficiency is achieved by reducing fuel consumption, which without exception leads to a reduction in the amount of waste products discharged into the atmosphere. Therefore, the problems of energy efficiency in order to increase requirements for environmental safety of transport and increasing responsibility of shipowners become the central object of research of current theory and practice of operation of maritime transport means. Another urgent issue is the improvement of universal principles of energy efficiency within the framework of individual ship-owning companies and the development of tools for economic analysis of energy efficiency of the own fleet, search for new ways to form professional competencies of ship crewmembers in the field of energy conservation.*

**Keywords:** *ships energy efficiency, design index, management plan.*

**Вступ.** Морський транспорт залишається без перебільшення основним видом транспорту для переважної більшості вантажів, що складаються із зернових, сировини, небезпечних та унікальних вантажів, таких як негабаритні та важковагові вантажі, оскільки вартість їх транспортування залишається конкурентоспроможною і прийнятною для всіх учасників ринку. Але обсяги викидів у галузі судноплавства від більш ніж 100 тис. морських суден становить майже 3 % від загального обсягу парникових газів у світі, що викликає кліматичні зміни, такі як глобальне потепління та ацидифікація, тож судноплавство відіграє значну роль у проблемі зміни клімату. Велика частка від цього є наслідком неефективного проектування суден, а також відсутності планування та оптимального використання ресурсів. З розвитком транспортного сектора пропорційно продовжує зростання тиск на екологічну складову галузі. Як підсумок, нестабільний рівень вартості палива, підвищена потреба у природоохоронних нормах і тенденції до зменшення споживання палива є головними чинниками необхідності впровадження енергоефективних заходів на суднах, тому концепції та потреби у їх застосуванні у судноплавстві втілились у реалії повсякденного функціонування морегосподарського комплексу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемам забезпечення енергоефективності, поряд з підвищенням екологічної безпеки морських суден, завжди

приділялась пильна увага як з боку провідних вчених у галузі водного транспорту, так і міжнародних організацій та інституцій. Так, особливості використання альтернативних видів палива розглянуто у роботах [1–3]. Засоби та методи управління енергоефективністю судна досліджено у [4–6]. Розкриття основних принципів та заходів щодо підвищення енергоефективності на суднах запропоновано у [7, 8]. Керівництво з обліку інноваційних технологій енергоефективності для розрахунку і перевірки досягнутих показників для суден у несприятливих умовах та нормативні вимоги з боку контролюючих організацій міститься у [9–11]. У [12–14, 18] проаналізовано експлуатаційні показники енергетичної ефективності судна з урахуванням впливу навігаційного середовища та оптимізації часу перебування судна в порту. Втім пошук шляхів щодо зменшення викидів шкідливих речовин з борту суден та питання підвищення енергетичної ефективності судна впровадженням різних експлуатаційних методів характеризуються високим ступенем актуальності.

**Мета і завдання дослідження.** Пропонується провести аналіз основних інструментів управління енергоефективністю судна, їх взаємозв'язок та залежність від ініціатив з боку ІМО (Міжнародна морська організація) щодо шляхів економії енергії на борту суден, комплексної оцінки та прогнозування ефективності їх експлуатації та зменшення вуглецевого

сліді в екології. Також за необхідне є проведення аналізу міжнародної нормативно-правової бази з метою пошуку шляхів вирішення проблеми викидів з суден за допомогою практичних заходів як з боку членів екіпажів суден щодо зниження споживання палива, так і осіб, які працюють у морському секторі і займаються питаннями охорони довкілля та зміни клімату.

**Основна частина дослідження.** Подібно до конвенції SOLAS (Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі), яка регулює судноплавство відповідно до мінімальних стандартів для захисту життя на морі, конвенція MARPOL (Міжнародна конвенція із запобігання забрудненню з суден) є ще однією важливою конвенцією, яка захищає морське середовище від забруднення з суден. MARPOL і SOLAS вважаються двома ефективними інструментами ІМО (Міжнародна морська організація) в галузі безпеки і захисту навколишнього середовища. Постійний технічний розвиток

і інновації є ключовими напрямками в процесі підвищення енергоефективності суден. Протягом певного періоду часу контроль за ефективним використанням енергетичних ресурсів морських суден був на добровільній основі, і очікувалося, що судновласники усвідомлюють свою відповідальність за енергоефективність власного флоту. Але у зв'язку зі зростаючим занепокоєнням з приводу збільшення обсягу викидів парникових газів (рис. 1) і збільшення споживання палива, з боку контролюючого органу морської галузі МЕРС (комітету із захисту морського середовища) ІМО було запроваджено ряд кроків щодо зниження емісії парникових газів з суден, а саме прийняття глави 4 додатка VI конвенції MARPOL, правил енергоефективності для суден. Головним завданням було запровадження двох обов'язкових механізмів – індексу проєктування енергоефективності (EEDI) та суднового плану управління енергоефективністю (SEEMP).

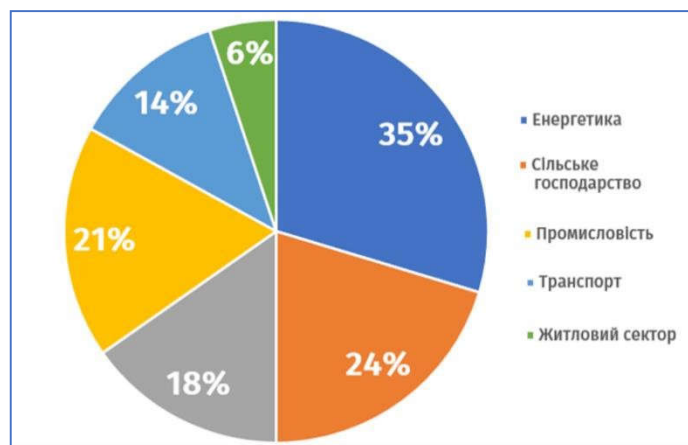


Рис. 1. Обсяг викидів парникових газів від людської діяльності

Як відомо, індекс EEDI необхідний для відстеження кількості CO<sub>2</sub> (діоксиду вуглецю) і шкідливих викидів з суден та є засобом підтримки та стимулювання розвитку стандартів енергоефективності. Ідея його впровадження полягає в тому, щоб шляхом поліпшення конструкції корпусу

судна і оптимізації роботи суднових технічних систем та устаткування досягти зниження викидів CO<sub>2</sub> за рахунок підвищення загальної ефективності судна. Рівень викидів CO<sub>2</sub> розраховується на основі витрат палива з урахуванням вмісту вуглецю. У свою чергу рівень споживання

палива заснований на потужності, що використовується для пропульсивної установки та допоміжної потужності, яка вимірюється за певних проектних умов. Транспортна робота судна оцінюється як проектна потужність його силової установки, помножена на швидкість, що вимірюється по літню осадку з максимальним навантаженням, та при 75-процентній номінально встановленій потужності.

План управління енергоефективністю судна – це спеціальний інструмент (рис. 2), розроблений ІМО для вимірювання і контролю за викидами парникових газів (ПГ) з суден. Основна мета SEEMP – не тільки зниження обсягу шкідливих викидів з суден, але і підвищення ефективності їх експлуатації та зниження витрат палива. Реалізація інструментів SEEMP і EEDI для

належного контролю забруднення з суден відбувається на усіх нових суднах, що збудовані після 2013 року. Втім, план SEEMP має бути розроблений і реалізований судновласником або оператором судна для потенційного зниження експлуатаційних витрат судна, що в кінцевому підсумку має за мету зниження загальних витрат палива, включаючи шкідливі викиди в довгостроковій перспективі.

Найкращі способи оптимізації та підтримки енергоефективності судна плануються та реалізуються за допомогою плану управління енергоефективністю судна. SEEMP окреслює всі найкращі практики, які необхідно застосовувати на борту судна і в офісі судновласника для забезпечення максимальної ефективності рейсу судна.

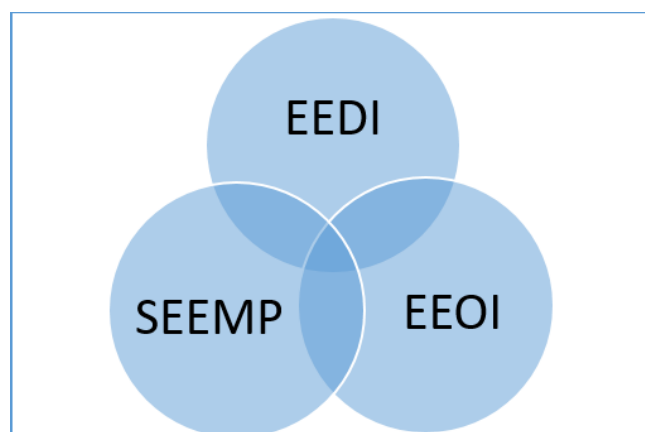


Рис. 2. Основні інструменти управління енергоефективністю судна

Критичний аналіз заходів на борту судна та якості їх упровадження можна зробити за допомогою Індексу експлуатації енергоефективності (EEOI). Основна відмінність між EEDI та EEOI полягає в тому, що перший вимірює, наскільки якісно побудовано судно, а другий – наскільки ефективно воно експлуатується. Тому ІМО було запроваджено схему розрахунку оперативного показника енергоефективності (EEOI), з тим щоб використовувати його як показник ефективності моніторингу EEDI у поєднанні з SEEMP (рис. 2). На

рис. 3 показано концепцію того, як перелічені вище інструменти працюють у комплексі, охоплюючи як процеси проектування суден, так і процеси їх експлуатації.

Велика кількість шкідливих викидів є наслідком неефективної конструкції суден, а також проблемою відсутності планування і оптимального використання ресурсів, тому головна мета нововведень з боку ІМО полягала в тому, щоб стандартизувати і координувати зусилля та шляхом введення інструментів управління досягти стимулювання і розвитку технологічних

процесів на судні у сторону більш енергоефективних стандартів. Таким чином, EEDI є технічним стандартом, що застосовується до нових суден. Проективальники і суднобудівельники зможуть вільно вибирати технології для задоволення вимог EEDI в кожному конкретному проєкті судна. Згодом рівень EEDI буде знижуватися, що поступово сприятиме появі більш енергоефективних суден, тим

самим втілюючи технології та операції для підвищення енергоефективності в морському секторі та прискорюючи рух галузі судноплавства в більш чисте і екологічне майбутнє. Це набуває актуальності також для регіонів, особливо вразливих до наслідків зміни клімату, і де є реальна можливість просування технологій і операцій з підвищення енергоефективності в морському секторі.

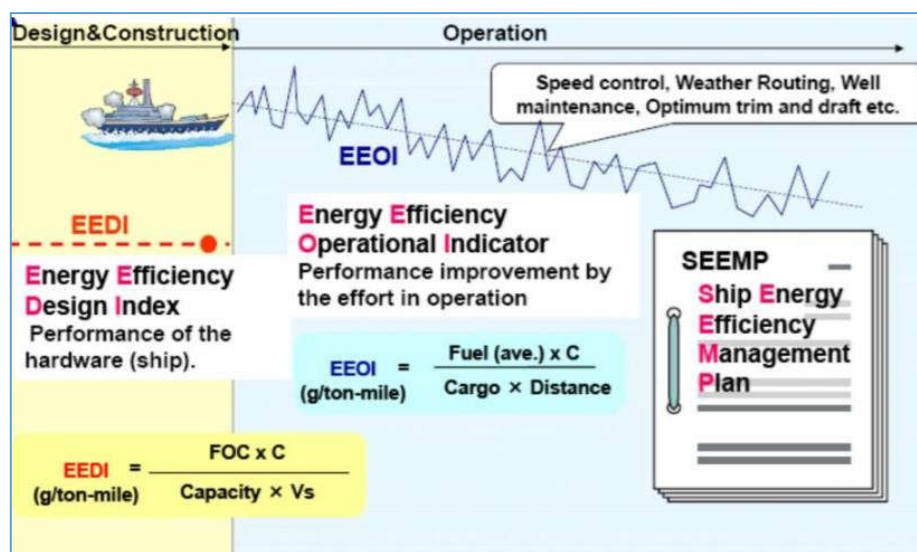


Рис. 3. Концепція взаємодії інструментів управління енергоефективністю [3].

Однією з найбільших ініціатив ІМО щодо успішної реалізації цих програм є проєкт Глобального морського партнерства з енергоефективності (GloMEEP). GloMEEP має за мету розширення рівня обізнаності та технічних можливостей судноплавних компаній по всьому світу, щоб підготувати морський світ до низьковуглецевого майбутнього. Іншою ініціативою є Глобальний мережевий проєкт МТСС, що фінансується з боку Європейського Союзу, який має за мету по'єднати держави, що розвиваються, та слаборозвинені країни, що є учасниками міжнародного судноплавства, з більш розвиненими в технологічному плані країнами, що може допомогти їм скористатися технічними досягненнями останніх.

Щодо нових суден, у межах програми підвищення рівня енергоефективності, планується реалізація безлічі передових змін, що стосуються оптимізації швидкості судна, вдосконалення засобів планування рейсу і вантажних операцій у портах, удосконалення характеристик технічних систем, корпусу судна щодо його форми і розмірів, поліпшення якостей фарбового покриття та інших методів, таких як оптимізація диферентування, баластування, посадки судна тощо. Проте для існуючих і старих суден проблема залишається невирішеною і недостатньо опрацьованою, деякі аспекти якої лежать на поверхні. Зниження швидкості, безумовно є важливим способом зниження витрат палива; однак це збільшує час рейсу судна і негативно

впливає на показники комерційної експлуатації судна та ефективність експлуатації енергетичної установки, що призводить до значних витрат палива на одиницю відстані. Більш того, рівень енергоефективності суднової енергетичної

установки залежить не тільки від робочого стану головного двигуна і стану вантажу, але і від зміни навігаційної обстановки. Комплекс технологічних рішень щодо підвищення рівня енергоефективності суден подано на рис. 4.

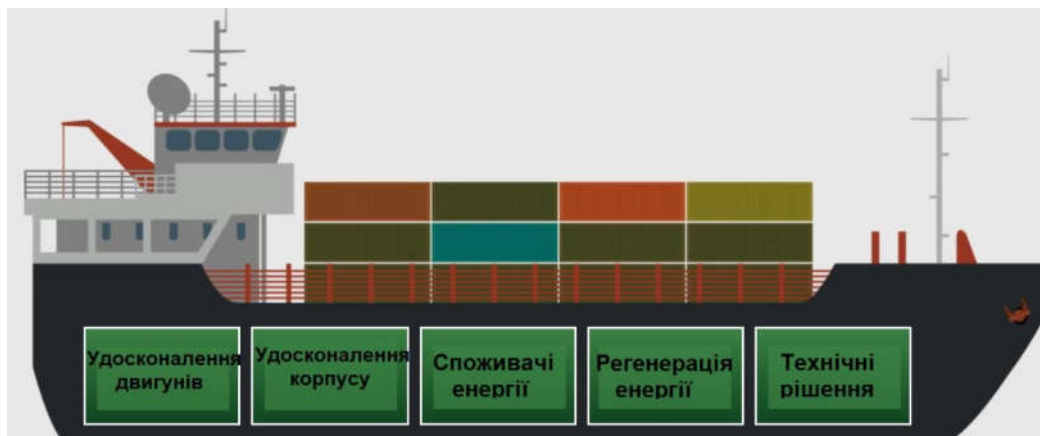


Рис. 4. Технології щодо підвищення рівня енергоефективності суден

Конструкція судна відіграє важливу роль у забезпеченні енергоефективності судна, оскільки вона є основою експлуатаційної ефективності. Технічні заходи щодо зниження витрат палива включають використання високоефективних суднових двигунів і силових установок, оптимізовані обводи корпусу, геометрію керма і гребного гвинта, а також такі інновації, як бульбоподібна носова частина. Додатковим потенціалом

економії палива є рекуперация тепла та використання ЗПГ (зрідженого природного газу), що є найкращим паливом, коли мова йде про заміну традиційних видів палива в судноплавстві, оскільки воно має порівняно меншу кількість викидів сірки і оксидів азоту. Однак великі площі, необхідні для зберігання ЗПГ, на сьогодні стримують його широке використання. Принципи функціонування плану управління енергоефективністю судна подано на рис. 5.



Рис. 5. Принципи функціонування плану управління енергоефективністю судна



Успішне і стійке зниження кількості споживання палива, використовуваного на судах, і загальне підвищення експлуатаційної ефективності може бути досягнуто шляхом упровадження різних експлуатаційних методів. До них належить планування операцій на низьких швидкостях, більш ефективне використання потужностей і ресурсів, а також безперервний зв'язок між судноплавними організаціями для ефективного планування маршрутів. Скорочення часу обороту в портах – ще один спосіб підвищення ефективності роботи суден. Дослідження [18] показало, що двома найбільшими джерелами непродуктивного часу в порту є час очікування причалу, коли порт закритий, і час очікування причалу через дострокове прибуття. При скороченні часу від однієї до чотирьох годин на один захід у порт потенціал підвищення енергоефективності становить 2–8 %.

**Висновки.** Підсумовуючи сказане, слід зазначити, що енергетична ефективність морського транспорту в цілому є більш високою порівняно з іншими видами транспорту, тому послідовно зростатимуть стимули та правила для підвищення енергоефективності суден. Проведений аналіз основних інструментів управління енергоефективністю судна демонструє реалізацію дієвих шляхів щодо економії енергії на борту суден за рахунок комплексної оцінки та прогнозування ефективності і зменшення вуглецевого сліду в екології. Нормативні вимоги щодо управління енергоефективністю підвищують галузеві стандарти для

об'єктів морського транспорту, отже, вдосконалення заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності морських суден насамперед через зниження обсягів викидів вуглекислого газу в атмосферу, стоїть серед першочергових завдань. Окреме місце належить вартості впровадження нових і більш ефективних технологій щодо модернізації існуючих суден з метою поліпшення їхніх екологічних і економічних показників, тому перелічені заходи потребують розроблення більш досконалих і суттєвих засобів і методів забезпечення енергоефективності.

Розроблення оперативних заходів щодо підвищення експлуатаційної ефективності судна, безумовно, – вкрай актуальне завдання, що потребує додаткових досліджень та впровадження новітніх технологій, однією з яких може бути використання інтегрованих систем підтримки прийняття рішень, що спрямовані на скорочення як витрат палива, так і викидів шкідливих речовин. Станом на сьогодні вже розроблений та успішно втілюється комплекс технологій щодо підвищення енергоефективності суден, де основна увага приділяється конструкції корпусу судна, регенерації електроенергії, якості палива і рівню його споживання, а також експлуатаційним заходам на судні, але ці засоби і методи експлуатації все ще потребують вдосконалення з урахуванням особливостей кожного з напрямів, щоб досягти максимального рівня ефективності експлуатації існуючих і майбутніх суден.

### Список використаних джерел

1. Хасанов И. И., Гимаева А. Р. Особенности бункеровки топлива для судов на сжиженном природном газе. *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. 2017. № 3. С. 19–22.
2. Карпенко А. А., Копцева Е. П. Перспективы перевода судов морского и речного транспорта на альтернативные виды топлива. *Транспортное дело*. 2017. № 3. С. 63–66.
3. Безюков О. К., Жуков В. А., Яценко О. И. Газомоторное топливо на водном транспорте. *Вестник ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова*. 2014. № 6 (28). С. 31–39.
4. Управляем энергоэффективностью. Морской транспорт. URL: <http://www.morvesti.ru/analitika/1692/23595/>.

5. Energy Efficiency Measures. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>.
6. Hüffmeier J., Johanson M. State-of-the-Art Methods to Improve Energy Efficiency of Ships. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021. 9. 447. URL: <https://doi.org/10.3390/jmse9040447>.
7. Capt Rajeev Jassal (2018) Ship Energy Efficiency: Here is All You Need to Know [Електронний ресурс] Вилучено з: <https://www.myseatime.com/blog/detail/ship-energy-efficiency>.
8. Energy efficiency in shipping - why it matters! (2018) Maritime Cyprus. URL: <https://maritimecyprus.com/2018/04/03/energy-efficiency-in-shipping-why-it-matters>.
9. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency. Regulations and Related Guidelines. London, 2016, 45 p.
10. MEPC.1/Circ.684, “Guidelines for voluntary use of the ship EEOI”, MEPC.1/Circ.684, 17 August 2009.
11. MEPC.1/Circ.815: 2013 Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI for ships in adverse conditions.
12. Yupeng Yuan, Zhixiong Li, Reza Malekian & Xinping Yan (2017) Analysis of the operational ship energy efficiency considering navigation environmental impacts, *Journal of Marine Engineering & Technology*. 16:3. 150-159. DOI: 10.1080/20464177.2017.1307716.
13. Energy efficiency technologies information portal. URL: <https://glomeep.imo.org/resources/energy-efficiency-techologies-information-portal/#:~:text=These%20include%20measures%20such%20as,hydrodynamic%20performance%20of%20the%20vessel>.
14. Shivam Sargam (2019) Ship energy efficiency. URL: <http://themarineexpress.com/ship-energy-efficiency/>.
15. Onyshchenko S., Shibaev O. and Melnyk, O. (2021) “Assessment of Potential Negative Impact of the System of Factors on the Ship’s Operational Condition During Transportation of Oversized and Heavy Cargoes”, *Transactions on Maritime Science*. Split, Croatia, 10(1). DOI: 10.7225/toms.v10.n01.009.
16. Melnyk O., Malaksiano M. Effectiveness assessment of non-specialized vessel acquisition and operation project, considering their suitability for oversized cargo transportation. *Transactions on Maritime Science*. 2020. №1(9). P. 23–34.
17. Мельник О. М., Онищенко С. П. Modelling of changes in ship’s operational condition during transportation of oversized and heavy cargo (Моделювання зміни експлуатаційного стану судна в процесі транспортування негабаритних і великовагових вантажів. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 6/2(56). С. 66–70.
18. Johnson, Hannes and Linda Styhre. “Increased energy efficiency in short sea shipping through decreased time in port.” *Transportation Research Part A-policy and Practice* 71 (2015): 167-178.

---

Мельник Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету. Тел.: (048) 732-06-38. E-mail: [m.onmu@ukr.net](mailto:m.onmu@ukr.net). ORCID: 0000-0001-9228-8459.

Онищенко Світлана Петрівна, доктор екон. наук, професор, директор Навчально-наукового інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету. Тел.: (048) 728-31-28. E-mail: [onyshchenko@gmail.com](mailto:onyshchenko@gmail.com). ORCID: 0000-0002-7528-4939.

Волошин Андрій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету. Тел.: (048) 732-06-38. E-mail: [aavoloshin61@gmail.com](mailto:aavoloshin61@gmail.com). ORCID: 0000-0003-3993-5826.

Калініченко Євген Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри навігації і керування судном Одеського національного морського університету. Тел.: (048) 732-06-38. E-mail: [kalinichenko.yevgeniy1964@gmail.com](mailto:kalinichenko.yevgeniy1964@gmail.com). ORCID: 0000-0003-2898-7313.

---



Заяц Сергій Валентинович, старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету. Тел.: (048) 732-06-38. E-mail: s.v.zaiats@gmail.com.

Oleksiy Mykolayovych Melnyk, PhD (Tech.), Associate Professor of Seamanship and Maritime Safety Department, Odessa National Maritime University. Tel: (048) 732-06-38. E-mail: m.onmu@ukr.net. ORCID: 0000-0001-9228-8459.

Onishchenko Svitlana Petrivna, D. Sc. (Econ.), Professor, Director of the Scientific and Educational Institute of Maritime Business, Odessa National Maritime University. Tel: (048) 728-31-28. E-mail: onyshchenko@gmail.com. ORCID: 0000-0002-7528-4939.

Voloshin Andriy Oleksandrovysh, PhD (Tech.), Professor, Head of Seamanship and Maritime Safety Department, Odessa National Maritime University. Tel: (048) 732-06-38. E-mail: aavoloshin61@gmail.com. ORCID: 0000-0003-3993-5826.

Kalinichenko Yevgen Volodymyrovych, PhD (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Navigation and Ship Control of the Odessa National Maritime University. Tel: (048) 732-06-38.

E-mail: kalinichenko.yevgeniy1964@gmail.com. ORCID: 0000-0003-2898-7313.

Zayats Sergey Valentinovich, Senior Lecturer of Seamanship and Maritime Safety Department of Odessa National Maritime University. Tel: (048) 732-06-38. E-mail: s.v.zaiats@gmail.com.

Статтю прийнято 07.09.2021 р.