

УДК 656.61

**Мельник О. М.***кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри судноводіння та морської безпеки,  
Заклад вищої освіти «Одеський національний морський університет»**м. Одеса, Україна**E-mail: m.onmi@ukr.net**ORCID: 0000-0001-9228-8459*

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА БЕЗПЕКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНА

### Анотація

*Зростання інтересу до енергоефективних рішень у морському суднопластві обумовлено необхідністю зменшення викидів шкідливих речовин та оптимізації витрат на паливо. Стаття присвячена оцінці впливу енергоефективності на безпеку експлуатації судна, розглядаються основні аспекти енергоефективності судна та їх вплив на безпеку плавання. Здійснюється аналіз принципів енергоефективності та проводиться огляд методів оцінки взаємозв'язку між енергоефективністю та безпекою судна. Результати цього дослідження сприятимуть усвідомленню важливості енергоефективних заходів у суднопластві та розробці стратегій підвищення безпеки експлуатації судна.*

**Ключові слова:** енергоефективність, безпека суден, експлуатація суден, екологічний вплив, морський транспорт, маневреність, аварійні ситуації, системи автоматизації.

**Вступ.** Енергоефективність судна є ключовим аспектом його експлуатації, оскільки вона визначає ефективне використання паливних ресурсів та зниження викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. Однак, крім екологічних переваг, енергоефективність також впливає на безпеку судна. Аналіз взаємозв'язку між енергоефективністю та безпекою судна дозволяють укласти, що ці аспекти тісно пов'язані між собою і є взаємозалежними в процесі експлуатації. Досягнення високого рівня енергоефективності потребує комплексного підходу, що включає не лише технологічні інновації, а й навчання екіпажів суден, адекватне законодавство та регулювання, а також співробітництво між різними зацікавленими сторонами.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В останні роки у зв'язку зі зростаючою поінформованістю про зміну клімату та зростаючими економічними вимогами до суднопластва, багато досліджень стали фокусуватися на енергоефективності суден та їх вплив на безпеку плавання. досліджували вплив зниження швидкості скорочення викидів парникових газів. Їхні результати показали, що зниження швидкості суден може значно скоротити викиди парникових газів, одночасно низивши витрати на паливо. У представленому огляді літератури було розглянуто такі дослідження, пов'язані з енергоефективністю та безпекою судна. У [1] провели дослідження з оптимізації енергоефективності судна з огляду на навігаційне середовище та безпеку. У роботі [2] проведено моніторинг утоми водія на основі ЄЕГ у контексті системи «Людина-Судно-Навколишнє середовище» та його вплив на безпеку судна. Розроблено систему оцінки безпеки операції судна [3] на основі розширеної оцінки та методу зважування комбінацій. У [4] проведено динамічне прогнозування та оптимізацію енергоефективного операційного індексу (ЕЕОІ) для судна за мінливих умов довкілля. Запропоновано новий метод [5] для спільної оптимізації маршруту та швидкості судна, з огляду на кілька факторів довкілля для підвищення енергоефективності. У [6] дослідили метод багатокритеріальної оптимізації енергоефективності судна з урахуванням вуглецевого податку. У [7] проведено аналіз витрат і вигоди від зміни палива порівняно з використанням MGO на прикладі маршруту контейнерних перевезень між Китаєм та Європою.

Проведений огляд літератури на тему дослідження вказує на важливість та необхідність подальших досліджень у галузі енергоефективності та безпеки судна.

**Мета статті** полягає у дослідженні та аналізі зв'язку між енергоефективністю та безпекою судна. Вона спрямована на виявлення взаємозв'язків та впливу енергоефективності на безпеку експлуатації судна, а також ідентифікацію ключових факторів та механізмів, через які енергоефективність впливає на безпеку.

**Методика дослідження.** Енергоефективність має безпосередній стосунок до безпеки судна. Судно, яке споживає менше палива, матиме більш тривалий запас ходу та меншу ймовірність залишитися без палива у відкритому морі, що є потенційно небезпечною ситуацією. Крім того, менше споживання палива також знижує викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище, що сприяє зниженню екологічних ризиків та підвищенню безпечної експлуатації судна для навколишнього середовища. Але також судно з більш ефективною системою управління енергоспоживанням здатне здійснювати більш ефективний контроль систем та обладнання, що зменшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій на борту. Таким чином, енергоефективність судна безпосередньо впливає на його безпеку, екологічну стійкість та економічну ефективність, ґрунтуючись на наступних факторах безпеки:

1. Маневрені якості та керованість судна покращуються завдяки енергоефективності, яка сприятиме більш точному та ефективному контролю судна, що має пряме відношення до підвищення його маневреності та здатності уникати аварійних ситуацій.

2. Впровадження енергоефективних систем автоматизації на судні може знизити навантаження на екіпаж та підвищити безпеку судна. Такі системи можуть контролювати та оптимізувати використання палива, здійснювати прогнозування та запобігання можливим аварійним ситуаціям.

3. Використання нових енергоефективних матеріалів конструкції та корпусу судна при проектуванні та будівництві судна може підвищити його міцність та стійкість до різних зовнішніх впливів, що у свою чергу сприяє підвищенню безпеки судна.

4. Впровадження енергоефективних систем на судні потребує відповідного навчання та підготовки екіпажу. Навчений персонал здатний ефективно використовувати і контролювати такі системи, що також підвищує безпеку судна. Додаткові фактори що підтверджують зв'язок енергоефективності судна з безпекою його експлуатації представлені в Табл. 1;

**Таблиця 1. Фактори впливу енергоефективності на безпеку судна**

Збільшення дальності плавання	Енергоефективність судна має прямий зв'язок із безпекою його експлуатації. Судно, яке споживає менше палива, здатне перевозити більше вантажу та має збільшену дальність плавання, що особливо важливо для магістральних переходів. Збільшення дедвейту та дальності плавання знижує необхідність у частих бункеруваннях та зменшує ризики навантаження, що призводить до зниження ризику виникнення аварійних ситуацій, зменшення ймовірності зіткнень з іншими суднами або потрапляння у штормові умови.
Зниження витрат на експлуатацію	Судно з більш ефективною системою управління енергоспоживанням може знизити витрати на паливо, що зменшує операційні витрати та підвищує економічну ефективність. Це може призвести до великих інвестицій у оновлення систем та модернізацію суднового обладнання, що також підвищує безпеку судна.
Зменшення викидів шкідливих речовин	Зменшення витрати палива тягне за собою зниження викиду шкідливих речовин у навколишнє середовище, що знижує вплив на морську екосистему та зменшує екологічні ризики
Зниження пожежних ризиків та небезпеки загорянь на борту	Судно, яке працює на ефективних та надійних системах енергопостачання, має меншу ймовірність спалаху. Це пов'язано з тим, що скорочується ризик перегріву двигунів, паливних систем та електрообладнання, що у свою чергу зменшує ймовірність виникнення пожежі на борту судна.
Скорочення часу на ремонт та технічне обслуговування	Судно, яке працює на ефективніших системах енергопостачання, може скоротити час на технічне обслуговування. Це пов'язано з тим, що менша кількість компонентів та більш надійні системи можуть скоротити час на ремонт та заміну деталей, що підвищує готовність судна до експлуатації та знижує ймовірність технічних збоїв під час плавання.
Відповідність міжнародним стандартам:	Міжнародна морська організація (ІМО) розробила набір рекомендацій та правил, спрямованих на зниження викидів шкідливих речовин у морське середовище та покращення енергоефективності суден. Судна, що відповідають цим стандартам, отримують міжнародні сертифікати, які підвищують їхню відповідність вимогам, що, у свою чергу, підвищує безпеку експлуатації.

Загалом енергоефективність судна є ключовим фактором, який підвищує його безпеку, економічну ефективність та екологічну стійкість. Отже, енергоефективність судна має важливе значення для безпеки та надійності його експлуатації, а також для скорочення ризиків, пов'язаних із екологічними та економічними факторами.

Для демонстрації сталого зв'язку між енергоефективністю та безпекою судна можна використовувати різні наукові методи, наприклад:

1. Експериментальний підхід – дозволяє встановити причинно-наслідковий зв'язок між змінними. Наприклад, можна провести експеримент, в якому одна група суден використовуватиме енергоефективні технології, а інша – ні, а потім порівняти їхній рівень безпеки.

2. Статистичний аналіз – дозволяє визначити ступінь значущості зв'язку між змінними, а також виявити відмінності та подібності у даних.

3. Аналіз експертних думок – дозволяє отримати інформацію від експертів у галузі судноплавства та оцінити вплив енергоефективності на безпеку судна.

Наприклад, можна виконати кореляційний аналіз, щоб визначити наявність зв'язку між енергоефективністю та безпекою судна. Для цього необхідно мати дані про енергоефективність та безпеку судна, наприклад, показники споживання палива, емісій, швидкості та маневреності судна, а також дані про аварії, інциденти та інші події на борту. Важливо, що кореляційний аналіз не дає причинно-наслідкових зв'язків між змінними а лише допомагає визначити наявність зв'язку та його силу.

Для більш точної оцінки впливу енергоефективності на безпеку судна необхідно використовувати такі методи, як експериментальний підхід або моделювання, які допомагають зрозуміти, як енергоефективність впливає на різні аспекти безпеки судна, наприклад, на ризик зіткнення, ймовірність виникнення пожежі або ймовірність технічних збоїв. Зразкова математична модель, що дозволяє оцінити вплив енергоефективності на безпеку судна, може мати такий вигляд:

$$S = f(E) \quad (1)$$

де  $S$  – безпека судна,  $E$  – рівень енергоефективності. Функція  $f$  визначає залежність між цими змінними.

Для конкретної задачі необхідно вибрати потрібну функцію, яка враховує особливості конкретного судна та умов його експлуатації. Наприклад, як функція можна використовувати логістичну функцію:

$$S = a / (1 + b \times \exp(-c \times E)) \quad (2)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – параметри функції, які можна визначити на основі даних дослідження.

Така функція дозволяє описати насичення ефекту: при збільшенні рівня енергоефективності рівень безпеки судна спочатку швидко зростає, але потім починає насичуватися і зростання стає повільніше.

Важливо відзначити, що така модель може мати обмежену точність, оскільки вона враховує лише один аспект безпеки судна і не враховує інших факторів, таких як метеоумови, кваліфікацію екіпажу, технічний стан судна тощо. Тому для отримання точніших результатів необхідно використовувати комплексний підхід та враховувати всі фактори, що впливають на безпеку судна.

Одним з підходів можна розглянути модель, засновану на машинному навчанні, метод вирішальних дерев. Вирішальне дерево – це алгоритм машинного навчання, який будує дерево рішень на основі навчальної вибірки, де кожен вузол є тестом на одній з ознак, а кожен лист – прогноз для цільової змінної. Приклад моделі на основі вирішальних дерев для оцінки впливу енергоефективності на безпеку судна може виглядати так:

$$S = f(E, F, T, V, M, A) \quad (3)$$

де  $S$  – безпека судна,  $E, F, T, V, M$  та  $A$  – ознаки, що характеризують енергоефективність судна:  $E$  – рівень енергоспоживання,  $F$  – рівень викидів,  $T$  – тип двигуна,  $V$  – швидкість судна,  $M$  – маневреність судна,  $A$  – вік судна. Функція  $f$  може бути представлена у вигляді дерева рішень, де кожен вузол є тестом на одній з ознак, а кожен лист – прогноз для безпеки судна.

Приклад, отриманий на основі дерева рішень, може бути лінійною комбінацією різних ознак, які впливають на безпеку судна. Коефіцієнти перед кожною ознакою відображають силу та напрямок впливу даної ознаки на безпеку судна:

$$S = -0.1 \times E + 0.3 \times F + 0.2 \times N + 0.5 \times V - 0.2 \times M - 0.1 \times A + 0.5 \quad (4)$$

У цьому прикладі коефіцієнти були визначені за допомогою алгоритму навчання дерева рішень на навчальній вибірці, що складається з даних про енергоефективність та безпеку судна.

Важливо те, що така модель може мати обмеження точності, особливо якщо вибірка даних недостатньо велика або не повністю представляє різноманітність умов експлуатації судна. Для отримання більш точних результатів необхідно використовувати більш розширені вибірки даних, а також більш складні методи машинного навчання, такі як нейронні мережі, які можуть ефективно обробляти складні залежності між ознаками і цільовою змінною. Крім того, при використанні такої моделі необхідно враховувати можливі фактори, які можуть вплинути на безпеку судна, такі як погодні умови, наявність інших суден у районі плавання тощо.

Припустимо, що енергоефективність судна дорівнює 0.85, при вантажопідйомності 5500 тонн, то судно буде класифіковано за рівнем «Висока безпека». Тоді якщо енергоефективність судна дорівнює 0.75 і вантажопідйомність дорівнює 6000 тонн, судно буде класифіковано як «Середня безпека». Якщо ж енергоефективність судна дорівнює 0.7 та вантажопідйомність дорівнює 4000 тонн, то судно буде класифіковано як «Низька безпека».

Для візуалізації залежності рівня безпеки судна від його енергоефективності та вантажопідйомності можна використовувати діаграму розсіювання з різними кольорами та формами точок для кожного класу безпеки. Для прикладу, припустимо, ми маємо такі дані про судна:

**Таблиця 2. Показники суден**

Судно	Енергоефективність	Вантажопідйомність	Рівень безпеки
1	0.85	5500	Висока
2	0.75	6000	Середня
3	0.70	4000	Низька
4	0.80	4800	Середня
5	0.90	6200	Висока

На основі даних про класифікацію рівнів безпеки судна для кожної комбінації енергоефективності та вантажопідйомності збудуємо графік залежності рівня безпеки судна від його енергоефективності та вантажопідйомності рис. 1.

На даному графіку точки представляють кожне з суден з певною енергоефективністю та вантажопідйомністю, забарвлену у колір відповідно до рівня безпеки судна, що дозволяє візуалізувати зв'язок між цими змінними та класифікацією безпеки. Такий графік може дати наочне уявлення про розподіл суден за різними рівнями безпеки залежно від їхньої енергоефективності та вантажопідйомності. Це допомагає краще зрозуміти, які комбінації енергоефективності та вантажопідйомності суден відповідають певним рівням безпеки та допомогти виявити паттерни, тенденції даних та зробити висновки про вплив енергоефективності та вантажопідйомності на безпеку судна.

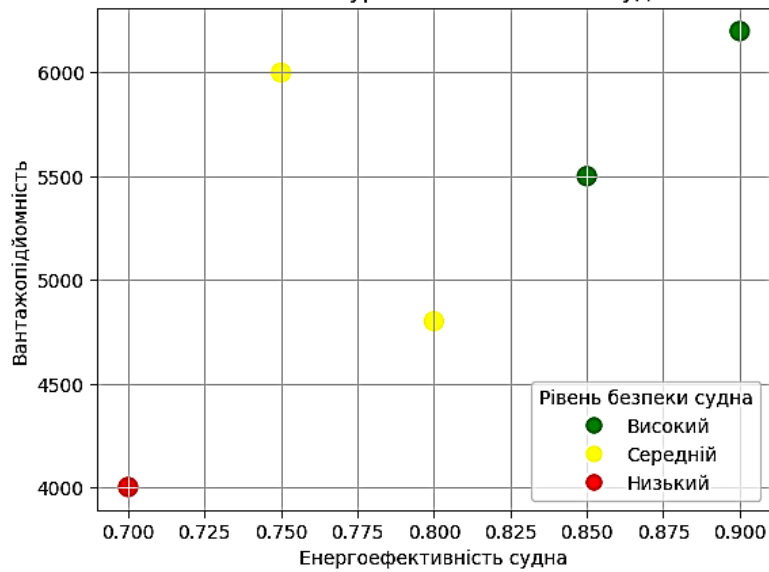


Рис. 1. Залежність рівня безпеки судна від представлених параметрів

Іншим прикладом може бути графічна модель дерева рішень, що використовується для прийняття рішень на основі умов та результатів. Таке дерево використовується для визначення рівня безпеки судна на основі його енергоефективності та вантажопідйомності та може враховувати не тільки енергоефективність та вантажопідйомність судна, але також технічний стан та навченість екіпажу. Кожен вузол у дереві представляє умову, основі якої відбувається прийняття рішення про класифікацію безпеки судна. В результаті застосування цього дерева рішень, судно також може бути класифіковано за рівнями, такими як «Низька безпека», «Середня безпека» або «Висока безпека» залежно від змінних значень.

У нашому прикладі першою умовою є енергоефективність судна. Якщо енергоефективність судна більша за 0.8, то судно класифікується як «Висока безпека». Якщо енергоефективність судна менша чи дорівнює 0.8, відбувається перевірка наступного умови, саме вантажопідйомності тощо (Рис. 2).

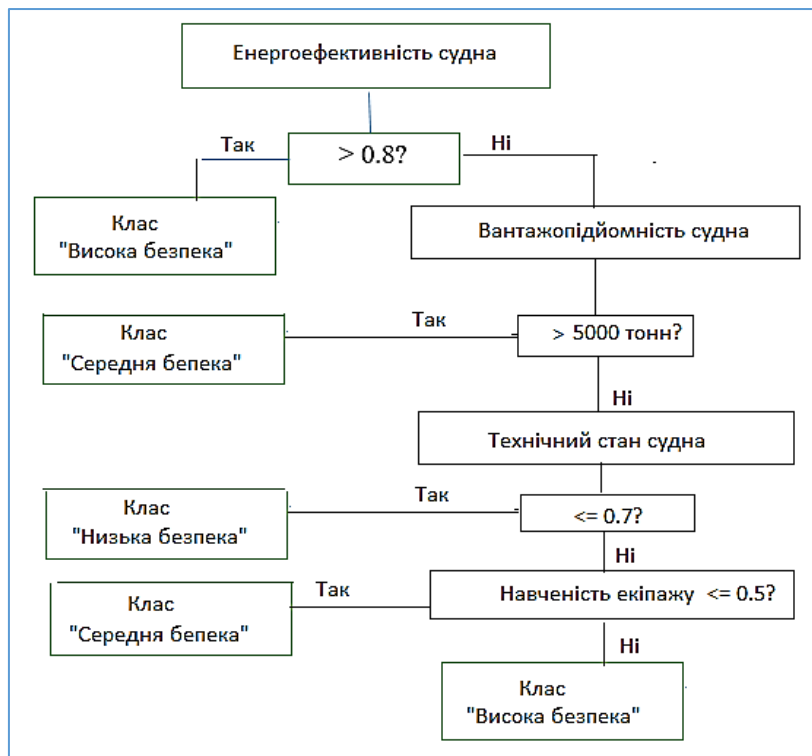


Рис. 2. Графічна модель дерева рішень

Дерево рішень може бути корисним інструментом для прийняття рішень у різних галузях, включаючи морські технології та безпеку судноплавства. Воно дозволяє швидко та легко оцінити взаємозв'язок між різними

факторами та прийняти рішення на основі результатів перевірки умов. Крім того, дерево рішень може бути використане для визначення оптимальної стратегії в різних ситуаціях, що може бути корисним у контексті судноплавства та безпеки мореплавання.

Загалом застосування математичних методів та статистичних аналізів може допомогти глибше вивчити взаємозв'язок між енергоефективністю та безпекою судна, а також визначити найбільш ефективні способи поліпшення цих характеристик. Ці методи можуть допомогти покращити енергоефективність та безпеку судна, що, у свою чергу, призведе до економічної вигоди та захисту навколишнього середовища:

1. Методи оптимізації визначення оптимальних значень параметрів судна, які забезпечують максимальну енергоефективність за збереження високого рівня безпеки. Це може бути особливо корисним при проектуванні нових суден або реконструкції існуючих.

2. Методи аналізу даних для виявлення залежностей між енергоефективністю судна та безпекою. Наприклад, можна провести кореляційний аналіз виявлення зв'язку між рівнем енергоспоживання судна і кількістю аварій, що відбуваються на борту.

3. Методи системного аналізу для оцінки взаємодії різних факторів, що впливають на енергоефективність та безпеку судна. Наприклад, можна використовувати системну динаміку для моделювання впливу змін в одному факторі (наприклад швидкості руху судна) на інші фактори (наприклад, рівень шуму або витрата палива).

4. Методи статистичного моделювання з метою оцінки ймовірності виникнення аварій на судні в залежності від різних факторів, таких як швидкість руху, погодні умови тощо.

5. Методи штучного інтелекту, такі як машинне навчання або нейронні мережі, для створення моделей, які можуть передбачати ймовірність виникнення аварій на судні на основі даних про енергоефективність та інші фактори. Існують різні методи оцінки енергоефективності, у тому числі з використанням математичних моделей та аналітичних інструментів. Для оцінки енергоефективності судна можна використовувати дані про його принцип розмірення, осадку, водотоннажність і енергоспоживання. Також важливими факторами можуть бути особливості плавання в конкретних умовах морського середовища та способи управління судном, як приклад, моделі для розрахунку гідродинамічних характеристик судна оптимізації його форми, що дозволить зменшити опір води та підвищити енергоефективність. Це не тільки дозволяє знизити витрати на паливо та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, але також сприяє підвищенню безпеки його експлуатації.

**Висновки.** Необхідність у продовженні досліджень у галузі енергоефективності та безпеки суден з метою розробки та впровадження нових технологій, методів та стандартів є актуальним завданням. Ці удосконалення дозволять оптимізувати експлуатацію суден, знизити їх негативний екологічний вплив та підвищити безпеку морського транспорту.

Показники енергоефективності судна мають прямий вплив на ймовірність виникнення аварійних ситуацій та на покращення реакції на них шляхом забезпечення більш точного керування судном та покращення його маневреності. Це особливо важливо в умовах обмеженого простору, сильних течій або при наближенні до небезпечних місць, де маневрування відіграє ключову роль у запобіганні зіткненням або аваріям. Впровадження енергоефективних систем автоматизації також сприяє підвищенню безпеки судна. Вони здатні оперативно надавати інформацію про використання палива, стан систем та обладнання, а також прогнозувати можливі проблеми або аварійні ситуації, що дозволяє екіпажу вчасно вживати заходів та запобігати негативним наслідкам.

#### Список використаних джерел

1. Jon, Min Hyok & Yu, Chung. (2023). Optimization of Ship Energy Efficiency Considering Navigational Environment and Safety. 10.1007/978-981-99-0373-3\_1.
2. Ren, Bin & Guan, Wanli & Zhou, Qinyu & Wang, Zilin. (2023). EEG-Based Driver Fatigue Monitoring within a Human–Ship–Environment System: Implications for Ship Braking Safety. *Sensors*. 23. 4644. 10.3390/s23104644.
3. Li, Junman & Hu, Yaan & Wang, Xin & Diao, Mingjun. (2023). Operation safety evaluation system of ship lock based on extension evaluation and combination weighting method. *Journal of Hydroinformatics*. 10.2166/hydro.2023.130.
4. Sun, Chao & Wang, Haiyan & Liu, Chao & Zhao, Ye. (2019). Dynamic Prediction and Optimization of Energy Efficiency Operational Index (EEOI) for an Operating Ship in Varying Environments. *Journal of Marine Science and Engineering*. 7. 402. 10.3390/jmse7110402.
5. Wang, Kai & Li, Jiayuan & Huang, Lianzhong & Ma, Ranqi & Jiang, Xiaoli & Yuan, Yupeng & Mwero, Ngome & Negenborn, R.R. & Sun, Peiting & Yan, X.. (2020). A novel method for joint optimization of the sailing route and speed considering multiple environmental factors for more energy efficient shipping. *Ocean Engineering*. 216. 107591. 10.1016/j.oceaneng.2020.107591.
6. Yuan, Yupeng & Wang, Xiaoyu & Tong, Liang & Yang, Rui & Shen, Boyang. (2023). Research on Multi-Objective Energy Efficiency Optimization Method of Ships Considering Carbon Tax. *Journal of Marine Science and Engineering*. 11. 82. 10.3390/jmse11010082.
7. Zhang, Zhonghao & Liu, Ding. (2021). A cost-benefit analysis of fuel-switching vs. use MGO: A CHINA-Europe container route case. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 831. 012008. 10.1088/1755-1315/831/1/012008.
8. Onishchenko, O., Golikov, V., Melnyk, O., Onyshchenko, S., Obertiur, K. Technical and operational measures to reduce greenhouse gas emissions and improve the environmental and energy efficiency of ships. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2022, 116, 223-235. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.116.14>.
9. Мельник О.М. Огляд основних механізмів управління енергоефективністю та контролю за викидами з морських суден. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2021. № 197. С. 121–129. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.197.2021.248314>.

**Melnyk O. M.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Navigation and Maritime Safety  
Odesa National Maritime University, Ukraine*

*E-mail: m.onmu@ukr.net*

**ORCID: 0000-0001-9228-8459**

## **ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY IMPACT ON THE SAFE OPERATION OF THE VESSEL**

### **Abstract**

*The growing interest in energy-efficient solutions in maritime shipping is driven by the need to reduce emissions of harmful substances and optimize fuel costs. The article is devoted to the assessment of the impact of energy efficiency on the safety of ship operation, the main aspects of ship energy efficiency and their impact on navigation safety are considered. The principles of energy efficiency are analyzed and methods for assessing the relationship between energy efficiency and ship safety are reviewed. The results of this study will contribute to the realization of the importance of energy efficiency measures in shipping and the development of strategies to improve the safety of ship operations.*

**Key words:** *energy efficiency, ship safety, ship operation, environmental impact, maritime transport, maneuverability, emergency situations, automation systems.*

### **References**

1. Jon, Min Hyok & Yu, Chung. (2023). Optimization of Ship Energy Efficiency Considering Navigational Environment and Safety. 10.1007/978-981-99-0373-3\_1.
2. Ren, Bin & Guan, Wanli & Zhou, Qinyu & Wang, Zilin. (2023). EEG-Based Driver Fatigue Monitoring within a Human–Ship–Environment System: Implications for Ship Braking Safety. *Sensors*. 23. 4644. 10.3390/s23104644.
3. Li, Junman & Hu, Yaan & Wang, Xin & Diao, Mingjun. (2023). Operation safety evaluation system of ship lock based on extension evaluation and combination weighting method. *Journal of Hydroinformatics*. 10.2166/hydro.2023.130.
4. Sun, Chao & Wang, Haiyan & Liu, Chao & Zhao, Ye. (2019). Dynamic Prediction and Optimization of Energy Efficiency Operational Index (EEOI) for an Operating Ship in Varying Environments. *Journal of Marine Science and Engineering*. 7. 402. 10.3390/jmse7110402.
5. Wang, Kai & Li, Jiayuan & Huang, Lianzhong & Ma, Ranqi & Jiang, Xiaoli & Yuan, Yupeng & Mwero, Ngome & Negenborn, R.R. & Sun, Peiting & Yan, X.. (2020). A novel method for joint optimization of the sailing route and speed considering multiple environmental factors for more energy efficient shipping. *Ocean Engineering*. 216. 107591. 10.1016/j.oceaneng.2020.107591.
6. Yuan, Yupeng & Wang, Xiaoyu & Tong, Liang & Yang, Rui & Shen, Boyang. (2023). Research on Multi-Objective Energy Efficiency Optimization Method of Ships Considering Carbon Tax. *Journal of Marine Science and Engineering*. 11. 82. 10.3390/jmse11010082.
7. Zhang, ZhongHao & Liu, Ding. (2021). A cost-benefit analysis of fuel-switching vs. use MGO: A CHINA-Europe container route case. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 831. 012008. 10.1088/1755-1315/831/1/012008.
8. Onishchenko, O., Golikov, V., Melnyk, O., Onyshchenko, S., Obertiur, K. Technical and operational measures to reduce greenhouse gas emissions and improve the environmental and energy efficiency of ships. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2022, 116, 223–235. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.116.14>.
9. Onyshchenko, C., Melnyk, O., Voloshyn, A., Kalinichenko, Ye., Zayats, C. (2021). Overview of the main mechanisms for energy efficiency management and emission control from ships. *Collection of scientific papers of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 197, 121–129. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.197.2021.248314>. [in Ukrainian].