

Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.І.

АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ У ВНУТРІШНЬОМУ ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

Виконано дослідження форм індексу енергоефективності з метою визначення їх подальшої трансформації для суден внутрішнього плавання в умовах реалізації концепції «енергетичного переходу» та досягнення цілей системи «еконавігації». Проведений аналіз факторів, що впливають на формування індексів енергоефективності, розглядаючи специфічні характеристики суден внутрішнього плавання. Одним із важливих висновків є можливість використання розподілу суден внутрішнього плавання на різні типи відповідно до їхніх експлуатаційних характеристик. Це дозволить застосовувати окремі форми показників енергоефективності для кожного типу судна. Такий підхід дозволяє визначити оптимальні форми індексів енергоефективності, що враховують конкретні потреби і характеристики різних типів суден внутрішнього плавання у залежності від умов їх технічної експлуатації та забезпечення навігаційних умов плавання.

Розглядається можливість визначення різних форм індексів енергоефективності, враховуючи рівні маркування викидів, пов'язаних з роботою двигунів суден внутрішнього плавання. Це означає, що індекси можуть враховувати екологічні параметри та ефективність судна як цілісної системи, що стимулює зниження викидів і підвищення його продуктивності. Крім того, врахування рівнів маркування викидів стимулює підвищення уваги до екологічних аспектів в процесі проектування та виробництва суден, сприяючи сталому розвитку внутрішнього водного транспорту. При подальшій трансформації можуть бути досліджені та розглянуті інші аспекти визначення форм індексів енергоефективності, такі як ефективність палива, використання альтернативних джерел енергії, а також вплив технологічних новацій на показники енергоефективності суден внутрішнього плавання. Це дозволить ще більш точно визначити оптимальні рішення для поліпшення ефективності і екологічної сталості цих суден. Результати даного дослідження можуть бути корисними для вчених та фахівців у галузі внутрішнього судноплавства для розробки ефективних стратегій та політик з питань зменшення викидів парникових газів та поліпшення енергоефективності суден.

Ключові слова: *дизельний двигун, шкідливі викиди, енергоефективність, внутрішнє плавання, паливна ефективність, еконавігація.*

Постановка проблеми. Процеси формування загальноєвропейських концепцій покращення екологічності, енергоефективності та привабливості внутрішнього водного транспорту (ВВТ) тривають та отримують нові пріоритетні визначення та форми. Численні документи спеціалізованих міжнародних організацій та генеруємих проектів відображають прагнення до підвищення стійкості та мобільності ВВТ при досягненні його кліматичної нейтральності, що є політичним пріоритетом як на національному, так й на міжнародному рівні.

Підвищення сталості та мобільності формується на базі забезпечення принципу «модального зсуву», який передбачає стійке перенесення з інших видів транспорту більшого обсягу вантажних перевезень на внутрішні водні шляхи, перегляд чинної та створення нової нормативної бази для розвитку ринку ВВТ.

Приведення ВВТ до кліматичної нейтральності, тобто до нульового рівню викидів парникових газів та «забруднюючих речовин», (по основних сценаріях до 2050 р.) припускається досягнути за допомогою комплексу заходів, які включають різні дії з модернізації флоту, переходу на альтернативні дизельному нові види палив і нових підходів до його технічної експлуатації, впровадження нових цифрових технологій до управління рухом флоту та стандартів підготовки фахівців флоту в системі стандартів «еконавігації». У проведених за останні роки масових дослідженнях проблеми досягнення кліматичної нейтральності також подовжується розгляд застосування принципів підвищення енергоефективності у внутрішньому судноплаванні у розумінні його смислу аналогічно прийнятому Міжнародною морською організацією ІМО [1].

Мета роботи. Проведення досліджень застосування принципу енергоефективності у комбінації з комплексом сформульованих задач по забезпеченню кліматичної нейтральності та забезпечення оптимальних режимів руху суден в умовах існуючої невизначеності впливу наслідків змін клімату на внутрішнє судноплавство.

Актуальність. Відповідно до оголошених цілей Паризької угоди (грудень 2015 р.), "Зеленого пакту для Європи" (*European Green Deal*) Європейської Комісії (ЄК), прийнятого в грудні 2019 р., та "Стратегії сталої та розумної мобільності" ЄК (грудень 2020 р.), визначені пріоритетні напрямки політики, серед яких стала мобільність та дії, які необхідно реалізувати для досягнення кліматичної нейтральності ВВТ до 2050 р. Так, на рівні Європейського Союзу (ЄС) виконані та подовжуються роботи зі створення основних нормативних і інформаційних робочих документів для постановки і розв'язання поставлених задач (План дій Європейської Комісії *NAIADES III*, COM (2021) 324 *final*, Директиви (ЄС) , 2017/1629, Стандарт *ES-TRIN* (2023), матеріали робочих груп *CESNI*, Регламент (ЄС) 2016/1628, підсумки проекту *GRENDL* (2018-2020 рр.), матеріали проекту *PLATINA 3*, дорожня карта Центральної комісії з судноплавства на Рейні (ЦКСР) зі зменшення викидів внутрішнього судноплавства [2]).

При цьому застосовано наступний розподіл на класи суден ВВТ відповідно до їхніх експлуатаційних характеристик «*fleet families*» (розроблено раніше у програмі *PROMINENT*, 2015-2018 р.р.), по яких оцінена застосовність різних технологій зниження викидів по наведених сценаріях:

- вантажні судна самохідні довжиною більше 110 м;
- самохідні танкери довжиною більше 110 м;
- вантажні судна самохідні довжиною 80-109 м;
- самохідні танкери довжиною більше 80-109 м;
- самохідні судна довжиною менше 80 м;
- штовхачі з силовою установкою потужністю менше 500 кВт;
- штовхачі з силовою установкою потужністю 500-2000 кВт;
- штовхачі з силовою установкою потужністю більше 2000 кВт;
- самохідне судно-штовхач (довжиною близько 95 м) в складі каравану з декількома баржами;
- пором;
- пасажирські судна з каютами (маються на увазі круїзні судна) довжиною більше 86 м;
- пасажирські судна для одноденних екскурсій та пасажирські судна з каютами довжиною менше 86 м.

Така масштабна активність досліджень з орієнтацією на найбільш розвинуте внутрішнє судноплавство поодинокими суднами може у найближчому майбутньому призвести до ускладнення для судновласників, особливо тих, які оперують великими караванами (до 15 тис.т) на великі дистанції, флот яких та умови роботи вкрай відрізняються від роботи самохідними суднами при цілорічній забезпеченості достатніх умов стабільності навігаційного фарватеру. Існує дуже великий ризик різкого впровадження однакових нормативних вимог як для усіх ВВШ Європи, так й для великих караванів, динаміка руху яких у значному ступеню відрізняється від самохідних поодиноких суден [1].

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Зменшення шкідливих викидів в атмосферу від судових двигунів та декарбонізація на внутрішніх водних шляхах є актуальною темою, яка формує основний напрям багатьох досліджень та публікацій, дослідницьких звітів та проектів, спрямованих на розвиток чистих технологій, використання альтернативних видів палива та вдосконалення енергетичної ефективності суден внутрішнього плавання [2–7, 11]. Автори зосереджуються на вивченні та розробці інноваційних рішень для зменшення викидів парникових газів та поліпшення енергоефективності у секторі внутрішнього водного транспорту.

У роботі [2] розглядаються різні методи оцінки енергоефективності та акцентується на тому, що при оцінці кривої потужності-швидкості як вхідного параметру, можна ввести вимірювання потужності двигуна в реальному часі під час навігації, а потім встановити обмежувач потужності двигуна. Обидва заходи можуть керувати та оптимізувати потужність двигуна в реальному часі з метою досягнення енергоефективності в межах обмежень під час навігації. Тому, для забезпечення надійних умов навігації, слід вимірювати досягнуту енергоефективність, а не розраховувати її. Також автори [2] роблять висновок, що запропонованими регулятивними заходами не вдасться сприяти розвитку технологій, що стосуються енергоефективності, у наступні роки. Проекти суден залишаються такими самими, як десятиліття тому. Це означає, що, згідно з результатами, більшість з них не потребує жодних покращень з точки зору енергоефективності. Однак, очевидним висновком є те, що методи оцінки енергоефективності суден на внутрішніх водних шляхах потребують гармонізації при вирішенні зазначених проблем. Уповноважені органи внутрішнього водного транспорту повинні надати більше "легкодоступних" рішень, подібних до тих, що використовуються у морській промисловості.

У роботі [3] порівнюються три конфігурації річкових конвоїв з точки зору їх транспортної потужності протягом навігаційного сезону, пропонуються конструктивні та експлуатаційні інновації для пристосування існуючого торговельного річкового флоту барж, побудованих в середині минулого століття і експлуатованих на річці Нижня Вісла, до ефективного судноплавства.

Опрацювання підходів до оцінки індексів енергоефективності, як до інструменту зменшення емісії CO₂ у внутрішньому судноплавстві знаходиться у фокусі роботи [5]. В [6] пропонується розглянути можливість створення в рамках PIANC Робочої групи (WG), яка була б спрямована на методологічні підходи в галузі декарбонізації внутрішнього водного транспорту, що перебувають на різних стадіях розвитку на міжнародному рівні. Ускладнюючим фактором зазначається те, що знання про декарбонізацію все ще знаходяться у стадії активного розвитку. В результаті може бути складно зібрати найкращі практики, оскільки вони постійно розвиваються і оновлюються.

Викладення основного матеріалу. При реалізації «енергетичного переходу» (переходу на такі види пального, які є альтернативними паливам викопного походження) для внутрішнього судноплавства основними задачами розглядається вчасна розробка та впровадження певних організаційних, технічних та соціальних заходів, які забезпечать перехід до нульового рівню шкідливих викидів судових двигунів по вже визначеним на сьогодні сценаріям, а саме:

- а) послідовне зменшення маси парникових газів, приведених до CO₂, в випускних газах двигунів в процесі руху суден,
- б) послідовне забезпечення виконання нормативних вимог зі скорочення (зменшення) рівню інших шкідливих викидів в випускних газах двигунів,
- в) підсумкове забезпечення переходу флоту на роботу з нульовими викидами парникових газів та інших шкідливих речовин.

В той же час представники бізнесу у внутрішньому судноплавстві бажають зберегти свою звичну ділову практику, що означає продовження поточних дій (*business-as-usual*, *BAU*). Причиною тому є високи витрати та тривала окупність масштабних проектів модернізації та впровадження інноваційних технологій. Для реалізації таких проектів потрібна зовнішня

фінансова підтримка, оскільки вони є коштовними та потребують тривалого часу для окупності. Це свідчить про відповідні труднощі та виклики, з якими стикаються учасники судноплавства при впровадженні змін та переході до більш сталого та екологічно чистого підходу. Тобто – з одного боку існують інноваційні розробки, проекти, технології, які можуть сприяти зникненню шкідливих викидів від роботи судових двигунів та допоміжних механізмів та привести їх до нульового рівню. З іншого боку існує судноплавний бізнес, якій оперує суднами на вкопному пальному, переживає при цьому тривалий складний період з жорсткою конкуренцією на ринку перевезень, та не готовий до реалізації проектів коштовних інновацій, ретрофітінгу та модернізації складу флоту.

Цей факт не залишається непомітним й певні кроки систематизації та оцінки можливості подальшого застосування в якості головних та допоміжних судових двигунів класичних двигунів внутрішнього згоряння викладені у Дорожній карті ЦКСР [7]. Також це є підставою стверджувати, що поки на ринку перевезень працюють судна з тепловими двигунами на вкопному пальному, актуальним залишиться пошук усіх можливих інструментів та індикаторів ефективної експлуатації, енергозбереження та зменшення шкідливого впливу на довкілля, для активного пошуку підходів до експлуатації нині існуючого флоту з мінімальними фінансовими вкладеннями, але при цьому з максимально можливим результатом щодо покращення екологічності. Таким може стати показник енергоефективності, адаптований для умов внутрішнього судноплавства [5].

Як вже зазначено, обговорення цього питання триває, але рух у напрямку розв'язання цього завдання є не дуже результативним та не пішов далеко від базового визначення індексів енергоефективності за методикою Міжнародної морської організації (ІМО) [1]. Але все ж такі певні трансформації можна зробити вже зараз, враховуючи досягнення на рівні європейських проектів та міжнародних організацій. До таких досягнень можна віднести пропозицію у [13] щодо *EEI*, який аналогічен експлуатаційному показнику ІМО (*EEOI*), також вимірюється у г $\text{CO}_2/\text{т км}$, та є питомою масою викидів CO_2 на транспортну роботу (тонно-кілометр дистанції руху судна). У подальшій програмі *PROMINENT* (2015–2018 р.р.) використовується той же аналог показника енергоефективності ІМО. У роботі [1] запропоновано інший, спрощений підхід:

$$EEDI = \frac{FC_j \cdot CF}{m \cdot dist}, \quad (1)$$

де FC_j – витрата пального на j -й частці внутрішнього водного шляху; CF – конверсійний фактор приведення шкідливих викидів до CO_2 ; m – маса вантажу, що перевозиться; $dist$ – дистанція, довжина даній частці.

Слід зазначити, що основні фактори впливу, зазначені у [11], застосовні також й для суден внутрішнього плавання, перш за все – для поодиноких суден, але у різному ступеню вагомості.

Пам'ятаючи, що початково індекс енергоефективності [9] являє собою співвідношення шкідливого впливу на навколишнє середовище та загальної користі, яку отримує спільнота:

$$EEI = \frac{\text{Вплив на навколишнє середовище}}{\text{Користь для спільноти}} \quad (2)$$

цілком зрозуміло, що обчислення показника енергоефективності має бути простим і придатним для широкого застосування, а сам показник має на меті сприяння зусиллям усіх учасників судноплавства щодо покращення ефективності використання пального та екологічності за умови розрізнення та порівняння проектних (*EEDI* – *Energy Efficiency Design Index* – проектний для нових суден), фактичних (*EEOI* – *Energy Efficiency Operational Index* – експлуатаційний; *EEXI* – *Energy Efficiency Index for Existing Ships* – для суден, побудованих та введених в експлуатацію до початку дії конвенційних вимог до енергоефективності) та

референтних значень. Такий підхід також стимулює постійний технічний розвиток усього обладнання та комплектуючих, що впливають на ефективність використання пального. Також у індексі енергоефективності Міжнародною морською організацією реалізована можливість відокремлення технічних та проектних заходів від операційних і комерційних.

Більш складна з відомих форм індексу енергоефективності [10] базується на властивостях логарифмічної функції, що дозволяє врахувати нелінійний характер зменшення витрати пального при зменшенні відношення змоченої поверхні корпусу судна до водомісткості:

$$EEDI = \frac{\log(CO_{2ref}/CO_2)}{(C \cdot \log(Dw) + B)} \quad (3)$$

де CO_{2ref} – еталонне значення викидів CO_2 для суден даного типу й розміру; CO_2 – фактичне значення викидів CO_2 для даного судна; Dw – дедвейт судна; C , B – коефіцієнти, які враховують вплив розмірних судна на його енергоефективність.

Логарифмічна залежність у знаменнику (3), у свою чергу, дозволяє врахувати нелінійний характер збільшення індексу енергоефективності, зокрема проектного $EEDI$, суден більших розмірних (судна більшої водомісткості та розмірних мають більш високі значення $EEDI$).

Чинна настанова з обчислення індексу енергоефективності морських суден [11], прийнята 79-ю сесією ІМО, містить вдосконалену формулу та оновлені роз'яснення до неї, серед яких, зокрема, роз'яснення щодо максимально допустимого відрахування через використання валогенератора та роз'яснення для забезпечення послідовного підходу при роботі в змінних географічних умовах з застосуванням кількох вантажних марок. Що стосується внутрішнього судноплавства, при обранні способів обчислення показників енергоефективності та технологій управління енергоефективністю, необхідно враховувати вплив змінних навігаційних умов (глибина, ширина фарватеру, наявність перекатів, вузьких місць тощо) як визначне в умовах їх абсолютної невизначеності. Крім того врахуванню підлягає вік судна, поточний технічний стан його енергетичної установки (СЕУ).

В рамках роботи проекту *PLATINA 3* [12] був запропонований новий механізм застосування системи маркування викидів від роботи двигунів суден внутрішнього плавання та визначені 5 рівнів. Така градація дозволяє реалізувати гнучкий підхід до оцінки енергоефективності з врахуванням як змінних навігаційних умов роботи суден внутрішнього плавання, так і його особливостей. Якщо до кожного рівня визначити свою форму індексу енергоефективності, то у загальному вигляді це може подано у табличній формі, див табл. 1.

Таблиця 1 – Відповідність рівнів системи маркування викидів та застосовної форми індексу енергоефективності

Рівень	Опис	Форма EEL
A	Враховує тільки роботу силової установки – двигуна – при русі судна	$EEL_A = \frac{FC \cdot CF}{m \cdot dist}$
B	Враховує роботу всіх основних перетворювачів енергії на борту судна	$EEL_B = \frac{(FC_{ME} + FC_{AE_1} + \dots + FC_{AE_n}) \cdot CF}{m \cdot dist}$
C	Враховує роботу судна в цілому, включаючи його гідродинаміку, для визначених умов експлуатації	$EEL_C = \frac{R \cdot v \cdot SFC \cdot CF}{m \cdot dist}$
D	Враховує експлуатаційні показники, включаючи швидкість руху судна, загальну кількість рейсів, періоді плавання в баласті	$EEL_D = \frac{\sum P_e \cdot \sum SFC_i \cdot CF}{m \cdot v}$

Е	Враховує переваги мультимодальних перевезень	$EEI_E = \sum_{i=1}^n EEI_i$
---	--	------------------------------

Форма індексу енергоефективності у таблиці адаптована під рівні маркування наступним чином.

Рівень А – передбачається врахування виключно характеристик витрати пального головного судновою енергетичною установкою.

Рівень В – враховуються характеристики витрати пального усього суднового енергетичного обладнання (головної силової установки – індекс ME , допоміжних силових установок, насосів, систем опалення та охолодження тощо – індекси $AE_1 \dots AE_n$).

Рівень С – характеристики гідродинаміки враховуються через буксирувальну потужність.

Рівень D – комплексний показник за певний період роботи судна (наприклад, за календарний рік), в якому R – опір води руху судна, v – швидкість судна, SFC – питома витрата палива, P_e – корисна тяга.

Рівень Е («від дверей-до дверей»), визначаючи попередній / кінцевий пункти перевезення вантажів, враховуються усі етапи доставки вантажу від початкового до кінцевого пункту для усіх видів транспорту, що задіяні у даному перевезенні.

Рівні В, С, D найбільш повно відображають екологічні показники та ступінь енергоефективності роботи судна. При цьому рівень В може бути застосованим на всіх судах ВВТ оскільки всі необхідні вихідні дані для розрахунку викидів саме по цьому рівню можуть бути визначені по фактичним характеристикам (дані про споживання енергії, типу енергії, викидах парникових газів тощо).

Суть та цілі впровадження системи маркування викидів во внутрішньому судноплавстві полягають у наступному:

- диференціювати флот в межах певного класу (самоходні поодинокі судна, штовхачі, тощо) шляхом визначення показників від усіх силових перетворювачів енергії на борту;
- попередньо оцінити енергоефективність (викиди, приведені до CO_2) конкретних типів суден внутрішнього плавання з врахуванням того, як вони спроектовані / побудовані, а також з врахуванням ймовірних умов експлуатації;
- представити теоретичні характеристики енергоефективності і викидів конкретного судна на основі змодельованих умов плавання (з урахуванням конкретного водного шляху і типу судна), оптимізувати, зокрема, конструкцію корпусу та гребного гвинта для передбачуваного району плавання та реальних умов експлуатації;
- оцінити рівень експлуатаційних викидів парникових газів від двигунів суден внутрішнього плавання з урахуванням розрахунків вуглецевого сліду в логістичній схемі перевезень та зіставити ці показники з іншими видами транспорту (на базі підходу, який застосовується GLEC – Глобальна рада з викидів в логістиці).

Даний інструмент може бути застосований до вантажних суден та суден-штовхачів великовантажних караванів, а також до спеціалізованого флоту (наприклад, днопоглиблювальних, гідрографічних суден і поромів).

При цьому доцільним вважається можливість застосування EEI у варіантах як операційного $EEOI$, так й конструктивного $EEDI$, аналогічних IMO , але для умов плавання на ВВШ, які пропонуються у дослідженнях, що проводяться у рамках програми *PLATINA 3* [12]:

- проектного для внутрішнього судноплавства $EEDI_{inland}$;
- експлуатаційного для внутрішнього судноплавства $EEOI_{inland}$, але в трансформованому варіанті, з новим фізичним смислом (без приведення до CO_2).

Враховуючи попередній досвід досліджень питань енергоефективності, для рівнів маркування С та D пропонується низка організаційних та технічних рішень не тільки для нового флоту, але й для існуючого флоту, який вже знаходиться в експлуатації.

На рівні менеджменту судноплавних компаній ці рішення містяться у наступному:

- у визначенні раціональних інтервалів руху та орієнтовної швидкості судна для забезпечення приходу «точно у строк» з забезпеченням економічних режимів руху з урахуванням прогнозованої навігаційної обстановки при плануванні рейсів;
- у зниженні частки баластних переходів впродовж рейсу;
- у забезпеченні належного стану пропульсивного комплексу (регулярне доковання та технічне обслуговування двигунів);
- у можливому застосуванні експлуатаційного індексу енергоефективності в процесі експлуатації судна.

На операційному рівні (рівні судноводіння) це має забезпечуватись:

- вибором безпечної та економічної по витраті пального швидкості руху судна (каравана);
- оптимізацією форми состава;
- врахуванням поточних навігаційних умов (проходження критичних частин, поточні глибини суднового ходу, вітрові та хвильові навантаження тощо).

При будівництві нових суден у нових підходах до конструкції це забезпечується:

- оптимізацією обводів корпусу судна, застосуванням спеціальних спрямовуючих потоку обтікання в кормовій частині корпусу судна, збільшенням діаметру гвинтів, розміщенням гвинтів в насадках тощо, що дозволяє покращити показники енергоефективності на 5-10%, застосуванням високоекономічних двигунів у складі суднової енергетичної установки з глибокою утилізацією вторинних джерел тепла;
- можливим застосуванням конструктивного індексу енергоефективності при проектуванні судна $EEDI_{inland}$.

Перехід до еконавігації як по консервативному, так й по інноваційному сценаріям, має підтримуватись відповідними заходами щодо усіх складових безпечного судноплавства, а саме:

- належного утримання суднового ходу з боку національних адміністрацій водних шляхів ініціюванням і реалізацією нових гідротехнічних проектів з метою створення сталих та збалансованих умов судноплавства;
- забезпечення безпеки судноплавства та умов для безперешкодних перевезень по європейському транспортному коридору *TEN-T* Рейн-Дунай через усунення надлишкових адміністративних перевірок та бар'єрів;
- вдосконалення професійної підготовки судноводіїв (Директива (ЄС) 2017/2397) для внутрішніх водних шляхів Європи (компетенції по еконавігації) з акцентом на повноцінне використання річкових інформаційних служб РІС при операційнім управлінні (рівень судноводіння);
- введення в судноплавних компаніях на рівні менеджменту системи моніторингу енергоефективності та екологічної безпеки за рахунок активного використання інформації від сучасних систем РІС для прогнозування руху при рейсовому плануванні (швидкості руху, форми караванів тощо) та стеження за поточним рухом суден;
- цифровізації технологічних та адміністративних процесів управління рухом флоту;
- екологізації дунайських портів та створення інфраструктури забезпечення флоту альтернативними видами пального.

Висновки. Досліджено форми індексу енергоефективності з метою визначення можливості їх подальшої трансформації. Виконано аналіз факторів, які впливатимуть на форму індексів енергоефективності для суден внутрішнього плавання. Визначена можливість застосування прийнятого розподілу суден внутрішнього плавання на типи «*fleet families*» згідно з їхніми експлуатаційними характеристиками для застосування окремих форм показників енергоефективності. При цьому також можливим вважається й визначення різних форм індексів енергоефективності з урахуванням рівнів маркування викидів від роботи двигунів суден внутрішнього плавання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Suvorov P. Restrictive factors in the evaluation of the inland pushers' energy efficiency with heavy convoys. *Automation of ship technical facilities*. 2020. Т. 26, № 1. С. 94–109. URL: <https://doi.org/10.31653/1819-3293-2020-1-26-94-109> (дата звернення: 18.06.2023).
2. Kalajdžić M., Vasilev M., Momčilović N. Evaluating an Inland Waterway Cargo Vessel's Energy Efficiency Indices. *Polish Maritime Research*. 2022. Т. 29, № 2. С. 27–34. URL: <https://doi.org/10.2478/pomr-2022-0014> (дата звернення: 18.06.2023).
3. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z. Design and Operational Innovations in Adapting the Existing Merchant River Fleet to Cost-Effective Shipping. *Polish Maritime Research*. 2019. Т. 26, № 4. С. 157–164. URL: <https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0078> (дата звернення: 18.06.2023).
4. European Commission: Energy efficiency first: a guiding principle of the european energy and climate governance [Website]. Available from: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-first-principle_en [Viewed 24 May 2023]
5. Pauli, G. та Ley, J. Energy efficiency indices for carbon foot printing and as instrument for CO2-emission reduction of inland vessels [Online]. Berlin: Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. [Viewed 16 May 2023]. Available from: https://platina3.eu/download/gernot-pauli-and-jens-ley-on-energy-efficiency-indices-as-an-instrument-for-the-reduction-of-co2-emissions-of-inland-vessels/?ind=0&filename=PLATINA3_session+4_pauli_ley_energy_index.pdf&wpdmdl=391&refresh=642c2a489dd681680616008&open=1
6. Van Koningsveld, M., Pauli, G. Presenting the Work of PIANC TG234 “Infrastructure for the Decarbonisation of IWT”. In: Li, Y., Hu, Y., Rigo, P., Lefler, F.E., Zhao, G. (eds) *Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022*. PIANC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 264. Springer, Singapore. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_11.
7. CCNR ROADMAP for reducing inland navigation emissions. *Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR)*. 2022. URL: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Roadmap/Roadmap_en.pdf (дата звернення: 04.04.2023).
8. Суворов П. С. Оцінка енергоефективності для умов навігаційних невизначеностей у внутрішньому судноплавстві. *Автоматизація судових технічних засобів*. Одеса: НУ «ОМА», 2019. Вип. 25. С. 90 - 100. Режим доступу: <http://ast.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/astf-2019-1-25-90-100.pdf> (дата звернення: 20.05.2023).
9. Implementing Energy Efficiency Design Index (EEDI) [Online]. Powai, Mumbai: Indian Register of Shipping. 13 p. [Viewed 16 May 2023]. Available from: <https://www.irclass.org/media/2368/energy-efficiency-design-index.pdf>
10. International Maritime Organization, (2018). 2018 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC.308(73) [Online]. 38 p. [Viewed 23 May 2023]. Available from: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308\(73\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308(73).pdf)
11. International Maritime Organization, (2022). 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC.364(79). [Online]. 39 p. [Viewed 23 May 2023]. Available from: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364\(79\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364(79).pdf)
12. Platform for the implementation of a future inland navigation action programme PLATINA 3 [Website]. PLATINA 3. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://platina3.eu/download/5th-stage-all-presentations-and-agenda/>
13. Innovative Danube Vessel. Main Project results. [Online]. 63 p. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://dokumen.tips/documents/innovative-danube-vessel-main-project-results.html?page=1>

REFERENCES

1. Suvorov, P. S., Tarasenko, T. V. and Zalozh, V. I., (2020). Restrictive factors in the evaluation of the inland pushers' energy efficiency with heavy convoys. *Automation of ship technical facilities* [Online]. 26(1), p. 94–109. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://doi.org/10.31653/1819-3293-2020-1-26-94-109>
2. Kalajdžić, M., Vasilev, M. & Momčilović, N. (2022). Evaluating an Inland Waterway Cargo Vessel's Energy Efficiency Indices. *Polish Maritime Research*, 29(2), p. 27-34. <https://doi.org/10.2478/pomr-2022-0014>
3. Abramowicz-Gerigk, T. & Burciu, Z. (2019). Design and Operational Innovations in Adapting the Existing Merchant River Fleet to Cost-Effective Shipping. *Polish Maritime Research*, 26(4), p. 157-164. <https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0078>
4. European Commission: Energy efficiency first: a guiding principle of the European energy and climate governance [Website]. Available from: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-first-principle_en [Viewed 24 May 2023]
5. Pauli, G. and Ley, J. Energy efficiency indices for carbon footprinting and as instrument for CO₂-emission reduction of inland vessels [Online]. Berlin: Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. [Viewed 16 May 2023]. Available from: https://platina3.eu/download/gernot-pauli-and-jens-ley-on-energy-efficiency-indices-as-an-instrument-for-the-reduction-of-co2-emissions-of-inland-vessels/?ind=0&filename=PLATINA3_session+4_pauli_ley_energy_index.pdf&wpdmdl=391&refresh=642c2a489dd681680616008&open=1
6. Van Koningsveld, M., Pauli, G. (2023). Presenting the Work of PIANC TG234 “Infrastructure for the Decarbonisation of IWT”. In: Li, Y., Hu, Y., Rigo, P., Lefler, F.E., Zhao, G. (eds) *Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022. PIANC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 264. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_11
7. CCNR Roadmap for reducing inland navigation emissions [online], (2022). France: Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR), Strasbourg Cedex. [Viewed 4 April 2023]. Available from: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Roadmap/Roadmap_en.pdf
8. Suvorov, P. S., Tarasenko, T. V. and Zalozh, V. I., (2019) Otsinka enerhoefektyvnosti dlya umov navihatsiynykh nevyznachenostey u vnutrishn'omu sudnoplavstvi. *Avtomatyzatsiya sudnovykh tekhnichnykh zasobiv*. 25, p. 90 - 100. [Viewed 20 May 2023]. Available from: <http://ast.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/astf-2019-1-25-90-100.pdf>.
9. Implementing Energy Efficiency Design Index (EEDI) [Online]. Powai, Mumbai: Indian Register of Shipping. 13 p. [Viewed 16 May 2023]. Available from: <https://www.irclass.org/media/2368/energy-efficiency-design-index.pdf>
10. International Maritime Organization, (2018). 2018 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC.308(73) [Online]. 38 p. [Viewed 23 May 2023]. Available from: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308\(73\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308(73).pdf)
11. International Maritime Organization, (2022). 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC.364(79). [Online]. 39 p. [Viewed 23 May 2023]. Available from: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364\(79\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364(79).pdf)
12. Platform for the implementation of a future inland navigation action programme PLATINA 3 [Website]. PLATINA 3. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://platina3.eu/download/5th-stage-all-presentations-and-agenda/>
13. Innovative Danube Vessel. Main Project results. [Online]. 63 p. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://dokumen.tips/documents/innovative-danube-vessel-main-project-results.htm?l?&page=1>

P. Suvorov, T. Tarasenko, V. Zalozh

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT TRANSFORMATION IN THE CONDITIONS OF ENERGY TRANSITION IN INLAND WATER TRANSPORT

A study has been conducted on the forms of energy efficiency indices with the aim of determining their further transformation for inland waterway vessels in the context of implementing the "energy transition" concept and achieving the goals of the "ecological navigation" system. An analysis of factors influencing the formation of energy efficiency indices has been carried out, taking into account the specific characteristics of inland waterway vessels. One of the important conclusions is the possibility of utilizing the distribution of inland waterway vessels into different types based on their operational characteristics. This enables the application of specific forms of energy efficiency indicators for each type of vessel.

This approach allows for the identification of optimal forms of energy efficiency indices that consider the specific needs and characteristics of different types of inland waterway vessels, depending on the conditions of their technical operation and navigation requirements.

The possibility of determining different forms of energy efficiency indices, taking into account emission labeling levels associated with the operation of the vessel's engines, is also being considered. This means that the indices can incorporate environmental parameters and the vessel's overall system efficiency, thereby promoting emission reduction and increased productivity. Furthermore, the consideration of emission labeling levels stimulates greater attention to environmental aspects in the design and production processes of vessels, contributing to the sustainable development of inland waterway transportation.

In further research, other aspects of defining forms of energy efficiency indices could be investigated and examined, such as fuel efficiency, the use of alternative energy sources, and the impact of technological innovations on energy efficiency indicators for inland waterway vessels. This would allow for even more precise identification of optimal solutions to enhance efficiency and environmental sustainability of these vessels.

The results of this study can be valuable for scientists and experts in the field of inland waterway transportation in developing effective strategies and policies to reduce greenhouse gas emissions and improve energy efficiency of vessels.

Keywords: diesel engine, harmful emissions, energy efficiency, inland navigation, fuel efficiency, econavigation