

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

ТАРАСЕНКО ТЕТЯНА ВЛАДИСЛАВІВНА

УДК 656.6-042.5/.8:502/504

**РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЦІНКИ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РУХУ СУДЕН У
ВНУТРІШНЬОМУ СУДНОПЛАВСТВІ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт
засобів транспорту

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2026

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дунайському інституті Національного університету «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України. Робота виконана самостійно.

Офіційні опоненти:

Грицук Ігор Валерійович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Національного університету «Чернігівська політехніка»

Фомін Олексій Вікторович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри вагонів та вагонного господарства Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України

Шумило Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету

Захист відбудеться 15 жовтня 2026 р. об 10-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8.

Захист транслюватиметься на YouTube-каналі Спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Одеська морська академія» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8., та за електронною адресою <http://onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy#>

Реферат розісланий 12 жовтня 2026 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01,
д. т. н., професор



В. В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми та актуальність дослідження. Упродовж останнього десятиріччя внутрішній водний транспорт розглядається в Європі та світі як один з ключових елементів стратегії декарбонізації транспортної системи. Це пов'язано з відносно низькими питомими енерговитратами та викидами на одиницю транспортної роботи в порівнянні з автомобільним і, частково, залізничним транспортом, а також із наявністю значних резервів для оптимізації експлуатації суден та оновлення флоту. Водночас реалізація цього потенціалу потребує розробки сучасних підходів до оцінки енергоефективності, які б відповідали новим технологічним і регуляторним вимогам, зокрема в частині внутрішніх водних шляхів Європи, до яких належить і Дунай.

Одним з базових трендів є посилення міжнародної та національної політики щодо скорочення викидів парникових газів та забруднювачів від внутрішнього водного транспорту. Органи ООН та європейські структури ухвалюють стратегії «зеленого» внутрішнього транспорту, де внутрішні водні шляхи прямо визначені як пріоритетний сегмент для зниження вуглецевої інтенсивності перевезень. Для Дунайського басейну показовим є проведення спільних заходів Дунайської Комісії (ДК) та відповідальних структур Стратегії ЄС для Дунайського регіону, зокрема семінару «*Roadmap and actions towards zero-emission Danube fleet*», присвяченого виробленню спільної стратегії та дорожньої карти декарбонізації дунайського флоту. На таких майданчиках обговорюються регуляторні вимоги до скорочення викидів CO₂ у внутрішньому судноплаванні, включаючи імплементацію оновленої Директиви ЄС з відновлюваної енергетики (RED III) та інших інструментів «зеленого курсу». Це формує нормативний та організаційний контекст, у якому питання оцінки енергоефективності руху суден набуває не лише технічного, а й стратегічного значення.

Другим важливим напрямом є впровадження альтернативних видів палива та нових енергетичних технологій. У Європі та Китаї активно реалізуються проекти, пов'язані з використанням зрідженого природного газу, метанолу, водню, а також електричних і гібридних енергетичних установок на внутрішніх водних шляхах. Окремим прикладом є європейський інвестиційний проєкт з енергетичного переходу у внутрішньому водному судноплаванні, спрямований на розгортання повністю електричного, нуль-викидного флоту: передбачається введення в експлуатацію 45 повністю електричних суден, 75 модульних енергетичних контейнерів та 14 пунктів заряджання у внутрішніх водних портах. Частина суден вже працює на регулярних лініях, що демонструє практичну реалізованість таких рішень у реальних умовах експлуатації. У низці регіонів уже експлуатуються флотилії LNG та електричних суден, а також тестуються модульні батарейні системи й інші рішення, що передбачають різке зниження або повну відмову від традиційних дизельних двигунів. Для таких суден традиційні показники, засновані лише на витраті дизельного палива, стають недостатніми, що актуалізує потребу в нових або адаптованих методиках оцінки енергоефективності.

Для Дунайського регіону характерним є поєднання необхідності модернізації переважно вікового флоту з економічними обмеженнями судноплавних компаній. У

матеріалах Дунайської Комісії підкреслюється, що модернізація дунайського флоту має відбуватися з урахуванням реальних економічних можливостей судновласників та специфіки експлуатаційних профілів суден. Зокрема, в рамках обговорення дорожньої карти для Дунаю увага приділяється використанню гідрогенізованих рослинних олій (*HVO*) як економічно перспективного коротко- та середньострокового рішення для істотного скорочення викидів CO_2 , особливо для штовхачів та складів, що працюють на великих дистанціях. Пропонується комбінувати впровадження таких «*drop-in*» біопалив із поетапним переходом до більш радикальних технологій (*LNG*, водень, електрифікація), що відповідає реаліям дунайського флоту. У цьому контексті особливої уваги набувають судна, що відіграють ключову роль у вантажних перевезеннях на Дунаї, зокрема штовхачі з караванами несамохідних барж.

Наступний суттєвий тренд – перехід від домінування конструктивно-технічних рішень до комплексної експлуатаційної оптимізації. Сучасні дослідження показують, що зміна профілів швидкості, графіків руху, організації роботи на шлюзах і вузьких ділянках, а також узгодженість дій судноводіїв та диспетчерів можуть забезпечити істотне зниження витрат палива без негайних великих капіталовкладень у модернізацію корпусу або головних енергетичних установок. Для внутрішнього водного транспорту активно розвиваються підходи, що спираються на аналіз експлуатаційних даних (рейси, завантаження, режими роботи двигунів) та використання цифрових інструментів підтримки прийняття рішень щодо вибору оптимальних режимів руху. Такі підходи безпосередньо пов'язані з потребою в адекватних показниках енергоефективності, чутливих до навігаційних та експлуатаційних умов рейсу.

Цифровізація внутрішнього водного транспорту, включаючи Дунай, веде до широкого використання навігаційних інформаційних систем, даних *AIS*, метео- та гідрологічних сервісів, а також інтегрованих систем планування й моніторингу перевезень. У завданнях, пов'язаних із дорожньою картою до нульових викидів дунайського флоту, акцент робиться на тому, що технічні рішення щодо суден повинні оцінюватися з урахуванням реальних експлуатаційних профілів, отриманих за допомогою сучасних інформаційних систем та даних про роботу флоту. Це створює запит практики для побудови більш точних і динамічних моделей енергоспоживання суден, які враховують реальні профілі руху, умови плавання, конфігурації караванів і режими роботи енергетичних установок. Відповідно, одним із ключових запитів галузі стає розробка методів оцінки енергоефективності, придатних до інтеграції з цифровими платформами управління флотом і здатних підтримувати експлуатаційну оптимізацію в реальному або близькому до реального часу.

З позицій ринкової кон'юнктури та перспектив, внутрішній водний транспорт Європи, включно з дунайським сегментом, розглядається як один з основних «бенефіціарів» енергетичного переходу. Аналітичні огляди ринку підкреслюють, що енергетичний перехід формує нові вантажопотоки, зокрема пов'язані з перевезенням енергетичної сировини та компонентів відновлюваної енергетики, для яких внутрішні водні шляхи мають конкурентні переваги саме завдяки енергоефективності та можливості масштабування перевезень. Це додатково посилює вимоги до обґрунтованих, прозорих і порівнюваних показників енергоефективності, які можна застосовувати для оцінки та планування розвитку флоту, у тому числі дунайського.

Зазначені глобальні й регіональні тенденції відбиваються в спеціалізованих ініціативах, спрямованих на підвищення енергоефективності саме дунайського флоту. Проекти на кшталт *GRENDEL*, а також розроблювані дорожні карти модернізації флоту Дунаю, фокусуються на поєднанні технічної модернізації суден (оновлення корпусів, енергетичних установок, впровадження альтернативних палив) із удосконаленням методів оцінки їх енергетичної ефективності в реальних умовах експлуатації. При цьому особливо підкреслюється необхідність адаптації підходів до оцінки енергоефективності до специфіки штовхачів з караванами барж, які формують основу вантажних перевезень на Дунаї, а також урахування складних навігаційних умов різних ділянок ріки.

Сучасні тренди розвитку енергоефективного внутрішнього водного транспорту та дунайського судноплавства характеризуються поєднанням жорсткіших екологічних вимог, технологічних інновацій (альтернативні палива, гібридні й електричні установки), експлуатаційної оптимізації й цифровізації процесів управління флотом. У цих умовах особливо **актуальним** є розробка науково обґрунтованого способу оцінки енергоефективності руху суден, якій враховує реальні навігаційні й експлуатаційні умови Дунаю, зокрема для штовхачів з караванами несамохідних барж, що й визначає науковий та прикладний інтерес теми дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано відповідно до основних положень «Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» (постанова Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550) та відповідає пріоритетним тематичним напрямкам наукових досліджень в розділі «Енергетика та енергоефективність», затверджених постановою Кабінету Міністрів України № 463 від 9 травня 2023 р.

Дисертаційна робота пов'язана з тематиками досліджень кафедри інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» та спрямована на розробку способу оцінки енергоефективності руху суден у внутрішньому судноплаванні. Наведені в дисертації матеріали узагальнюють результати досліджень, виконаних автором у рамках науково-дослідних робіт «Підвищення енергоефективності у судноплаванні» (Державний реєстраційний номер: 0118U007606) та «Підвищення ефективності експлуатації морських суден та суден внутрішнього плавання» (Державний реєстраційний номер: 0123U101516) в якості керівника обох НДР та співвиконавця розділів, присвячених енергоефективності у морському та внутрішньому судноплаванні, методам параметричної діагностики транспортних двигунів.

Науково-прикладною проблемою, яка вирішується в дисертаційній роботі, є необхідність створення теоретичних та методологічних засад для принципово нового способу оцінки енергоефективності суден внутрішнього водного транспорту, зокрема штовхачів з караванами несамохідних барж на Дунаї. Існуючі методи або запозичують підходи для морських суден, або враховують обмежену кількість експлуатаційних і навігаційних факторів (глибина, течія, завантаження, конфігурація каравану), що призводить до неточної або суперечливої оцінки реальної енергоефективності руху по різних ділянках від Кельхайму до Чорного моря.

Зазначена проблема є частиною глобальної науково-прикладної проблеми, яка

полягає у забезпеченні безпечного судноплавства, підвищенні ефективності використання палива на судах та зменшенні шкідливого впливу на довкілля при експлуатації флоту. Основним науковим протиріччям є суперечність між необхідністю ефективного використання палива, екологічністю, навігаційними обмеженнями на внутрішніх водних шляхах, енергоспоживанням та рівнем доступних параметрів.

Розроблені в дисертації методи дозволяють підвищити ефективність використання палива та внормувати показники енергоефективності з метою виведення питань енергоефективності на внутрішніх водних шляхах на контрольований рівень.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає у розробленні науково обґрунтованого способу оцінки енергоефективності руху суден внутрішнього судноплавства (самохідних суден і штовхачів з караванами несамохідних барж) у змінних навігаційних та експлуатаційних умовах, придатного для використання в задачах управління енергоефективністю флоту та гармонізованого з регуляторними вимогами ЄС.

Досягнення мети пов'язане з комплексним розв'язанням наступних задач наукового дослідження.

- аналіз сучасних методів оцінки енергоефективності суден внутрішнього водного транспорту та придатність індексів на основі *IMO EEDI / EEOI* до умов дунайського судноплавства;

- дослідження навігаційних та експлуатаційних особливостей судноплавного Дунаю від Кельхайму до Чорного моря, що впливають на енергоефективність руху штовхачів із караванами барж (глибини, течії, гідротехнічні споруди, обмеження швидкості, конфігурації караванів);

- формування та обґрунтування системи показників і факторів, які мають бути враховані у способі оцінки енергоефективності (кількість палива/тонно-кілометр, викиди, швидкість, профіль рейсу, параметри каравану, режими роботи ГЕУ тощо);

- розробка математичної моделі (або комплексу моделей) енергоспоживання та енергоефективності руху штовхачів з караванами несамохідних барж в умовах різних ділянок Дунаю, з урахуванням обмежень по глибині, течії, завантаженню та складу каравану;

- пропозиція способу оцінки енергоефективності руху штовхачів з караванами барж, придатного для використання в експлуатаційній практиці (алгоритм, критерії, індикатори, рекомендації з вибору режимів руху та конфігурації караванів);

- валідація запропонованого способу на реальних або типовим чином змодельованих експлуатаційних даних дунайських штовхачів з караванами барж, оцінити досягнутий ефект щодо зниження витрат палива та викидів при різних сценаріях експлуатаційної оптимізації;

- розробка науково обґрунтованих практичних рекомендацій для судноплавних компаній та органів управління флотом Дунаю щодо підвищення енергоефективності експлуатації штовхачів з караванами несамохідних барж.

Виходячи з цього сформовані 4 головні задачі та допоміжні задачі, вказані у технологічній карті дослідження.

Об'єктом дослідження є процес руху та експлуатації суден внутрішнього судноплавства – самохідних суден (окремо та у складі караванів барж) і штовхачів з караванами несамохідних барж у системі дунайського судноплавства.

Предметом дослідження є параметри та взаємозв'язки, що визначають енергоефективність руху суден внутрішнього судноплавства – самохідних суден (як поодиноких, так і у складі караванів), а також штовхачів з караванами несамохідних барж на різних ділянках Дунаю (швидкість, завантаження, конфігурація каравану, глибина, течія, режими роботи суднової пропульсивної установки тощо) – та спосіб її оцінки для цілей експлуатаційної оптимізації та подальшого нормування.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів. Теоретичні узагальнення спираються на методи аналізу, систематизації, порівняння та класифікації – для критичного огляду регуляторних документів і наукової літератури та впорядкування показників енергоефективності. Дослідження факторів енергоефективності виконано методами системного аналізу, декомпозиції рейсу за етапами та статистичної обробки експлуатаційних даних. Математичну модель і спосіб оцінки побудовано методами математичного моделювання й дискретизації інтегральних показників, гідродинамічного аналізу опору та потрібної потужності, параметричної діагностики робочого процесу суднових двигунів (аналітична синхронізація), імовірнісного моделювання методом Монте-Карло з аналізом чутливості за коефіцієнтами рангової кореляції Спірмена, авторегресійного моделювання (AR(1)) рядів рівнів води, кореляційного та ієрархічного кластерного аналізу (UPGMA) і регресійного аналізу. Перевірку способу здійснено шляхом апробації на масиві реальних рейсів, порівняння з існуючими методиками (EEOI) та даними Європейського агентства з довкілля (EEA), сценарного аналізу й оцінювання невизначеності за рекомендаціями GUM. Обробку відкритих гідрологічних даних Дунайської Комісії (вибірку добових рівнів води за 2005–2020 рр.) виконано власним програмним парсером мовою *Python*; математичне моделювання та програмну реалізацію способу – у середовищі *MS Excel*; візуалізацію – засобами *MS Excel* та *Inkscape*.

Наукова новизна отриманих результатів, які захищає автор, полягає у наступному.

Вперше:

– розроблено спосіб оцінки енергоефективності руху суден внутрішнього судноплавства, що ґрунтується на показнику типу *EEOI* та адаптує його для врахування змінних мілководних умов руху караванів шляхом гідрологічного нормування транспортної роботи через коефіцієнт мілководного опору k_H і, на відміну від орієнтованих на морські судна та стаціонарні умови індексів *EEDI*, *EECI*, *EEOI*, *EEDI_{Binnen}*, забезпечує нормовану й порівнянну оцінку рейсів за змінного складу каравану та змінних гідрологічних умов Дунаю;

– запропоновано посегментно-дискретну форму показника енергоефективності з декомпозицією рейсу за якісно різними етапами (рух у повному складі каравану, проводка, маневрування, шлюзування) та врахуванням режиму провідок множителем $(2N - 1)$, що усуває математичну невизначеність стандартного показника *EEOI* при нульовій транспортній роботі на окремих етапах рейсу;

– побудовано імовірнісно-прогностичне розширення оцінки

енергоефективності, яке поєднує Монте-Карло симуляцію рейсу з авторегресійним прогнозом (AR(1)) рівнів води Дунаю й перетворює показник з детермінованої величини на випадкову з визначеними розподілом, імовірнісним інтервалом та ймовірністю перевищення цільового рівня; кількісно встановлено, що врахування оперативних гідрологічних даних звужує імовірнісний інтервал прогнозу приблизно на 22 %;

– розроблено систему алгоритмів обґрунтування експлуатаційних рішень із чотирма класами типових рішень (корекція швидкісного профілю, вибір конфігурації каравану, еко-швидкість на мілководді, технічне обслуговування ГЕУ) та явними кількісними критеріями активації, інтегровану з параметричною діагностикою робочого процесу головних двигунів (зв'язок « $\delta SFC > 1,10 \rightarrow$ активація класу 4 $\rightarrow$ діагностика $\rightarrow$ виявлення дефектів»).

Удосконалено:

– модель гідродинамічного опору й потрібної потужності руху штовхача з караваном у дунайських умовах – уведенням модифікованого формфактора мілководдя $1 + k^*$ та виокремленням пропульсивного ККД η_{prop} як самостійної стохастичної компоненти (коефіцієнт варіації близько 5 %), що раніше враховувався неявно у складі узагальненого коефіцієнта опору;

Отримало подальший розвиток:

– теоретичні уявлення про енергоефективність руху суден внутрішнього судноплавства – через урахування спільного впливу складу каравану, гідрологічних умов мілководних ділянок і профілю режимів роботи ГЕУ на енергоспоживання та вуглецеву інтенсивність, а також через статистичну характеристику гідрологічного режиму Дунаю (зростання коефіцієнта авторегресії φ від 0,90 до 0,99 вздовж течії, кластерна кореляційна структура постів) за масивом 265798 добових записів 71 водомірного поста;

– метод параметричної діагностики робочого процесу суднових двигунів (аналітична синхронізація) – поширенням його на опосередковане визначення ефективної потужності ГЕУ та діагностику технічного стану двигунів за відносним показником δSFC в умовах, коли пряме вимірювання опору й потужності на штовхачах неможливе;

– спосіб оцінки енергоефективності в частині поширення за межі вантажного сегмента – адаптацією показника до пасажирських суден через перевизначення транспортної роботи в пасажиро-кілометрах (показник $EE_{рах}$, формула (5.5)) та застосуванням способу до кількісної оцінки ефекту модального зсуву в зіставленні з даними EEA .

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблений спосіб та його програмна реалізація доведені до рівня інструмента, придатного для безпосереднього використання в експлуатаційній і управлінській практиці підприємств внутрішнього водного транспорту. Зокрема, одержані результати дають змогу:

– здійснювати оперативну оцінку та порівняльний аналіз енергоефективності рейсів самохідних суден з караванами барж за змінного складу каравану й змінних гідрологічних умов, виявляти резерви зниження витрати палива (до 14,5–16,3 % на

проаналізованому масиві рейсів) та обґрунтовувати експлуатаційні рішення щодо швидкісного режиму й конфігурації каравану на основі чотирьох класів типових рішень із кількісними критеріями активації, причому оцінка виконується за штатними експлуатаційними даними, без втручання в конструкцію енергетичної установки судна;

- використовувати результати оцінки як основу для техніко-економічного обґрунтування й визначення пріоритетності проєктів модернізації енергетичних установок та переведення суден на альтернативні види палива, зокрема для раціонального розподілу обмежених капітальних ресурсів між класами флоту;

- застосовувати спосіб для кількісної оцінки кліматичного ефекту модального зсуву вантажопотоків на внутрішній водний транспорт та для аргументації відповідних рішень у зіставленні з міжнародними показниками;

- використовувати показники й алгоритм агрегування як підґрунтя для формування корпоративних стандартів енергоефективності та участі підприємств у системах нормування, моніторингу й звітності щодо вуглецевої інтенсивності флоту відповідно до регуляторного контексту ЄС.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в діяльності Дунайської Комісії (при підготовці Додатка 5 до Дорожньої карти декарбонізації дунайського флоту), у практику експлуатаційної діяльності ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство», у тому числі на т/х «Механик Синилов» – при моніторингу паливовикористання та екологічних показників роботи судна, а також використано при апробації способу на пасажирському круїзному теплоході *m/v Lisabelle*, що підтверджено відповідними актами впровадження та довідками. Окремі результати роботи впроваджено в навчальний процес кафедри інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» (м. Ізмаїл).

Особистий внесок здобувача полягає в висуненні та доведенні гіпотези, що енергоефективність руху штовхачів з караванами несамохідних барж у дунайському судноплавстві може бути істотно підвищена за рахунок розроблення та впровадження спеціалізованого способу оцінки енергоефективності, який, на відміну від існуючих підходів, комплексно враховує навігаційні умови Дунаю, змінну конфігурацію та завантаженість караванів, а також поетапну структуру рейсу, що забезпечує можливість обґрунтованої експлуатаційної оптимізації режимів руху і конфігурацій караванів та зменшення витрат палива і викидів парникових газів.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: формулювання ідеї, наукової проблеми, мети й завдань дослідження, розроблення його концепції та методики [2, 5, 14–15, 23, 33, 43, 56]; постановка наукової проблеми, розроблення первинного тексту та остаточне редагування [58, 67–69]; розроблення методів оцінки енергоефективності та оброблення експериментальних даних [11, 16–17, 64]; розроблення концепції застосування систем параметричного діагностування і моніторингу судових дизелів для оцінювання та підвищення енергоефективності суден [24, 39, 45, 50–51, 53, 55, 65]; розроблення концепції збереження оцінки енергоефективності за умов переходу суден на альтернативні палива та модернізації флоту в умовах енергетичного переходу [29, 35–36, 42, 46–47]; концептуалізація, наукове керівництво, координація роботи, надання критичних порад і критичне

редагування [3, 6, 13, 48, 71]; аналіз застосовності та порівняння наявних методів оцінки енергоефективності, формулювання висновків [26, 52]; аналіз і систематизація первинних даних, опрацювання літературних джерел, узагальнення та інтерпретація результатів, підготовка ілюстративного матеріалу [4, 20–22]; написання початкового варіанту тексту, рецензування та редагування [8–9, 19]; формування первинного тексту, візуалізація ілюстративного матеріалу (рисунків, схем, таблиць) та формулювання висновків [1, 7, 10, 18, 27, 34, 40, 61, 63, 66, 70].

Використання інструментів штучного інтелекту. При підготовці дисертаційної роботи для виконання допоміжних технічних завдань – розробки програмного коду обробки відкритих даних, попереднього літературного впорядкування та мовної редактури – використовувалися інструменти на базі генеративного штучного інтелекту (зокрема, *Claude* розробки компанії *Anthropic*). Усі наукові положення, методологічні рішення, постановки задач, інтерпретація результатів та висновки сформульовані здобувачем особисто. Програмні розробки, виконані із залученням *AI*-асистента, перевірені здобувачем на коректність шляхом порівняння з первинними даними та ручної вибіркової верифікації; повний текст ключових програмних інструментів наведено у відповідних додатках до дисертації. Тексти, створені із застосуванням технологій штучного інтелекту, перевірені та відредаговані здобувачем особисто згідно з вимогами Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197 (із змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 30 липня 2025 р. № 928).

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідались на міжнародних конференціях, конгресах та семінарах, де отримали позитивну оцінку, серед яких: XXV, XXVI, XXVIII Міжнародний конгрес двигунобудівників (2020, 2021, 2023 pp.); III-VI Міжнародна морська науково-практична конференція кафедри СЕУ і ТЕ МРР&О (ОНМУ, Одеса, 2021-2025 pp.); 10-15 Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО» (ХДМА, Херсон, 2019-2024 pp.); X Міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми» (НУК ім. адмірала Макарова, Миколаїв, 2021 р.; 5, 7, 8, 11 Міжнародна наукова конференція *SEA-CONF* (Констанца, Румунія, 2019, 2021, 2022, 2025 pp.), XI-XVI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту ДІНУОМА» (ДІНУОМА, Ізмаїл, 2020-2025 pp.); IV-VI, VIII, IX Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні підходи до розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення» (ДІНУОМА, Ізмаїл, 2020-2022, 2024, 2025, 2026 pp.); 7 Міжнародна наукова конференція *Technium Conference* (Констанца, Румунія, 2020); 5 Міжнародна морська наукова конференція «Maritime Research and Education in Global Context» (BSMA, 2025, Batumi, Georgia); I Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні технології засобів транспорту» (УкрДУЗТ, Харків-Миргород, 2021 р.); III-VI Міжнародна науково-практична конференція «ДНІПРОВСЬКІ ЧИТАННЯ» (ДУІТ, Київ, 2022-2025 р.); VI Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні науково-технічні дослідження (Академія технічних наук України, 2024 р.).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковані в 71 праці, в тому числі: 23 наукові статті у фахових журналах України та інших держав, серед яких 4 статей в журналах, що входять до міжнародної наукометричної бази *Scopus* (Q2 – 1 стаття, Q4 – 3 статті); 48 тез доповідей міжнародних конференцій.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи – 443 сторінки друкованого тексту, обсяг основного тексту – 329 сторінок. Основний текст дисертації містить 34 рисунків та 33 таблиці, з яких 8 рисунків та 9 таблиць повністю займають площу 12 сторінок, список використаної літератури включає 102 джерела на 14 сторінках, додатки розміщені на 72 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовані актуальність дослідження, наукова проблема, яка потребує вирішення, поставлені мета та задачі, визначені предмет та об'єкт дослідження, сформовані наукова та практична новизна роботи, наведені відомості щодо її апробації та структури.

У **першому розділі** виконано аналіз методів оцінки енергоефективності суден і обґрунтовано наукову проблему дослідження. Систематизовано наявний інструментарій за чотирма ознаками (тип інструменту, статус нормування, об'єкт оцінки, застосовність до суден з караванами) і виокремлено три самостійні групи підходів: нормативно-конструктивні індекси морського судноплавства (*EEDI*, *EEXI*, *CII*), операційні індекси фактичної енергоефективності (*EEOI* та його адаптація для внутрішніх водних шляхів *EEO*) і методи гідродинамічного моделювання караванів.

Результати систематизації узагальнено у зведеній таблиці, що охоплює 16 інструментів і документів – від обов'язкових нормативів ІМО до незавершених методологічних пропозицій (*EEDI_{Binnen}*, *PLATINA3/D2.6*); показано, що жоден із них не забезпечує нормованої та порівнянної оцінки руху досліджуваних суден з караванами, що є кількісним обґрунтуванням методологічного розриву.

Проаналізовано специфіку об'єкта оцінки: типові конфігурації караванів (1:1, 2:1, 1:2, 2:2 і складніші на Нижньому Дунаї), ступінчастий профіль рейсу з чотирма якісно різними етапами (рух у повному складі каравану, проводка, маневрування поодиноким штовхача, стоянка) та характерний розподіл часу рейсу за етапами (рух у повному складі – 65–75 %). Охарактеризовано режими роботи головної енергетичної установки, зокрема форсовані стани на мілководді, де при зменшенні відношення глибини до осадки опір каравану зростає нелінійно. Обґрунтовано, що до цього класу суден жоден стандартний показник не застосовний без принципових модифікацій через нестаціонарність об'єкта оцінки, залежність від гідрологічних умов (варіація показника на 40–60 % між рівнями води), математичну невизначеність *EEOI* за нульової транспортної роботи на окремих етапах рейсу та неврахований масштабний ефект каравану.

Розглянуто регуляторний контекст ЄС і Дунайського регіону – Європейський зелений курс, план дій *NAIADES III* (що прямо анонсує розроблення індексу енергоефективності для внутрішнього судноплавства), проєкт *GRENDEL* та звіт *PLATINA3/D2.6* з його п'ятирівневою концепцією, у якій рівні *C* (гідродинаміка) і *D*

(сервісна ефективність) визнані найрелевантнішими для штовхачів з караванами, але такими, що потребують подальшої наукової роботи. На цій основі позиціоновано наявні методи у двовимірному методологічному просторі й показано порожню зону, що відповідає найскладнішому об'єкту оцінювання за операційними даними з урахуванням гідрології (рис. 1).

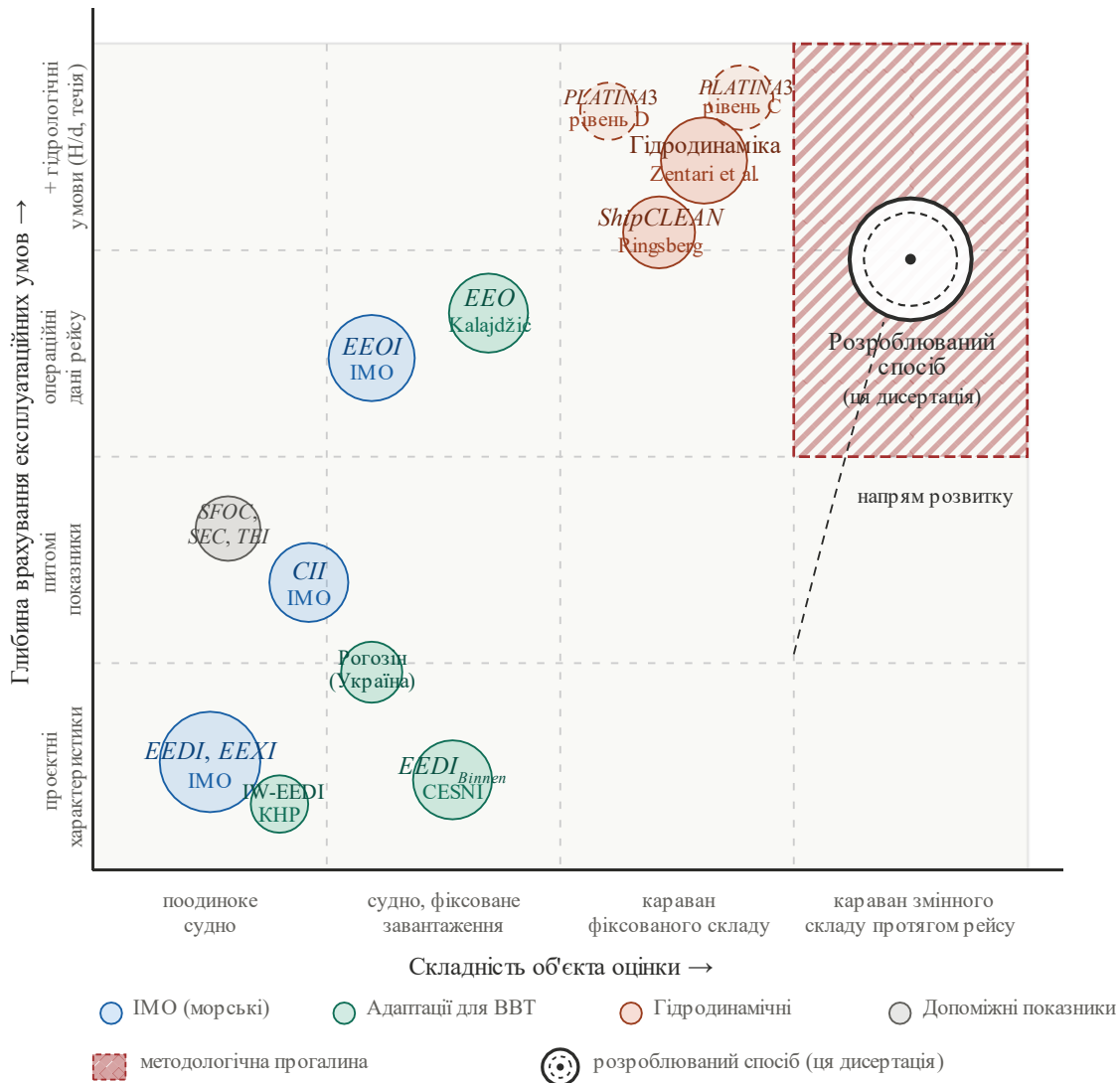


Рисунок 1 – Позиціонування наявних методів оцінки енергоефективності суден у двовимірному методологічному просторі

За результатами аналізу сформульовано наукову проблему – відсутність методу, який одночасно враховує змінність складу й конфігурації каравану, гідрологічну мінливість умов плавання та ступінчастий профіль рейсу – і систему з шести вимог до нового способу оцінки енергоефективності (адаптованість до змінного об'єкта оцінки, урахування гідрологічних умов, структурованість за етапами рейсу з обліком профілю навантажень ГЕУ, вимірюваність і практична реалізованість, порівнянність і нормування, відповідність регуляторному контексту ЄС). Цим повністю вирішено першу головну наукову задачу (ГЗ-1) та сформульовано мету й гіпотезу дослідження, що визначили подальшу побудову роботи, складено технологічну карту дослідження за методологією професора І. І. Кринецького, визначені головні та допоміжні задачі, визначені критерії оцінки отриманих результатів.

У **другому розділі** досліджено навігаційно-експлуатаційні умови судноплавного Дунаю та систематизовано фактори, що визначають енергоефективність руху досліджуваних суден з караванами. Охарактеризовано судноплавний Дунай від Кельхайма до Чорного моря (2415 км) з поділом на три ділянки – Верхній, Середній і Нижній Дунай, що різняться класом водного шляху, ступенем зарегульованості, рівневим режимом і допустимими конфігураціями караванів. Установлено систему з трьох характерних рівнів води (ЕНР (НСРР для р. Дунай), НСР, ВСР), розташування 19 гідровузлів зі шлюзами та критичні «вузькі місця» (зокрема ділянку Штраубінг–Вільсхофен, де гарантована глибина при ЕНР становить лише 1,55 м), а також показано, що варіабельність рівнів між НСР і ВСР змінює операційний показник енергоефективності одного й того самого судна на 40–60 %.

Проаналізовано склад дунайського транспортного флоту (п'ять основних категорій суден, з яких несамохідні баржі та штовхачі становлять переважну більшість одиниць вантажного флоту), визначено баржу типу Європа-II як основну розрахункову одиницю каравану та систематизовано типові конфігурації караванів за ділянками – від 1:1 і 1:2 на Верхньому Дунаї до 3:2, 3:3 і 3:4 (9–12 барж) на Нижньому. Окремо обґрунтовано ключову особливість об'єкта оцінки – зміну складу каравану протягом одного рейсу: на прикладі рейсу Ізмаїл–Регенсбург показано ступінчастий профіль (рис. 2), за якого дедвейт каравану змінюється від нуля (поодинокий штовхач під час проводок) до десятків тисяч тонн, тоді як споживання палива штовхачем змінюється відносно незначно – саме цей нелінійний зв'язок є головним методологічним викликом оцінки.

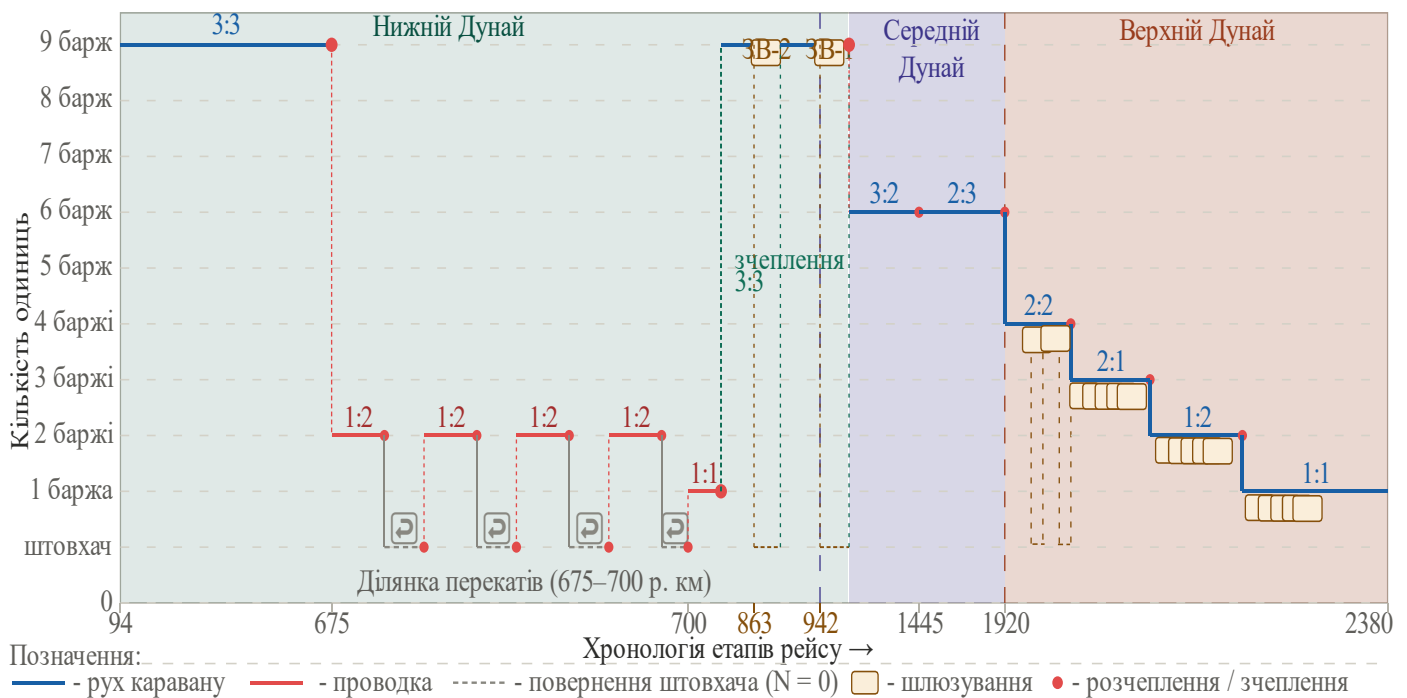


Рисунок 2 – Ступінчастий профіль типового рейсу (на прикладі рейсу Ізмаїл – Регенсбург)

Виокремлено й проаналізовано три групи факторів енергоефективності – навігаційні (глибина фарватеру і відношення H/d , швидкість та напрямок течії, рівень води, шлюзування, габаритні обмеження), технічні (встановлена потужність і навантажувальна характеристика ГЕУ, тип рушійного комплексу, вік і технічний

стан) та експлуатаційні (склад і конфігурація каравану, завантаження барж, швидкісний режим, тактика проводок), а також їх взаємодію. Показано, зокрема, нелінійне зростання опору на мілководді при $H/d \leq 2,0$, асиметрію витрати палива при русі проти та за течією і різке (у 1,5–2,0 рази) зростання питомої витрати палива при роботі ГЕУ на навантаженнях нижче 25–30 % від номінального.

За результатами аналізу побудовано методологічний місток до математичного моделювання: фактори систематизовано за ознаками керованості, мінливості та джерела даних у зведений реєстр; рейс формально декомпозовано на чотири характерні етапи (рух у повному складі каравану, проводка, маневрування поодиноким штовхача, стоянка) з адитивними співвідношеннями для інтегральних величин рейсу (1):

$$T = \sum_i \tau_i; D = \sum_i D_i; TW = \sum_i m_{cargo_i} \cdot D_i; FC = \sum_i FC_i; i = 1 \dots 4, \quad (1)$$

де T – загальна тривалість рейсу;

D – загальна пройдена відстань;

TW – інтегральна транспортна робота рейсу, т·км;

FC – сумарна витрата палива за рейс, т.

На цій основі розроблено концептуальну модель процесу руху у вигляді п'яти причинно-наслідкових блоків (рис. 3), що перетворюють вхідні параметри рейсу на нормований показник енергоефективності (2) з поправками на гідрологічні умови та профіль навантаження ГЕУ:

$$EE_{norm} = \left(\frac{FC}{TW} \right) \cdot k_{нав} \cdot k_{ГЕУ}, \quad (2)$$

де $k_{нав}$ – поправка на гідрологічні умови рейсу;

$k_{ГЕУ}$ – поправка на профіль навантаження ГЕУ.

Наведена на рис. 3 концептуальна модель передбачає зворотний зв'язок для оптимізації керованих факторів.

Відповідність моделі шести вимогам, сформульованим у розділі 1, підтверджено зіставленням. Цим вирішено другу головну наукову задачу (ГЗ-2) і підготовлено перехід до математичної формалізації в розділі 3.

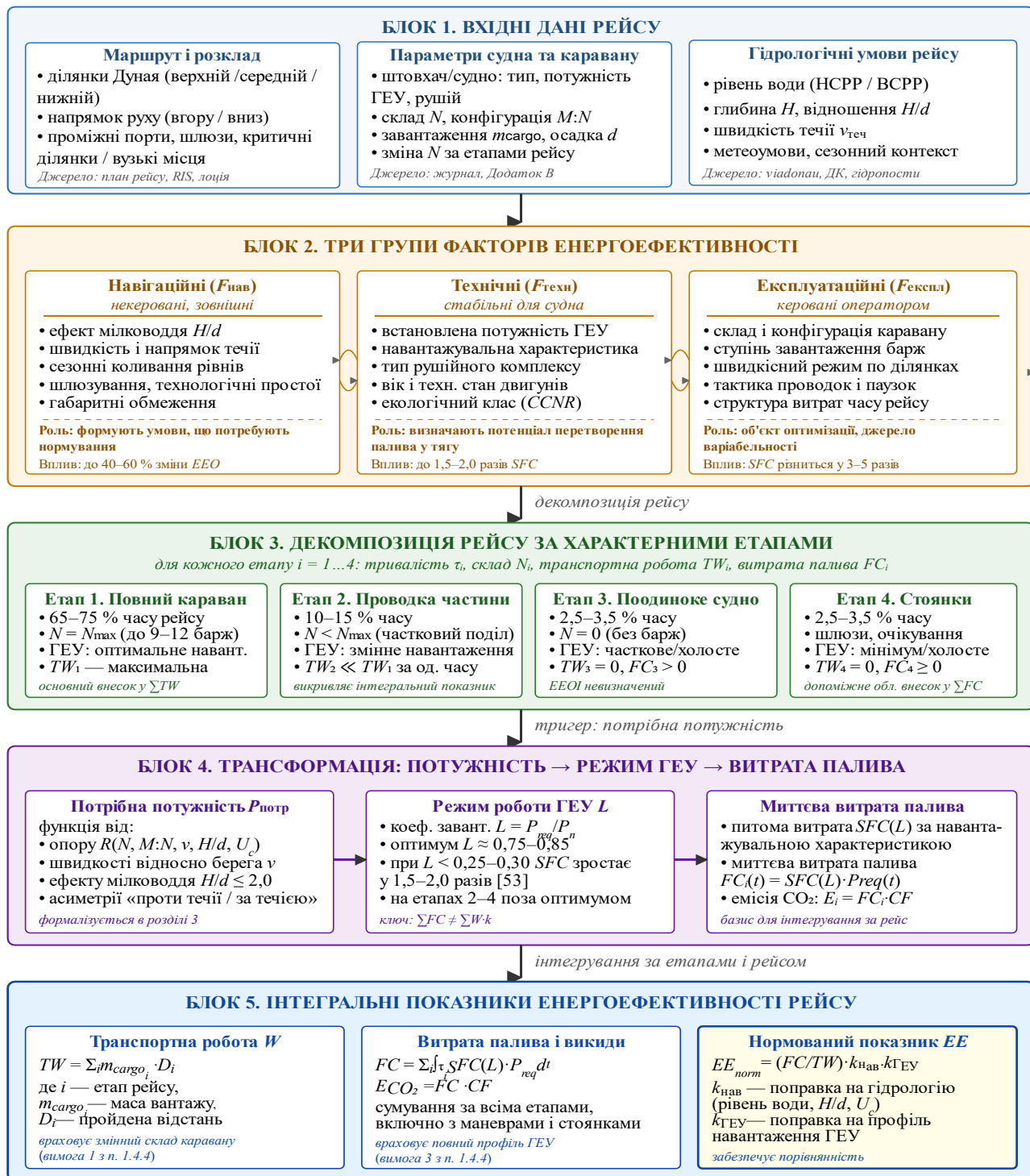


Рисунок 2.7 – Концептуальна модель процесу руху штовхачів з караванами на Дунаї

У третьому розділі побудовано математичну модель енергоспоживання руху штовхачів і самохідних суден з караванами несамохідних барж та на її основі розроблено спосіб оцінки енергоефективності. Рейс формалізовано як неусталений багаторежимний процес. Уведено вектор стану системи «штовхач–караван–водний шлях–ГЕУ»:

$$x(t) = \begin{pmatrix} v(t), H(t), U_c(t), i_r(t), k_{hull}(t), \\ m_{cargo}(t), N(t), shape(t), d_{eq}(t), \\ \tau_{mode}(t), \\ n(t), M(t), SFC(t), \eta_{prop}(t) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

що розкладається на гідродинамічний, навантажувальний, експлуатаційно-часовий підвектори та підвектор параметрів енергетичної установки

$$x(t) = (x_{hydro}(t), x_{load}(t), x_{time}(t), x_{eng}(t)), \quad (4)$$

а потужність пропульсивного комплексу подано як функцію стану

$$P(t) = P(x(t)). \quad (5)$$

Миттєву витрату палива пов'язано з потужністю через питому витрату

$$FC_h(t) = SFC(t)P_e(t), \quad (6)$$

що дає інтегральні витрату палива за рейс

$$FC_{\Sigma} = \int_0^T FC_h(t)dt = \int_0^T SFC(t)P_e(t)dt \quad (7)$$

та транспортну роботу

$$W_{\Sigma} = \int_0^T m_{cargo}(t)v_g(t)dt, \quad (8)$$

$$W_{\Sigma} = \int_0^S m_{cargo}(s)ds. \quad (9)$$

Інтегральний показник енергоефективності подано у формі відношення цих інтегралів – у паливному

$$EE = \frac{\int_0^T FC_h(t)dt}{\int_0^T m_{cargo}(t)v_g(t)dt}, \quad (10)$$

та вуглецевому

$$EE_{CO_2} = \frac{\int_0^T FC_h(t)CF dt}{\int_0^T m_{cargo}(t)v_g(t)dt} \quad (11)$$

варіантах. У знаменник уведено гідрологічний множник k_H :

$$EE_{CO_2} = \frac{\int_0^T FC_h(t)CF dt}{\int_0^T m_{cargo}(t)v_g(t)k_H(t)dt}, \quad (12)$$

що приводить транспортну роботу до референтних гідрологічних умов і враховує вплив відношення H/d , швидкості течії та класу ділянки за [AGN](#).

Інтегральну постановку конкретизовано через дискретне наближення за ділянками рейсу: безперервний вектор стану замінено на дискретну послідовність усереднених векторів $x^{(i)}$ по ділянках, при цьому усереднення застосовується лише до неперервних компонент (v, H, U_c, n, SFC) : $x_{cont,i} = \left(\frac{1}{T_i}\right) \int_{\Delta_i} x_{cont}(t)dt$, тоді як ступінчасті (категоріальні) компоненти $(shape, N, \tau_{mode})$ – на квазісталій ділянці беруться як константи

$$x^{(i)} = (v_i, H_i, U_{c,i}, n_i, SFC_i, shape_i, N_i, \tau_{mode,i}), \quad (13)$$

а інтеграли витрати палива й транспортної роботи – сумами по ділянках

$$FC_{\Sigma} = \int_0^T FC_h(t)dt, \quad (14)$$

$$FC_{\Sigma} \approx \sum_{i=1}^n FC_i, \quad (15)$$

$$TW_{\Sigma} = \int_0^T m_{\text{cargo}}(t)v_g(t)dt, \quad (16)$$

$$TW_{\Sigma} \approx \sum_{i=1}^n m_{\text{cargo},i} D_i, \quad (17)$$

що робить спосіб придатним для обчислень за реальними рейсовими даними без суцільного моніторингу миттєвих величин. Сформовано базовий дискретний індекс – паливний

$$EE_{disc} = \frac{\sum_{i=1}^n FC_i}{\sum_{i=1}^n m_{\text{cargo},i} D_i} \quad (18)$$

і вуглецевий

$$EE_{CO_2, disc} = \frac{\sum_{i=1}^n FC_i CF}{\sum_{i=1}^n m_{\text{cargo},i} D_i}, \quad (19)$$

– як узагальнення $EEOI$ на випадок змінного складу каравану, та його нормована форма (3) з посегментним множником $k_{H,i} = \frac{R_{\text{shallow},i}}{R_{\text{ref},i}}$ ($R_{\text{shallow},i}$ – опір за фактичних $H_i/d_{\text{eq},i}$, течії $U_{c,i}$ та конфігурації $shape$; $R_{\text{ref},i}$ – опір тих самих каравану й швидкості в референтних умовах):

$$EE_{CO_2, \text{norm}} = \frac{\sum_{i=1}^n FC_i CF}{\sum_{i=1}^n m_{\text{cargo},i} D_i k_{H,i}}, \quad (20)$$

$$EE_{\text{fuel}, \text{norm}} = \frac{\sum_{i=1}^n FC_i}{\sum_{i=1}^n m_{\text{cargo},i} D_i k_{H,i}}. \quad (21)$$

Окремо формалізовано коректну обробку етапів із нульовою або зменшеною транспортною роботою (порожні переходи, проводки, маневрування, шлюзування): витрата палива таких етапів входить до чисельника, тоді як до знаменника – лише вантажні ділянки, що усуває математичну невизначеність стандартного $EEOI$ при $m_{\text{cargo}} = 0$ і зберігає чутливість показника до нераціональної організації рейсу. Показники подано як функціонал від множини посегментних векторів стану

$$FC_i = FC(x^{(i)}), k_{H,i} = k_H(x_{\text{hydro}}^{(i)}), \quad (22)$$

$$EE_{(\cdot)} = \Phi(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)}), \quad (23)$$

що зберігає зв'язок локальної динаміки стану з глобальною оцінкою рейсу. Показано, що паливний варіант індексу безпосередньо переходить в економічний критерій питомих витрат на паливо на одиницю транспортної роботи

$$C_{\text{var}} = EE_{disc} \cdot C_f. \quad (24)$$

Виокремлено три елементи, що становлять наукову новизну способу: явне врахування змінної конфігурації каравану в межах одного рейсу, гідрологічне нормування через множник k_H та явне врахування структури часу рейсу.

Для параметризації способу побудовано модель гідродинамічного опору штовхача з караваном у дунайських умовах: повний опір подано як суму складових

$$R = R_F \left(\frac{H}{d} \right) + R_W \left(\frac{H}{d}, Fr_h \right) + R_{int} \left(shape, N, \frac{H}{d} \right) + R_{air} \quad (25)$$

на основі тривимірної декомпозиції з модифікованим для мілководдя формфактором $1+k^*$, а опір як функцію гідродинамічного підвектора та підвектора завантаження – у вигляді

$$R(t) = R(x_{hydro}(t), x_{load}(t));$$

$$R = R \left(v(t), \frac{H}{d_{eq}}, Fr_h, Re, S_{wet}, C_b, N, k_{hull}(t), shape(t) \right) \quad (26)$$

Потрібну потужність на валах визначено через опір і пропульсивний ККД

$$P_{req}(t) = \frac{R(t)v(t)}{\eta_{prop}(t)\eta_{shaft}}, \quad (27)$$

Оскільки пряме вимірювання опору й потужності на дунайських штовхачах технічно можливе, проте в наявних рейсових даних відсутнє, як опосередковане джерело уточнених даних про ефективну потужність застосовано параметричну діагностику робочого процесу головних двигунів

$$P_e(t) = P_i(t) \eta_{mech}(t), \quad (28)$$

із аналітичною синхронізацією даних моніторингу. На цій основі сформовано замкнену модель «опір $\rightarrow$ потрібна потужність $\rightarrow$ витрата палива», калібровану за експлуатаційними даними через мінімізацію середньоквадратичної неузгодженості між потрібною та діагностично відновленою ефективною потужністю

$$J(\theta) = \sum_t [P_{req}(x(t); \theta) - P_e(t)]^2 \rightarrow \min, \quad (29)$$

Детерміновану постановку узагальнено до імовірнісної: компоненти вектору стану трактуються як випадкові величини

$$H_i \sim F_{H,i}, \quad U_{c,i} \sim F_{U_{c,i}}, \quad SFC_i \sim F_{SFC,i}, \text{ і т. ін.}, \quad (30)$$

типи невизначеності класифіковано за стандартом GUM (типи А та В) з обґрунтованим вибором апроксимувальних розподілів (усічений нормальний для типу А, трикутний для типу В), а інтегральний показник розглядається як випадкова величина – функціонал

$$EE_{CO2,norm} = \frac{\sum FC_i \cdot CF}{\sum m_{cargo,i} \cdot D_i \cdot k_{H,i}} = \Psi(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (31)$$

Його характеристики (математичне сподівання, довірчі інтервали, квантілі, ймовірність перевищення порогу) обчислюються методом Монте-Карло, а попередній скрінінговий аналіз чутливості на основі коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена ρ_j

$$\rho_j = corr(rank(x_j), rank(EE)), j = 1, 2, \dots, m, \quad (32)$$

з нормованими квадратами коефіцієнтів кореляції

$$S_j = \frac{\rho_j^2}{\sum \rho_k^2}, \sum S_j = 1, \quad (33)$$

кількісно ранжує внесок окремих факторів у розкид показника, що дає основу для пріоритезації напрямів підвищення енергоефективності.

Розроблено прогностичне розширення способу на горизонт планування рейсу. На основі добових рядів рівнів води щорічників Дунайської Комісії за 2005–2020 рр. (база з 265798 валідованих записів по 71 водомірному посту, сформована власним програмним засобом, написаним на мові *Python*) побудовано авторегресійну модель (34) добових рівнів AR(1).

$$W_{t+1} = \mu_{m(t+1)} + \varphi(W_t - \mu_{m(t)}) + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2), \quad (34)$$

де W_t – рівень води на пості у день t ;

μ_m – кліматологічне середнє рівня для відповідного місяця $m(t)$, якому належить день t ; для прогнозу, що перетинає межу місяця, μ змінюється відповідно до місяця кожного дня горизонту;;

φ – коефіцієнт автокореляції першого порядку, що характеризує гідрологічну інерцію поста;

ε_t – гаусівський шум з нульовим середнім і дисперсією σ_ε^2 , що описує неузгодженість моделі з фактичними даними.

Установлено, що коефіцієнт авторегресії стійко зростає від $\approx 0,90$ на верхньому Дунаї до $\approx 0,99$ на нижньому (табл. 1), за виключенням $\varphi = 0,880$ (Велике Градіште), що відображає ефект гідровузла «Залізні ворота». Горизонт корисного прогнозу становить 6–8 діб у нормальних умовах, що узгоджується з типовою тривалістю дунайського рейсу.

Таблиця 1 – Усереднені параметри AR(1) моделей рівнів води на ключових водомірних постах Дунаю за період 2005–2020 рр.

Водомірний пост	Ділянка Дунаю	φ середнє	$std(\varphi)$	Горизонт, діб (мін–макс)
Регенсбург	верхній	0,904	0,035	3 – 15
Вільсхофен	верхній	0,944	0,019	4 – 20
Лінц	верхній	0,902	0,038	4 – 25
Відень	середній	0,920	0,029	4 – 24
Братіслава	середній	0,925	0,031	4 – 23
Будапешт	середній	0,967	0,013	6 – 23
Мохач	середній	0,981	0,008	7 – 24
Велике Градіште	нижній	0,880	0,057	4 – 23
Лом	нижній	0,988	0,006	10 – 27
Силистра	нижній	0,993	0,003	11 – 29
Рені	нижній	0,996	0,002	12 – 29

Аналіз просторово-часової кореляційної структури постів методом ієрархічної кластеризації (UPGMA) виявив два виразні мегакластери з природним статистичним бар'єром у зоні гідровузлів «Залізні ворота» (рис. 4).

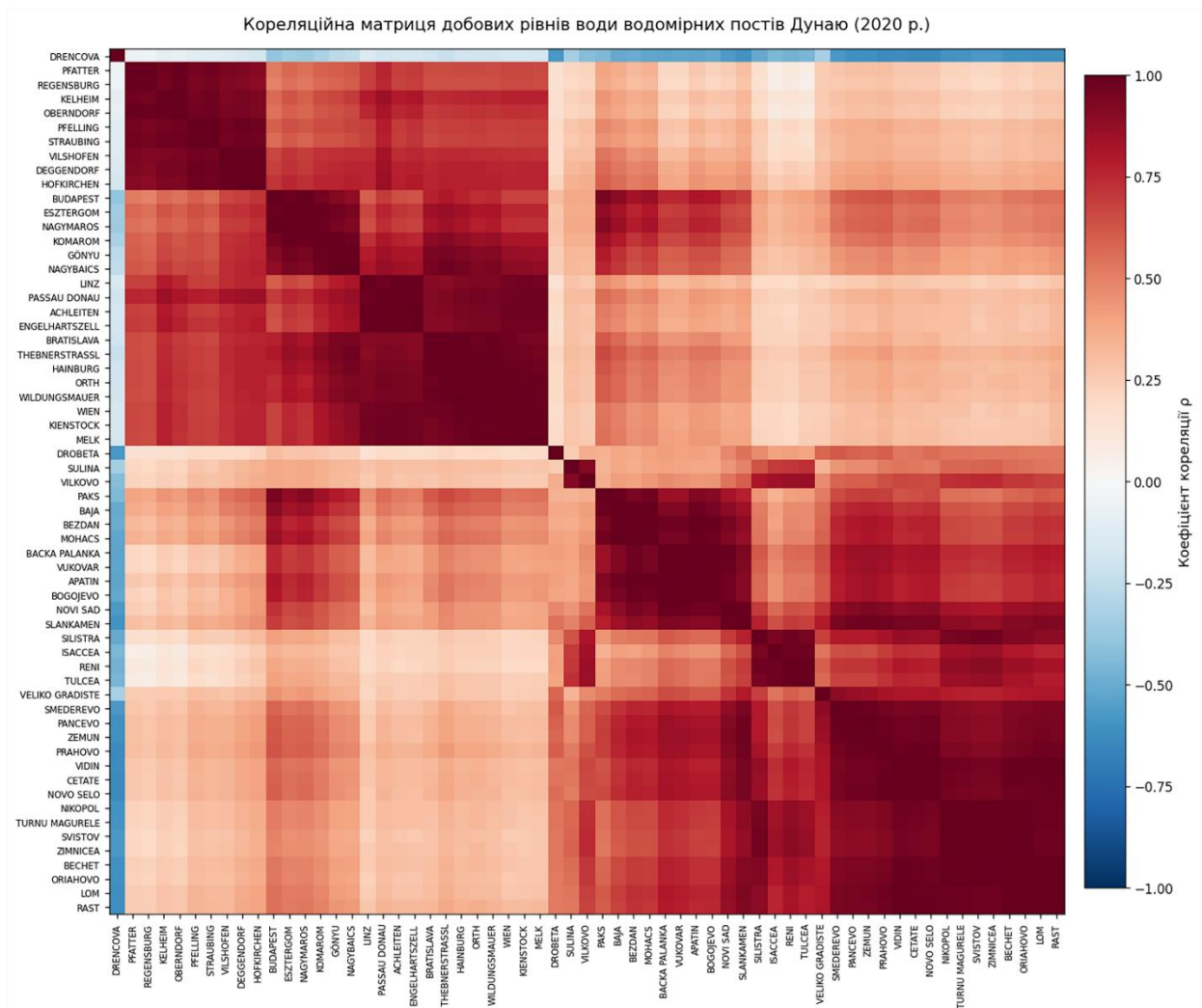


Рисунок 4 – Кореляційна матриця добових рівнів води 61 водомірного поста Дунаю за даними щорічника Дунайської Комісії 2020 р.

Матрицю побудовано за добовими рядами 2020 р., обраного як рік із найповнішим просторовим покриттям мережі постів (61 пост із наскрізним річним рядом – максимум за період 2005–2020 рр.).

Прогнозовані рівні транслюються у глибини фарватеру й через умовні розподіли подаються на вхід Монте-Карло симуляції, що звужує довірчий інтервал прогнозованого показника порівняно з безумовною оцінкою. Цим вирішено третю головну наукову задачу (ГЗ-3) і завершено побудову способу оцінки, готового до апробації в розділах 4–5.

У **четвертому розділі** запропонований спосіб доведено до рівня формалізованої методики та програмного інструмента, придатного для практичного застосування, і апробовано на реальних даних. Сформовано завершену систему показників енергоефективності рейсу – базові дискретні індекси, гідрологічно нормовані індекси та похідний економічний показник питомих паливних витрат – з визначенням ролі кожного. Спосіб формалізовано як трирівневу процедуру: за наявності лише рейсових експлуатаційних даних обчислюються базові дискретні індекси; залучення гідрологічних даних дає нормовані індекси, придатні для коректного порівняння рейсів за різних глибин і течій; повний склад даних забезпечує економічну оцінку та

підтримку рішень. Сформульовано правила врахування особливих випадків (ділянки з нульовою транспортною роботою, проводки й шлюзування, неповні гідрологічні дані, баластні переходи, поетапна проводка самохідного судна) та чотирирівневу шкалу оцінювання рейсу за відносним критерієм щодо еталонного (бенчмаркового) значення.

Розроблено систему алгоритмів обґрунтування експлуатаційних рішень, що охоплюють чотири класи рішень (корекція швидкісного профілю, вибір конфігурації та завантаження каравану, перехід в економічний режим на мілководді, технічне обслуговування й корекція режиму головних двигунів) і реалізуються у трьох режимах із замкненим контуром управління: ретроспективний аналіз завершених рейсів, перспективне планування з прогнозом гідрологічних умов та оперативна корекція в ході рейсу. Для кожного класу визначено індикатори, кількісні критерії активації та горизонт реалізації.

Спосіб реалізовано як інструмент підтримки прийняття рішень на платформі електронних таблиць, обраний за критеріями повсюдної доступності, нульової вартості впровадження, прозорості обчислень і портативності (відкритий формат, відсутність макропрограм, рис. 5).

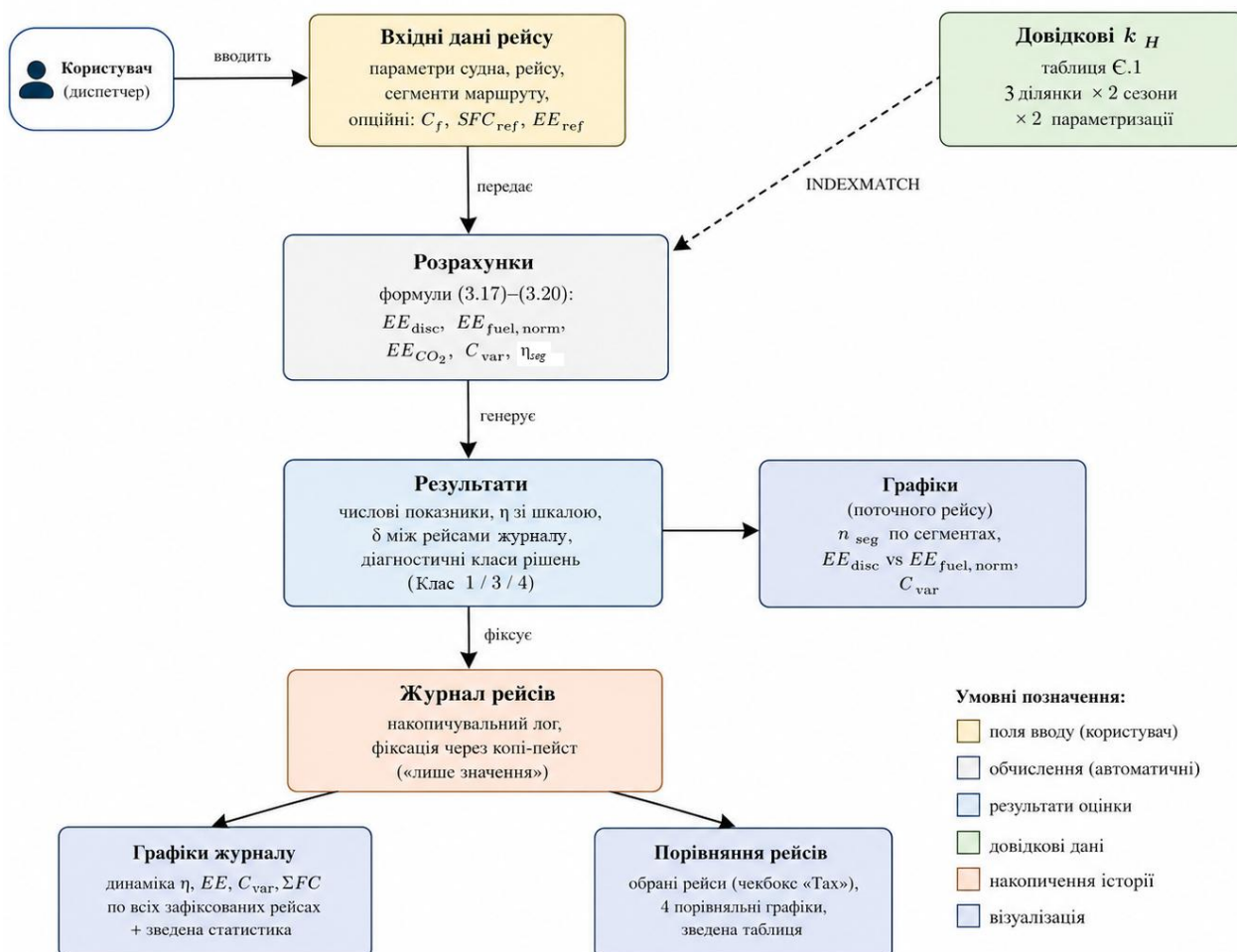


Рисунок 5 – Схема потоку даних між функціональними аркушами інструменту

Інструмент має модульну архітектуру з функціональних аркушів, пов'язаних системою іменованих діапазонів, і реалізує посегментні та інтегральні розрахунки,

гідрологічну нормалізацію через довідкові значення множника k_H , автоматичну діагностику класів рішень і накопичення історії рейсів. Окремо формалізовано обробку проводок через коефіцієнт $(2N - 1)$, що дозволяє коректно оцінювати рейси з багаторазовим проходженням критичних мілководних ділянок у межах єдиного розрахункового апарату.

Інструмент апробовано на масиві з 14 реальних рейсів суден ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство», усього 116 сегментів, 7 з яких (УДП Р 1) відносяться до експериментального рейсу із фіксованими гідрологічними даними української ділянки Дунаю загальною довжиною $D = 25,25$ км, решта – з гідрологічною реконструкцією на умови 2018–2020 рр. Результати представлені у табл. 2.

Таблиця 2 – Зведена характеристика масиву апробації

№	Позначення рейсу	Дата гідрологічної реконструкції k_H	Кількість барж	Маса вантажу $M_{total}, \text{Т}$	Кількість сегментів n	Витрата палива за рейс $\sum FC, \text{кг}$	Критерій $\eta^{(r)}$	Активні класи (кількість сегментів)
1.	УДП Р 1	22.03.2018	5	9970	7	557	0,937	4 (2)
2.	УДП Р 2	10.11.2018	5	5762	9	12789	0,893	3 H/d (3)
3.	УДП Р 3	04.05.2018	3	3978	9	10431	1,087	–
4.	УДП Р 4	07.08.2018	2	2819	9	7716	1,101	–
5.	УДП Р 5	11.11.2018	5	5762	9	36808	2,569	1 (2), 3 H/d (3), 3 пров. (2)
6.	УДП Р 6	08.08.2020	5	7353	9	13604	0,744	–
7.	УДП Р 7	04.04.2020	6	9157	9	23423	1,061	–
8.	УДП Р 8	04.04.2020	2	2233	9	4895	0,909	–
9.	УДП Р 9	01.06.2020	6	8733	9	23485	1,082	–
10.	УДП Р 10	08.07.2020	6	9009	9	23368	1,043	–
11.	УДП Р 11	08.08.2020	6	8796	9	20680	0,946	–
12.	УДП Р 12	01.09.2020	5	7320	9	26184	1,439	1 (1), 3 H/d (2)
13.	УДП Р 13	01.09.2020	5	7320	9	17857	0,981	3 H/d (2)
14.	УДП Р 14	10.01.2020	0	0	1	417	баласт.	4 (1)

Масив рейсів не є однорідним. З 14 рейсів 13 є вантажними, 1 (УДП Р 14) – діагностичний, баластний. Підтверджено працездатність способу на неоднорідному масиві: більшість рейсів потрапляє у штатні зони шкали, тоді як два рейси з проводками й критичним мілководдям коректно ідентифіковано як аномальні з активацією відповідних класів рішень, а баластний рейс без транспортної роботи – через спеціалізований блок діагностики технічного стану головних двигунів за відносним показником δSFC . Останній випадок проілюстровано практичним ланцюгом «оцінка $\rightarrow$ активація класу технічного обслуговування $\rightarrow$ реальна

параметрична діагностика головних двигунів → виявлення й усунення дефектів», що підтверджує роль інструмента як засобу підтримки управлінських рішень. Цим вирішено третю й четверту головні наукові задачі (ГЗ-3 і ГЗ-4) у частині детермінованої оцінки енергоефективності.

У п'ятому розділі завершено експериментально-аналітичну перевірку способу та оцінено його наукову й практичну ефективність. Апробовано прогнозне (імовірнісне) розширення способу: на узагальненому транзитному рейсі Ізмаїл–Регенсбург, поділеному на п'ять характерних ділянок, виконано Монте-Карло симуляцію показника енергоефективності у двох режимах – безумовному (кліматологічному) та прогнозованому, що враховує актуальний стан рівнів води й авторегресійний прогноз їх розвитку. Емпіричний розподіл показника енергоефективності, отриманий Монте-Карло симуляцією у безумовному режимі (математичне сподівання 11,58, коефіцієнт варіації 16,6 %), наведено на рис. (6).

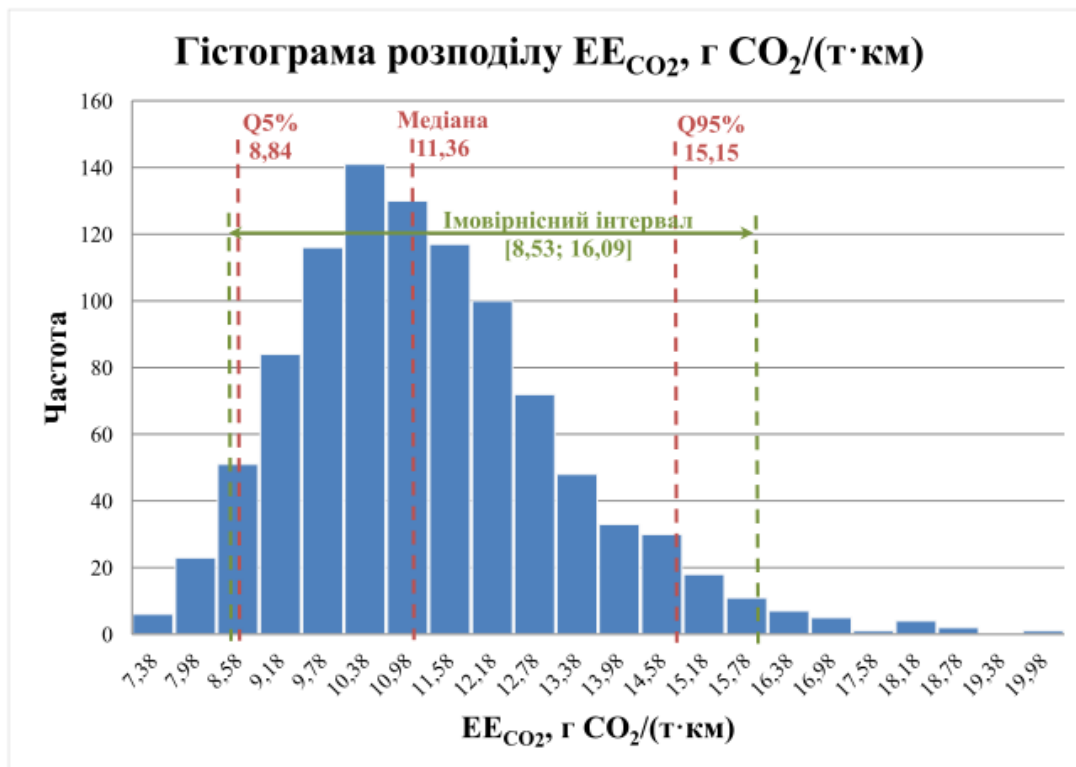


Рисунок 6 – Емпіричний розподіл показника енергоефективності EE_{CO_2} (безумовний режим)

Установлено, що перехід у прогнозний режим звужує 95-відсотковий імовірнісний інтервал показника приблизно на 22 %, кількісно виражаючи інформаційну цінність оперативних гідрологічних даних для планування рейсу (рис. 7).

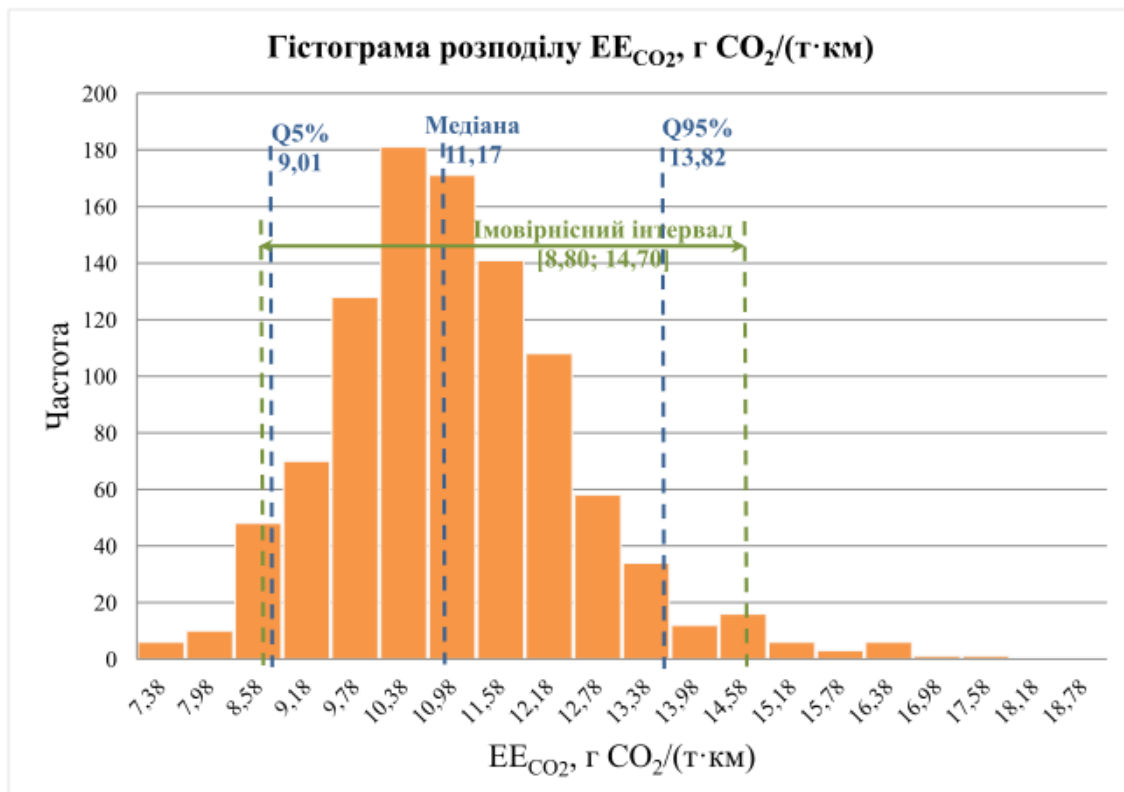


Рисунок 6 – Звуження імовірнісного інтервалу розподілу EE_{CO_2} при переході в прогнозний режим

Попередній скрінінговий аналіз чутливості показав, що глибина фарватеру та швидкість руху разом домінують у формуванні розкиду показника (понад 83 % сумарного нормованого рангового внеску), що обґрунтовує пріоритетність маршрутно-часового планування й вибору швидкісного режиму. Імовірнісний зріз на масиві реальних рейсів підтвердив якісну відповідність форми емпіричного й модельного розподілів.

Кількісні результати скрінінгового аналізу чутливості наведено в табл. (3): два гідрологічно-кінематичні фактори – глибина фарватеру та швидкість руху – сумарно дають 83,5 % сумарного нормованого рангового показника, тоді як технічні фактори (пропульсивний ККД, питома витрата палива) і течія дають істотно менший внесок.

Таблиця 3 – Ранжування незалежних факторів за нормованим показником рангового впливу на EE_{CO_2}

Ранг	Фактор	ρ Спірмена	ρ^2	S_j
1	Середня глибина фарватеру H	-0,571	0,326	0,516
2	Швидкість відносно берега v_d	0,449	0,202	0,319
3	Пропульсивний ККД $\eta_{\text{проп}}$	-0,288	0,083	0,131
4	Питома витрата палива SFC	0,142	0,020	0,032
5	Швидкість течії U_c	0,029	0,001	0,001
6	Маса вантажу m_{cargo}	-0,002	0,000	0,000

Виконано кількісне зіставлення способу з чинними методиками. Показано, що єдиним безпосередньо порівнянним показником є операційний індикатор $EEOI$, який

запропонований спосіб містить як свій ненормований окремий випадок, і визначено місце кожного показника системи відносно наявних індексів. На повному масиві вантажних рейсів підтверджено, що спосіб узагальнює $EEOI$ стосовно умов внутрішнього судноплавства, додаючи посегментну дискретизацію, гідрологічну нормалізацію через множник k_H та економіко-управлінський рівень, і що нормований індекс разом із критерієм ефективності діагностує причину підвищеної вуглецевої інтенсивності, тоді як $EEOI$ лише фіксує її.

Надано повну кількісну оцінку ефекту від упровадження способу. На апробованому масиві потенціал економії становить 14,5–16,3 % палива (32–36 т) і відповідне зниження викидів на 100–112 т CO_2 , причому понад 85 % резерву зосереджено у завчасному запобіганні аномальним рейсам з проводками в умовах прогнозованого мілководдя. Грошовий ефект подано як сценарну залежність від ціни палива, з підтвердженням інваріантності натуральних складників ефекту.

Сформульовано практичні рекомендації операторам флоту (вибір швидкісного профілю, конфігурації каравану, режимів і технічного обслуговування головних двигунів) та органам управління; обґрунтовано методологічний місток між гідрологічним нормуванням і політикою модального зсуву ЄС, зокрема показано, що спосіб методично знімає визнаний Європейським агентством з довкілля бар'єр гідрологічної мінливості внутрішніх водних шляхів, а переведення вантажопотоків з автотранспорту на дунайські штовхані каравани дає на порядок нижчі питомі викиди за повним паливним циклом (табл. 4).

Таблиця 4 – Питомі викиди парникових газів в еквіваленті CO_2 за видами транспорту (WtW , ЄС-27, 2018)

Вид транспорту	WtW , г $CO_2/(т \cdot км)$	У порівнянні з караваном (кратність)
Автотранспорт (HGV)	137	13,7
Внутрішній водний транспорт (середнє по флоту)	33	3,3
Залізниця (дизельна тяга)	24	2,4
Внутрішній водний транспорт (штовхачі)	24	2,4
Дунайські каравани (досліджуване самохідне судно + несамохідні баржи)	10	1

Окремо, як підтвердження універсальності способу, виконано його пілотну апробацію на судні іншого класу – пасажирському круїзному теплоході m/v Lisabelle. Через перевизначення транспортної роботи в пасажиро-кілометрах (показник EE_{pax}) спосіб коректно застосовано до пасажирського флоту зі збереженням універсальних складників (гідрологічне нормування, діагностика стану головних двигунів за δSFC , реконструкція швидкості течії за різницею швидкостей через воду та над дном).

$$EE_{pax} = \frac{FC}{n_{pax} \cdot D}, \quad (35)$$

де FC – витрата палива;
 n_{pax} – кількість пасажирів;
 D – пройдена відстань.

Для зіставлення з іншими видами пасажирського транспорту діапазон EE_{pax} переведено у викиди CO_2 -еквіваленту за повним паливним циклом ($CF = 3,114$; коефіцієнт апгрейда, умовно прийнятий у даній роботі $k_{upgrade} = 1,27$), що дає ≈ 139 – 393 г CO_2 -екв/(пас·км), рис. 8.

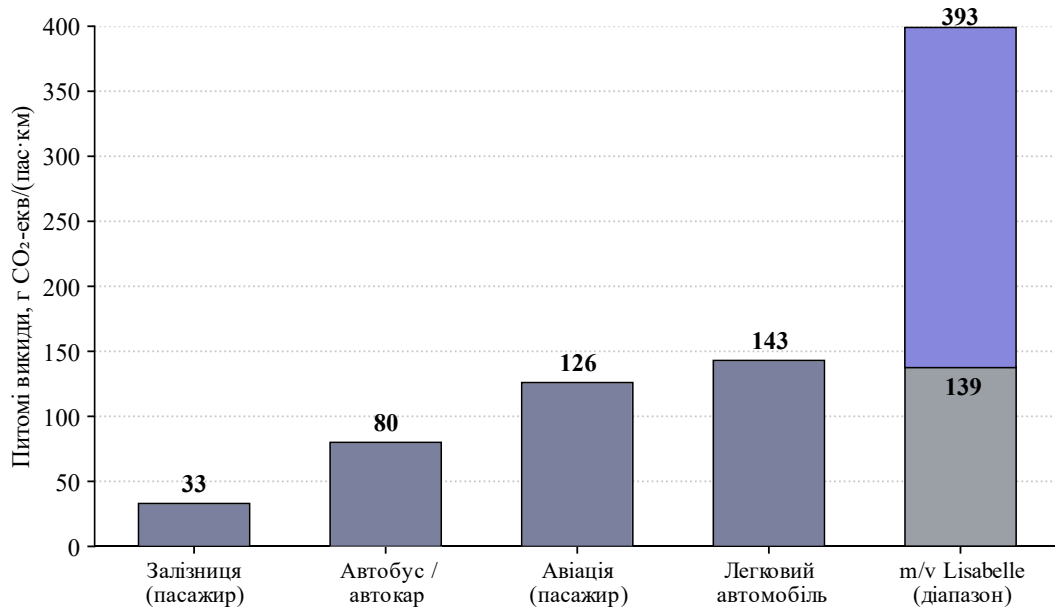


Рисунок 8 – Питомі викиди CO_2 -екв за видами пасажирського транспорту (*Well-to-Wheel*), г/(пас·км): для інших видів – середні по ЄС-27 за 2018 р. ([методичний звіт ЕЕА](#)); для m/v Lisabelle – діапазон за виміряними сегментами (за повної пасажиромісткості 152 пас.)

Цим вирішено четверту головну наукову задачу (ГЗ-4) у повному обсязі й тим самим – усі головні задачі дослідження, що означає досягнення поставленої мети.

ВИСНОВКИ ПО ДИСЕРТАЦІЙНІЙ РОБОТІ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу – розроблено спосіб оцінки енергоефективності руху суден внутрішнього судноплавства (самохідних суден і штовхачів з караванами несамохідних барж), що враховує склад каравану, гідрологічні умови та профіль режимів роботи головної енергетичної установки. Поставлену мету досягнуто, усі чотири наукові задачі розв’язано; основні результати полягають у такому.

1. Систематизовано наявні міжнародні та європейські показники енергоефективності суден за типами (конструктивні, операційні, гідродинамічні) і встановлено, що індекси $EEDI$, $EEXI$, $EEOI$, $EEDI_{Binnen}$, орієнтовані на морські судна та стаціонарні умови експлуатації, не забезпечують коректної й порівнянної оцінки рейсів дунайських караванів за змінного складу та змінних гідрологічних умов. На цій основі сформульовано шість вимог до способу оцінки енергоефективності суден

внутрішнього судноплавства (п. 1.4.4), що визначили подальшу побудову роботи.

2. Досліджено вплив експлуатаційних і гідрологічних факторів на енергоефективність та встановлено, що мінливість гідрологічних умов зумовлює варіацію операційного показника енергоефективності в межах 40–60 %. Виконано декомпозицію рейсу за якісно різними етапами (рух у повному складі каравану, проводка, маневрування, шлюзування) з урахуванням ступінчастого профілю навантажень головної енергетичної установки та побудовано концептуальну модель енергоефективності, що відокремлює вплив завантаження, гідрології й режимів роботи установки.

3. Розроблено інтегральну математичну модель і спосіб оцінки енергоефективності на основі нормованого показника, у якому транспортну роботу приведено до стандартних гідрологічних умов через коефіцієнт мілководного опору k_H (формули (3.19)–(3.20)). Це є основним науковим результатом роботи, оскільки забезпечує нормовану й порівнянну оцінку рейсів за змінного складу каравану та різних рівнів води Дунаю, на відміну від наявних індексів.

4. Запропоновано посегментно-дискретну форму показника (формули (3.17)–(3.18)) з урахуванням режиму проводок множителем $(2N - 1)$, що усуває математичну невизначеність стандартного показника $EEOI$ на етапах рейсу з нульовою транспортною роботою й дає змогу коректно оцінювати рейс по етапах.

5. Удосконалено модель гідродинамічного опору й потрібної потужності руху каравану – введенням формфактора мілководдя $1 + k^*$ і виокремленням пропульсивного ККД як самостійної стохастичної компоненти (коефіцієнт варіації близько 5 %), поширено застосування методу параметричної діагностики робочого процесу головних двигунів (аналітична синхронізація) на опосередковане визначення ефективної потужності і діагностику технічного стану установки за відносним показником δSFC без прямих вимірювань потужності.

6. Побудовано імовірісно-прогностичне розширення способу, що поєднує Монте-Карло симуляцію рейсу з авторегресійним прогнозом рівнів води Дунаю й перетворює показник на випадкову величину з прогностичним імовірнісним інтервалом. Установлено, що врахування оперативних гідрологічних даних звужує 95-відсотковий імовірнісний інтервал прогнозу приблизно на 22 %, а за результатами аналізу чутливості (скринінгу) глибина фарватеру й швидкість руху домінують у формуванні розкиду показника (понад 83 % сумарного нормованого рангового внеску), що визначає пріоритет маршрутно-часового планування над модернізацією енергетичної установки.

7. Спосіб перевірено на масиві 14 реальних рейсів суден ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство» (116 сегментів); підтверджено узгоджену роботу восьми показників на трьох рівнях застосування (судно, флот, маршрут) і коректність інтегрального показника там, де стандартний показник $EEOI$ втрачає чинність. Кількісно оцінено потенціал підвищення енергоефективності: 14,5–16,3 % палива (32–36 т) та 100–112 т CO_2 на проаналізованому масиві рейсів.

8. Розроблено систему алгоритмів обґрунтування експлуатаційних рішень із чотирма класами типових рішень та кількісними критеріями активації, інтегровану з параметричною діагностикою (зв'язок « $\delta SFC > 1,10 \rightarrow$ технічне обслуговування»). Природний експеримент «рейс P2 $\leftrightarrow$ рейс P5» (різниця у витраті палива у 2,88 раза за

ідентичної конфігурації каравану) підтвердив діагностичну здатність способу, а два аномальні рейси акумулюють понад 85 % відновлюваного потенціалу ефективності.

9. Спосіб застосовано для кількісної оцінки кліматичного ефекту модального зсуву: переведення 1 млн т·км вантажоперевезень з автотранспорту на дунайський штовханий караван дає скорочення викидів приблизно на 127 т CO₂-екв (близько 14 разів «чистіше» за повним паливним циклом). Показано придатність способу до агрегування й звітності щодо вуглецевої інтенсивності флоту відповідно до регуляторного контексту ЄС; обґрунтовано, що відносно висока енергоефективність караванів дозволяє не відносити цей клас флоту до першочергових об'єктів модернізації та переведення на альтернативні види палива.

10. Підтверджено універсальність розробленого способу: після перевизначення транспортної роботи через пасажиро-кілометри (показник $EE_{рах}$, формула (5.5)) його поширено на судно іншого класу — пасажирський круїзний теплохід *m/v Lisabelle*, для якого питомі викиди становлять 139–393 г CO₂-екв/(пас·км). Це розширює застосовність способу за межі вантажного сегмента внутрішнього судноплавства.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень доведено робочу гіпотезу, згідно з якою спосіб оцінки енергоефективності руху суден внутрішнього судноплавства, що одночасно враховує склад каравану (кількість, тип і завантаженість барж), гідрологічні умови плавання (глибину фарватеру, швидкість течії) та профіль режимів роботи головної енергетичної установки і реалізує нормування показника на стандартні умови експлуатації, забезпечує об'єктивну та порівнянну оцінку енергоефективності як самохідних суден, так і штовхачів з караванами на різних ділянках Дунаю й може бути використаний як інструмент для прийняття обґрунтованих експлуатаційних рішень у контексті європейських підходів до індексів енергоефективності для суден внутрішнього водного транспорту.

Наукова новизна роботи полягає у вперше розробленому способі оцінки енергоефективності з гідрологічним нормуванням показника, його посегментно-дискретній та імовірно-прогностичній формах і системі обґрунтування експлуатаційних рішень, в удосконаленні моделі гідродинамічного опору, а також у подальшому розвитку теоретичних уявлень про енергоефективність руху суден внутрішнього судноплавства, методу параметричної діагностики двигунів та поширення способу за межі вантажного сегмента. Практичну значущість підтверджено впровадженням результатів у діяльності Дунайської Комісії, у практику ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство» (у тому числі на т/х «Механик Синилов»), при апробації на пасажирському теплоході *m/v Lisabelle* та в навчальному процесі кафедри інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія». Упровадження результатів у навчальний процес засвідчує також потребу у формуванні в здобувачів морської освіти відповідних фахових компетентностей та управлінських якостей – з енергетичного менеджменту, моніторингу вуглецевої інтенсивності й прийняття рішень на основі експлуатаційних даних і цифрових інструментів, – що є необхідною умовою практичної реалізації методів підвищення енергоефективності флоту. Таким чином, поставлену в роботі мету досягнуто, а сукупність одержаних результатів вирішує

актуальну науково-прикладну задачу підвищення енергоефективності руху суден внутрішнього судноплавства.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз *Web of Science* та/або *Scopus*

1. Varbanets, R., Minchev, D., Kucherenko, Y., Zalozh, V., Kyrylash, O. & **Tarasenko, T.** (2024). Methods of Real-Time Parametric Diagnostics for Marine Diesel Engines. *Polish Maritime Research*, 31(3) 71-84. <https://doi.org/10.2478/pomr-2024-0037>. (**Scopus Q2**; автором взято участь в формуванні первинного тексту, візуалізації ілюстративного матеріалу, формулюванні висновків).

2. **T. Tarasenko**, V. Zalozh, R. Varbanets and D. Minchev. Considerations regarding reducing Danube navigation emissions. *Scientific Bulletin of Naval Academy*, Vol. XXIV 2021, pg.174-183. doi: <https://doi.org/10.21279/1454-864X-21-I1-021>. (**Scopus Q4**; автором сформульовано ідея дослідження, наукову проблему, здійснено критичний аналіз літературних джерел і узагальнення попередніх досліджень, взято участь у рецензуванні та редагуванні).

3. **Tarasenko T.**, Zalozh V. and Maksymov S. The Ways to Improve Energy Efficiency and Eco-friendliness of the Specific Danube Inland Vessels. First Stage. *JPCS*. 2019. Vol. 1297, conference 1. P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1297/1/012019> (**Scopus Q4**; автору належить концептуалізація, адміністрування, написання – суттєве доопрацювання, критичне редагування).

4. Bezlutska, O., Leshchenko, A., Zahorodnia, Y., **Tarasenko, T.**, Sherman, M., & Smyrnova, I. (2021). Management qualities of the marine cadets. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24(1), 1-12. <https://www.abacademies.org/articles/Management-qualities-of-the-marine-cadets-1532-5806-24-1-235.pdf> (**Scopus Q4**; автором підготовлено первинний текст, формулювання висновків і рекомендацій).

Статті в іноземних фахових виданнях

5. **Tarasenko Tetyana**, Zalozh Vitalii. Comparative analysis of energy transition scenarios in maritime shipping. *Scientific Bulletin of Naval Academy*, Vol. XXVIII 2025, pg. 78-86. doi: 10.21279/1454-864X-25-I1-008 (автором сформульовано наукову проблему, мету й завдання дослідження, розроблено його концепцію первинний текст рукопису, взято участь у рецензуванні та редагуванні).

6. **Tarasenko T.**, Zalozh V., Maksymov S. Approach of using a system of evaluation indicators in determining the efficiency of ships in the Danube shipping. *Scientific Bulletin of Naval Academy*. 2022. Vol. XXV. P. 66–74. DOI: <https://doi.org/10.21279/1454-864X-22-I1-008> (автору належить концепція дослідження, організація роботи та координація команди, надання критичних порад, наукового нагляду, редагування).

7. Zalozh V., **Tarasenko T.**, Varbanets R. Efficiency Control Improvement of Diesel Engines Conditions by Using the Method of Analytical Synchronization of Monitored Data. *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*. 2020. Vol. 2, no. 7. P. 151–159. DOI: <https://doi.org/10.47577/technium.v2i7.1829> (автором взято участь в формуванні первинного тексту, візуалізації ілюстративного матеріалу, формулюванні висновків).

Монографії

8. Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту. Колективна монографія /за редакцією В. Чимшир/. – Ізмаїл : ДІ НУ «ОМА» 2020 – Київ: Міленіум, 2020. 472 с. <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2021/04/monografia2020.pdf> (автором здійснено написання початкового варіанту, рецензування та редагування тексту, що стосується шляхів підвищення енергоефективності).

9. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології : монографія / Букарос А. Ю., Онищенко О. А., **Тарасенко Т. В.** та ін.; за наук. ред. В. А. Голікова та О. А. Онищенка. – Миколаїв : Іліон, 2022. – 408 с. ISBN 978-617-534-687-7. DOI: 10.6084/m9.figshare.20279652 (автором здійснено написання початкового варіанту, рецензування та редагування тексту, що стосується шляхів підвищення енергоефективності).

Статті в наукових фахових виданнях України, включених до категорії «Б»

10. **Т. В. Тарасенко**, П. С. Суворов. Сценарний підхід до прогнозування переходу до еконавігації. *Автоматизація суднових технічних засобів: науково-технічний збірник*. 2026. Вип. 31. Одеса: НУОМА. DOI: <https://doi.org/10.31653/1819-3293-2026-1-31-153-166> (автором сформульовано ідею дослідження, виконано розрахункову частину, візуалізацію, підготовлено первинний текст рукопису, взято участь у редагуванні та узгодженні висновків).

11. **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Оцінювання енергоефективності суден внутрішнього плавання за експлуатаційними параметрами суднових двигунів. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії* № 32 (2026). С. 20–32. DOI: <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2026.1.32.020-032> (автору належить концепція застосування методу для окремих типів суден, взято участь в первинному формуванні та остаточному редагуванні тексту).

12. Тарасенко Т. В. Аналіз моделей витрати палива, викидів та показників енергоефективності для штовхачів з караванами барж у дунайському судноплавстві. *Наука і техніка сьогодні*, 2026, Випуск 2(56). С. 2281–2293. doi: 10.52058/2786-6025-2026-2(56)-2281-2293.

13. **Тарасенко Т. В.**, Мазур Т. М. Основні методи моніторингу для управління енергоефективністю на судні згідно додатку VI МК МАРПОЛ 73/78. *Водний транспорт*, 2025, Випуск 2(43). С. 117–122. doi: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.2.43.10> (автору належить концептуалізація, надання критичних порад, редагування, рецензування).

14. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Аналіз трансформації оцінки енергоефективності суден в умовах енергетичного переходу у внутрішньому водному транспорті. *Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій*. 2023. Вип. 1(37). С. 161–170. DOI: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.18> (автором сформульовано ідея дослідження, розроблено методика дослідження, підготовлено первинний текст рукопису, взято участь у рецензуванні та редагуванні).

15. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Деякі питання оцінки енергоефективності суден в умовах енергетичного переходу у внутрішньому судноплавстві. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2023. Вип. 2(2023). С. 37–45. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2023.2.05> (автором сформульовано ідея дослідження, розроблено методика дослідження, підготовлено первинний текст рукопису, взято участь у рецензуванні та редагуванні).

16. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.**, Кирнац В. І., Клименко В. Г., Александровська Н. І. Деякі аспекти застосування системи DEPAS D4.0H для підвищення енергоефективності суден внутрішнього плавання. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2021. Вип. 2(2021). С. 60–67. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2021.2.08> (автору належить концепція застосування методу для окремих типів суден, взято участь в первинному формуванні та остаточному редагуванні тексту).

17. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Обмежувальні фактори в оцінці енергоефективності суден-штовхачів великовантажних составів у внутрішньому плаванні. *Автоматизація суднових технічних засобів*. 2020. № 26. С. 94–109. DOI: <https://doi.org/10.31653/1819-3293-2020-1-26-94-109> (автору належить концепція статті, обробка експериментальних даних та розробка методів оцінки енергоефективності).

18. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.**, Кучеренко Ю. М., Клименко В. Г. Особливості аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в умовах експлуатації. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2020. Вип. 1(2020). С. 14–21. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2020.1.02> (автором взято участь в формуванні первинного тексту, візуалізації ілюстративного матеріалу, формулюванні висновків).

19. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.**, Белоусова Т. П., Єриганов О. В. Метод аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в експлуатації. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2020. Вип. 7. С. 118–128. DOI: <https://doi.org/10.32620/aktt.2020.7.17> (автором взято участь у рецензуванні та редагуванні рукопису, узгодженні остаточної версії статті до публікації).

20. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Оцінка енергоефективності для умов навігаційних невизначеностей у внутрішньому судноплавстві. *Автоматизація суднових технічних засобів*. 2019. № 25. С. 90–100. URL: <http://ast.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/astf-2019-1-25-90-100.pdf> (автором здійснено збір та систематизація первинних даних, інтерпретація результатів, формування висновків, остаточне редагування).

21. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І., Максимов С. Б. Про співвідношення показників енергоефективності та екологічності для суден внутрішнього плавання. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2019. № 3 (251). С. 168–175. URL: [http://sazt-snu.in.ua/uploads/BA_3_\(251\).pdf](http://sazt-snu.in.ua/uploads/BA_3_(251).pdf) (автором виконано аналіз літературних джерел, узагальнення попередніх досліджень, взято участь у рецензуванні та редагуванні тексту).

22. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Принципи визначення індикаторів енергоефективності для суден внутрішнього плавання. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2018. № 2 (243). С. 203–207. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU_2018_2_38, [http://sazt-snu.in.ua/uploads/14_05_BA_2_\(243\).pdf](http://sazt-snu.in.ua/uploads/14_05_BA_2_(243).pdf) (автором виконано систематизацію первинних даних, підготовлено ілюстративний матеріал).

23. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Оцінка факторів, що визначають енергоефективність суден внутрішнього плавання. *Автоматизація судових технічних засобів*. 2018. Вип. 24. С. 94-102. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/asts_2018_24_12 (автором сформульовано наукову проблему, мету й завдання дослідження, систематизація первинних даних, виконано первинний текст, формулювання висновків).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

24. **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Параметричне діагностування судових дизелів у задачах оцінювання енергоефективності суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2026)*. Збірник матеріалів XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Одеса, 26–28 травня 2026 року). Одеса: Херсонська державна морська академія, 2026. С. 412-415. URL: https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2026/05/MINTT_2026.pdf (автору належить концепція статті та аналіз тенденцій розвитку систем параметричного діагностування судових дизелів).

25. **Тарасенко Т. В.** Моніторинг робочого процесу головних двигунів як джерело уточнених даних про ефективну потужність дунайських штовхачів. *Сучасні проблеми двигунобудування, енергетики та інтелектуальної механіки – 2026*. Відкрита науково-практична студентська конференція факультету авіаційних двигунів (ФАД) Національного аерокосмічного університету "ХАІ" (20-21 травня 2026 р. DOI: <https://doi.org/10.32620/FAE.26> (автором виконано аналіз застосовності систем параметричного діагностування судових дизелів для визначення енергоефективності роботи суден).

26. **Tarasenko Tetyana**, Zalozh Vitalii. Comparative analysis of parametric diagnostics-based energy efficiency assessment methods for inland vessels. *The 12th International Scientific Conference SEA-CONF 2026 May 14-16, 2026 — Constantza, Romania*. URL: <https://www.anmb.ro/ro/conferinte/sea-conf2026/brosura%20sea%20conf%202026.pdf> (автором прийнято участь у формуванні концепції, виконано аналіз існуючих методів оцінки енергоефективності у внутрішньому судноплавстві, сформульовано висновки).

27. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.** Енергоефективність дунайських штовхачів з караванами барж у науці й освіті. *Інноваційні підходи до розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення: матеріали X Міжн.наук.-практ. конф.* Ізмаїл, 24-25 квітня 2026 р. - Запоріжжя: АА Тандем, 2026. С. 91-94. URL: <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2020/02/B7-2026-80.pdf> (автором взято участь в формуванні первинного тексту, редагуванні, формулюванні висновків).

28. Tarasenko T. V. Analysis of the results of the assessment of energy efficiency indicators for inland navigation vessels by labeling levels. *The 5th International Maritime Scientific Conference "Maritime Research and Education in Global Context"* (BSMA, 11-12.12.2025, Batumi, Georgia) URL: <https://drive.google.com/file/d/17dbokNTcG61MiOozv1Q0OknoPAYisGVM/view>.

29. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.** Аналіз актуальної проблематики нормування енергоефективності та переходу до еконавігації у внутрішньому судноплавстві Європи. *ДНІПРОВСЬКІ ЧИТАННЯ-2025: Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції.* м. Київ, 11 грудня 2025 р. – Київ: вид-во Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій. – С. 97-102. URL: <https://drive.google.com/drive/folders/1gfGWBA9JB6PDh6lcBYIUHfPfc3VkJApCv?usp=sharing> (автором прийнято участь у формуванні концепції збереження оцінки енергоефективності при роботі суден на альтернативних паливах в умовах енергетичного переходу).

30. **Тарасенко Т. В.** Оцінка енергоефективності у внутрішньому судноплавстві та окремі питання її нормування. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XVI Міжн.наук.-практ.конф.* (м. Ізмаїл, 5-6 грудня 2025 р.). Пленарна доповідь. URL: <https://drive.google.com/file/d/1JjLIRAIKrFU5uAg4E5Qr8UssG9HZdMex/view>.

31. **Тарасенко Т. В.** Аналіз результатів оцінки індексів енергоефективності суден у внутрішньому судноплавстві. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XVI Міжн.наук.-практ.конф.* (м. Ізмаїл, 5-6 грудня 2025 р.). Запоріжжя, 2025. с. 362-365. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17811741>.

32. **Тарасенко Т. В.** Деякі питання актуалізації освітньо-професійних програм для морських спеціальностей. *Інноваційні підходи до розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення: матеріали IX Міжн.наук.-практ. конф.* Ізмаїл, 25-26 квітня 2025 р. - Запоріжжя: АА Тандем, 2025. С. 74-78.

33. **Tarasenko Tetyana, Zalozh Vitalii.** Comparative analysis of energy transition scenarios in maritime shipping. *The 11th International Scientific Conference SEA-CONF 2025 May 15-17, 2025 — Constantza, Romania.* https://www.anmb.ro/ro/conferinte/sea-conf2025/Program_Sea-Conf_2025.pdf (автором сформульовано наукову проблему, мету й завдання дослідження, розроблено його концепцію первинний текст рукопису, взято участь у рецензуванні та редагуванні).

34. **T. V. Tarasenko, P. S. Suvorov.** Analytical Look at Possible Energy Transition and Econavigation Scenarios. *VI International Maritime Scientific Conference Marine Power Plants & Operation*, 4 березня 2025 р., м. Одеса, Одеський національний морський університет.

<https://2025.depas.od.ua/en/main/>,
https://drive.google.com/file/d/1_6FX2C0kytDKrPJ-epXaaCjfW2zjjmw_/view (автором взято участь в формуванні первинного тексту, підготовці рисунків, схем, таблиць, формулюванні висновків).

35. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.** Окремі питання забезпечення безпеки при використанні альтернативних палив на судах. *ДНІПРОВСЬКІ ЧИТАННЯ-2024: Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції* м. Київ, 5 грудня 2024 р. – Київ: вид-во KIBT ДУІТ. – С. 104-108. URL: https://drive.google.com/drive/folders/1KE3SENA44TJ8UD0a7Y5c_gBq9HMCwb5I?usp=sharing (автором прийнято участь у формуванні концепції збереження оцінки енергоефективності при роботі суден на альтернативних паливах в умовах енергетичного переходу).

36. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.** Деякі питання застосування альтернативних палив на судах внутрішнього плавання. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XV Міжн.наук.-практ.конф.* (м. Ізмаїл, 8-9 грудня 2024 р.). Запоріжжя, 2024. с. 319-322. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14560948> (автором прийнято участь у формуванні концепції збереження оцінки енергоефективності при роботі суден на альтернативних паливах в умовах енергетичного переходу).

37. **Тарасенко Т. В.** Деякі особливості енергетичного переходу у дунайському судноплаванні. *Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали VI міжнар. наук.-практ. конф.*, 14-16 трав. 2024 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. – 2024. – с. 213-216. <https://doi.org/10.63048/978-617-7926-61-9.0>.

38. **Тарасенко Т. В.** Аналіз проблематики впровадження питань еконавігації та енергетичного переходу до освітнього процесу. *Інноваційні підходи до розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення: матеріали VIII Міжн.наук.-практ. конф.* Ізмаїл, 19-20 квітня 2024 р. - Запоріжжя: АА ТанDEM, 2024. С. 71-73.

39. В. І. Залож, **Т. В. Тарасенко**, Р. А. Варбанець. Огляд сучасних тенденцій розвитку систем моніторингу судових дизельних двигунів. *V International Maritime Scientific Conference Marine Power Plants & Operation*, 5 березня 2024 р., м. Одеса, Одеський національний морський університет. https://drive.google.com/file/d/1tM51ZXS8PMIzhEbZL3_1YCQaKK5aVrPW/view (автором прийнято участь у формуванні концепції застосування систем моніторингу для оцінки енергоефективності суден).

40. Залож В. І., **Тарасенко Т. В.** Огляд існуючих систем моніторингу суднових дизельних двигунів. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2024* : матеріали 15-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 13-15 березня 2024 р. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2024. С. 60-62. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2024/03/9E-2024.pdf> (автором взято участь в формуванні первинного тексту, підготовці рисунків, схем, висновків).

41. **Тарасенко Т. В.** Окремі питання енергоефективності роботи суден-штовхачів з караванами на Дунаї. *Сучасні підходи до вискооефективного використання засобів транспорту: матеріали XIV Міжн.наук.-практ.конф.* (м. Ізмаїл, 8-9 грудня 2023 р.). Запоріжжя, 2023. с. 170-175. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33864.49928>.

42. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.** Оцінка основних критеріїв вибору альтернативного пального для суден внутрішнього плавання в експлуатації. *ДНІПРОВСЬКІ ЧИТАННЯ-2023: Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції* м. Київ, 7 грудня 2023 р. – Київ: вид-во Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій. – С. 95-99 (автором прийнято участь у формуванні концепції збереження оцінки енергоефективності при роботі суден на альтернативних паливах в умовах енергетичного переходу).

43. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Особливості оцінки енергоефективності суден у внутрішньому судноплаванні. *XXVIII - міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей.* – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2023. С. 43-44. http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/19154/1/2_5204362209303475801.pdf (автором сформульовано наукову проблему, мету й завдання дослідження, розроблено первинний текст рукопису, взято участь у редагуванні).

44. **Тарасенко Т. В.** Актуальні питання оцінки енергоефективності суден в умовах енергетичного переходу на внутрішньому водному транспорті. *Інноваційні підходи до розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення: матеріали VII Міжн.наук.-практ. конф.* Ізмаїл, 21-22 квітня 2023 р. - Запоріжжя: АА Тандем, 2023. С. 83-88. <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2023/05/zbyrnyk210423.pdf>.

45. Варбанець Р.А., Мінчев Д.С., Залож В.І., **Тарасенко Т.В.**, Абросімов В. Г. Підхід до неруйнівної діагностики системи впорскування палива суднового двигуна з використанням вібродатчиків. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2023* : матеріали 14-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 16-18 березня 2023 р. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2023. С. 109-113. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2023/05/9E-2023.pdf> (автором прийнято участь у формуванні концепції застосування систем моніторингу для оцінки енергоефективності суден).

46. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.** Деякі аспекти сценаріїв модернізації флоту в умовах енергетичного переходу у внутрішньому водному транспорті. *ДНІПРОВСЬКІ ЧИТАННЯ-2022*: Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 8 грудня 2022 р. – Київ: вид-во Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій. – С. 124-129. <https://files.duit.edu.ua/uploads/90/conferences/international-scientific-and-practical-conferences/third-dnipro-reading-materials.pdf> (автором прийнято участь у формуванні концепції модернізації флоту в умовах енергетичного переходу).

47. Суворов П. С., **Тарасенко Т. В.** Енергоефективність суден внутрішнього плавання та Концепція енергетичного переходу *EUROPEAN GREEN DEAL*. Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2022: матеріали 13-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 07-09 вересня 2022 р. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2022. С. 120-122. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2023/06/9E-2022.pdf> (автором прийнято участь у формуванні концепції збереження оцінки енергоефективності при роботі суден на альтернативних паливах в умовах енергетичного переходу).

48. **Tarasenko T.**, Zalozh V., Maksymov S. Approach of using a system of evaluation indicators in determining the efficiency of ships in the Danube shipping. *The 8th International Scientific Conference SEA-CONF 2022, May 19-20, 2022*. Constantza, Romania, 2022. P. 19-20 (автору належить концепція дослідження, організація роботи та координація команди, надання критичних порад, наукового нагляду, редагування).

49. **Тарасенко Т. В.** Оцінка потенціалу зменшення шкідливих викидів у дунайському судноплаванні. Сучасні підходи до вискоєфективного використання засобів транспорту: матеріали XIII Міжн.наук.-практ.конф. (м. Ізмаїл, 8-9 грудня 2022 р.). Запоріжжя, 2022. с. 166-168. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16687.41120>.

50. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.**, Россомаха О. А. Аналітичні способи визначення положення верхньої мертвої точки поршня. *MPP&O-2022 (Marine Power Plants and Operation)*: матеріали IV Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету, 18-21 квітня 2022. – Х.: Видавництво Іванченка І. С., 2021. – с. 57-67 (автором сформовано концепцію застосування систем моніторингу для оцінки енергоефективності суден).

51. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.** Застосування результатів діагностування головних дизелів для обґрунтування оптимальних режимів експлуатації. Суднова енергетика: стан та проблеми. Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції, 4–5 листопада 2021 року Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2021. С. 103-107 (автором сформовано концепцію застосування результатів параметричної діагностики для підвищення енергоефективності суден, прийнято участь у формуванні висновків).

52. **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Деякі тенденції розгляду перспектив розвитку внутрішнього водного транспорту у контексті його енергоефективності. *Прогресивні технології засобів транспорту*. Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції, 23-24 вересня 2021 р. Харків-Миргород: УкрДУЗТ, 2021. С. 166 – 167 (автор здійснював аналіз застосовності методів оцінки енергоефективності у внутрішньому судноплавстві).

53. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.** Підвищення енергоефективності суден внутрішнього плавання із застосуванням системи DEPAS D4.0H. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування SEUTTOO-2021*: матеріали 12-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 06-08 вересня 2021 р. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2021. С. 33-37 (автором сформовано концепцію застосування результатів параметричної діагностики для підвищення енергоефективності суден, прийнято участь у формуванні висновків).

54. **Тарасенко Т. В.** Навігаційні умови у внутрішньому судноплавстві та енергоефективність. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XII Міжн.наук.-практ.конф.* (м.Ізмаїл, 9-10 грудня 2021 р.). Запоріжжя, 2021. с. 207-210. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14310.55368>.

55. Р. А. Варбанець, В. І. Залож, **Т. В. Тарасенко**, В. І. Кирнац, В. Г. Клименко, Н. І. Александровська. Застосування системи DEPAS D4.0H для підвищення енергоефективності суден. *XXVI - міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей.* – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2021. С. 40-41 (автором сформовано концепцію застосування результатів параметричної діагностики для підвищення енергоефективності суден, прийнято участь у формуванні висновків).

56. **Tarasenko T.**, Zalozh V., Varbanets R., Minchev D. The considerations regarding reducing Danube navigation emissions. *7th International Scientific Conference SEA-CONF 2021, May 21-22, 2021. Constantza, Romania, 2021.* Р. 7–8 (автором сформульовано ідею дослідження, наукову проблему, здійснено критичний аналіз літературних джерел і узагальнення попередніх досліджень, взято участь у рецензуванні та редагуванні).

57. **Тарасенко Т. В.** Деякі аспекти покращення екологічності та підвищення енергоефективності у дунайському судноплавстві. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету, квітень 2021.* – Х.: Видавництво Іванченка І.С., 2021. – с.452-455.

58. **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Енергоефективність у дунайському судноплавстві: основні аспекти та проблематика. *Інноваційні підходи розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення: матеріали V Міжн.наук.-практ.конф.* (м.Ізмаїл, 28 червня 2021 р.). Запоріжжя, 2021. с. 234-236 (автором здійснено постановка наукової проблеми, розроблено первинний текст, здійснено остаточне редагування).

59. **Тарасенко Т. В.** Управління енергоефективністю та енергоефективний менеджмент у внутрішньому судноплавстві. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XI Міжн.наук.-практ.конф.* (м.Ізмаїл, 3-4 грудня 2020 р.). Запоріжжя, 2020. С. 234-236. Режим доступу: <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2020/12/tezy041220.pdf>.

60. **Тарасенко Т. В.** Загальні тенденції у сучасній світовій вантажній базі та у світовому міжнародному судноплавстві. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XI Міжн.наук.-практ.конф.* (м.Ізмаїл, 3-4 грудня 2020 р.). Запоріжжя, 2020. С. 150-155.

61. Zalozh, V., **Tarasenko, T.**, Varbanets, R. Efficiency control improvement of diesel engines conditions by using the method of analytical synchronization of monitored data. *Proceedings of the 7th Technium Conference 2020*, 12 October 2020, Constanta, Romania. Vol. 2 No. 7, 2020. P. 151-159. URL: <https://techniumscience.com/index.php/conference/article/view/1828/689> (автором взято участь в формуванні первинного тексту, візуалізації ілюстративного матеріалу, формулюванні висновків).

62. **Тарасенко Т. В.** Некоторые аспекты определения транспортной работы большегрузных составов во внутреннем судоходстве. *Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути* [зб. наук. пр.]: матеріали VII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Київ, 21 серпня 2020 р.). Київ, 2020. 169 с. с. 131-138. <https://openscilab.org/?p=1183>.

63. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.**, Абросімов В. Г., Клименко В. Г., Ваганов О. І. Аналітична синхронізація даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в умовах експлуатації. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування*. Матеріали 11-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 08-10 вересня 2020 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія. С. 39-41. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/seutto_2020.pdf (автором взято участь в формуванні концепції, первинного тексту, візуалізації ілюстративного матеріалу, формулюванні висновків).

64. **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І. Деякі аспекти оцінки енергоефективності суден-штовхачів великовантажних складів у внутрішньому плаванні. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування*. Матеріали 11-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 08-10 вересня 2020 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія. С. 28-32. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/seutto_2020.pdf (автору належить концепція, аналіз та обробка експериментальних даних).

65. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.**, Белоусова Т. П., Єриганов О. В., Клименко В. Г. Метод аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в експлуатації. *XXV - міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей*. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2020. С. 40-41 (автором сформовано концепцію застосування результатів параметричної діагностики для підвищення енергоефективності суден, прийнято участь у формуванні висновків).

66. Варбанець Р. А., Залож В. І., **Тарасенко Т. В.**, Абросімов В. Г., Клименко В. Г. Рішення задачі аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в умовах експлуатації. *XXV - міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей*. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2020. С. 38-40 (автором сформовано первинний текст, прийнято участь у візуалізації ілюстративного матеріалу).

67. **Тарасенко Т. В.**, Залож В. І., Максимов С. Б. Оцінка енергоефективності в умовах невизначеностей обмежувальних факторів у внутрішньому судноплаванні. *Інноваційні підходи розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення*. Матеріали IV Міжн. наук. - практ. конф., 24 квітня 2020 р.- 42-45 с. Режим доступу: <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2020/05/B4.pdf> (автором здійснено постановка наукової проблеми, розроблено первинний текст, здійснено остаточне редагування).

68. Дімоглова О. В., **Тарасенко Т. В.** Сучасний стан професійної підготовки та основні вимоги до майбутніх суднових механіків. *Стратегічний потенціал державного та територіального розвитку*: Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Маріуполь, 9-10 жовтня 2019 р.). – Маріуполь; Кривий Ріг: Вид. Р. А. Козлов, 2019. – 371-374 с. Режим доступу: <https://dsum.edu.ua/storage/documents/konf/Konferentsiya-2019-1.pdf> (автором здійснено постановка наукової проблеми професійної підготовки, розроблено первинний текст, здійснено остаточне редагування).

69. **Тарасенко Т. В.**, Дімоглова О. В. Система професійної підготовки майбутніх суднових механіків в Україні / Т. В. Тарасенко, О. В. Дімоглова // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 10-та Міжнародна науково-практична конференція, 12-13 вересня 2019 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія. – 311-314 С. Режим доступу: https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/seutto_2019_.pdf (автором здійснено постановка наукової проблеми професійної підготовки, розроблено первинний текст, здійснено остаточне редагування).

70. Varbanets R., Zalozh V., **Tarasenko T.** The Working Process Monitoring In Transport Diesel Engines Operating. *Achievements of modern society: abstracts of the 4th International scientific and practical conference, 4-6 December 2019*. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2019. P.36-41. Режим доступу: https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2019/12/scientific-achievements-of-modern-society_4-6.12.19.pdf (автором сформовано первинний текст, прийнято участь у візуалізації ілюстративного матеріалу).

71. **Tarasenko T.**, Zalozh V. and Maksymov S. The Ways to Improve Energy Efficiency and Eco-friendliness of the Specific Danube Inland Vessels. First Stage. *5th International Scientific Conference SEA-CONF 2019, May 17-8, 2019*. Constantza, Romania, 2019. P. 7–8. https://www.anmb.ro/ro/conferinte/sea-conf/arhiva/program_sea-conf_2019.pdf (автору належить концептуалізація, адміністрування, написання – суттєве доопрацювання, критичне редагування).

АНОТАЦІЯ

Тарасенко Т. В. Розробка способу оцінки енергоефективності руху суден у внутрішньому судноплаванні. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», Ізмаїл, 2026.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу – розроблено науково обґрунтований спосіб оцінки енергоефективності руху суден внутрішнього судноплавства (самохідних суден і штовхачів з караванами несамохідних барж) у змінних навігаційних та експлуатаційних умовах, придатний

для управління енергоефективністю флоту й гармонізований з регуляторними вимогами ЄС. Актуальність роботи зумовлена визнанням внутрішнього водного транспорту одним із ключових елементів стратегії декарбонізації, посиленням екологічних і регуляторних вимог ЄС та непридатністю наявних індексів типу $EEDI$, $EEXI$, $EEOI$, $EEDI_{Binnen}$, орієнтованих на морські судна та стаціонарні умови, до специфіки дунайських караванів зі змінним складом і суттєвим впливом гідрологічних умов. Об'єктом дослідження є процес руху та експлуатації суден внутрішнього судноплавства у системі дунайського судноплавства, предметом – параметри та взаємозв'язки, що визначають енергоефективність такого руху, та спосіб її оцінки.

Основу запропонованого способу становить нормований показник енергоефективності, у якому транспортну роботу приведено до стандартних гідрологічних умов через коефіцієнт мілководного опору k_H , що вперше забезпечує нормовану й порівнянну оцінку рейсів за змінного складу каравану та різних рівнів води Дунаю. Показник реалізовано у посегментно-дискретній формі з урахуванням режиму проводок множителем $(2N - 1)$, що усуває математичну невизначеність стандартного показника $EEOI$ на етапах рейсу з нульовою транспортною роботою. Побудовано імовірісно-прогностичне розширення способу, яке поєднує Монте-Карло симуляцію рейсу з авторегресійним прогнозом (AR(1)) рівнів води Дунаю й перетворює показник на випадкову величину з визначеними розподілом та імовірнісним інтервалом; встановлено, що врахування оперативних гідрологічних даних звужує 95-відсотковий імовірнісний інтервал прогнозу приблизно на 22 %. Удосконалено модель гідродинамічного опору й потрібної потужності – введенням формфактора мілководдя $1 + k^*$ та виокремленням пропульсивного ККД як самостійної стохастичної компоненти, а також метод параметричної діагностики робочого процесу головних двигунів, поширений на опосередковане визначення ефективної потужності й діагностику технічного стану за відносним показником δSFC . За результатами аналізу 265798 добових записів рівнів води по 71 водомірному посту встановлено зростання коефіцієнта авторегресії від 0,90 на верхньому до 0,99 на нижньому Дунаї та кластерну кореляційну структуру постів, що обґрунтовує прогностичну методику.

Спосіб перевірено на масиві 14 реальних рейсів суден ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство» (116 сегментів); підтверджено узгоджену роботу восьми показників на трьох рівнях застосування (судно, флот, маршрут) і коректність інтегрального показника там, де стандартний показник $EEOI$ втрачає чинність. Кількісно оцінено потенціал підвищення енергоефективності – 14,5–16,3 % палива (32–36 т) та 100–112 т CO_2 на проаналізованому масиві рейсів. Підтверджено універсальність способу: після перевизначення транспортної роботи через пасажиро-кілометри (показник EE_{pax}) його поширено на пасажирський круїзний теплохід *m/v Lisabelle*, для якого питомі викиди становлять 139–393 г CO_2 екв/(пас·км). Спосіб застосовано також для кількісної оцінки кліматичного ефекту модального зсуву: переведення 1 млн т·км вантажоперевезень з автотранспорту на дунайський штовханий караван дає скорочення викидів приблизно на 127 т CO_2 -екв, що приблизно у 14 разів «чистіше» за повним паливним циклом.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблений спосіб і його програмна реалізація доведені до рівня інструмента, придатного для безпосереднього використання в експлуатаційній і управлінській практиці підприємств внутрішнього водного транспорту, без втручання в конструкцію енергетичної установки судна. Результати впроваджено в діяльності Дунайської Комісії (при підготовці Додатка 5 до Дорожньої карти декарбонізації дунайського флоту), у практику ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство» (зокрема на т/х «Механик Синилов»), при апробації на пасажирському теплоході *m/v Lisabelle* та в навчальному процесі кафедри інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» (м. Ізмаїл).

Ключові слова: енергоефективність, внутрішнє судноплавство, штовхач, караван несамохідних барж, Дунай, гідрологічне нормування, коефіцієнт мілководного опору, питома витрата палива, параметрична діагностика, метод Монте-Карло, авторегресійне прогнозування, вуглецева інтенсивність, модальний зсув.

ABSTRACT

Tarasenko T. V. Development of a Method for Assessing the Energy Efficiency of Vessel Movement in Inland Navigation. – Qualifying scientific manuscript.

Dissertation for the Doctoral Degree in Technical Sciences, specialty 05.22.20 – Operation and Repair of Means of Transport. – Danube Institute of National University «Odessa Maritime Academy», Odessa, 2026.

The dissertation solves a relevant scientific and applied problem – it develops a scientifically grounded method for assessing the energy efficiency of the movement of inland navigation vessels (self-propelled vessels and pushers with convoys of non-self-propelled barges) under variable navigational and operational conditions, suitable for fleet energy-efficiency management and harmonized with the regulatory requirements of the EU. The relevance of the work stems from the recognition of inland waterway transport as one of the key elements of the decarbonization strategy, from the tightening of the EU's environmental and regulatory requirements, and from the unsuitability of the existing indices of the *EEDI*, *EEXI*, *EEOI*, *EEDI_{Binnen}* type – oriented toward seagoing vessels and steady-state conditions – for the specifics of Danube convoys with variable composition and a substantial influence of hydrological conditions. The object of the research is the process of movement and operation of inland navigation vessels within the Danube navigation system; the subject is the parameters and relationships that determine the energy efficiency of such movement and the method of its assessment.

The proposed method is based on a normalized energy-efficiency indicator in which transport work is reduced to standard hydrological conditions through the shallow-water resistance coefficient k_H , which for the first time provides a normalized and comparable assessment of voyages under variable convoy composition and different Danube water levels. The indicator is implemented in a segment-discrete form accounting for the lightering mode through the multiplier $(2N - 1)$, which eliminates the mathematical indeterminacy of the standard *EEOI* indicator at voyage stages with zero transport work. A probabilistic-prognostic extension of the method has been constructed that combines a Monte Carlo voyage simulation with an autoregressive (AR(1)) forecast of Danube water levels and

transforms the indicator into a random variable with a defined distribution and probability interval; it has been established that accounting for operational hydrological data narrows the 95 % probability interval of the forecast by approximately 22 %. The model of hydrodynamic resistance and required power has been improved by introducing the shallow-water form factor $1 + k^*$ and by isolating the propulsive efficiency as an independent stochastic component, as has the method of parametric diagnostics of the working process of the main engines, extended to the indirect determination of effective power and the diagnostics of technical condition by the relative indicator δSFC . Based on the analysis of 265798 daily water-level records from 71 gauging stations, an increase in the autoregression coefficient from 0.90 on the upper to 0.99 on the lower Danube and a cluster correlation structure of the stations have been established, which substantiates the prognostic methodology.

The method has been verified on an array of 14 real voyages of vessels of PJSC "Ukrainian Danube Shipping Company" (116 segments); the consistent operation of eight indicators at three application levels (vessel, fleet, route) and the validity of the integral indicator where the standard *EEOI* indicator loses its applicability have been confirmed. The potential for improving energy efficiency has been quantified at 14.5–16.3 % of fuel (32–36 t) and 100–112 t of CO₂ on the analyzed array of voyages. The universality of the method has been confirmed: after redefining transport work in passenger-kilometers (the *EEpax* indicator), it has been extended to the passenger cruise vessel m/v *Lisabelle*, for which the specific emissions amount to 139–393 g CO₂-eq/(pax·km). The method has also been applied to the quantitative assessment of the climate effect of modal shift: transferring 1 million t·km of freight traffic from road transport to a Danube pushed convoy yields an emission reduction of approximately 127 t CO₂-eq, which is about 14 times "cleaner" over the full fuel cycle.

The practical significance of the results obtained lies in the fact that the developed method and its software implementation have been brought to the level of a tool suitable for direct use in the operational and managerial practice of inland waterway transport enterprises, without intervention in the design of the vessel's power plant. The results have been implemented in the activities of the Danube Commission (in the preparation of Annex 5 to the Roadmap for the decarbonization of the Danube fleet), in the operational practice of PJSC "Ukrainian Danube Shipping Company" (in particular on the m/v "Mekhanik Sinilov"), in the validation on the passenger vessel m/v *Lisabelle*, and in the educational process of the Department of Engineering Disciplines of the Danube Institute of the National University "Odessa Maritime Academy" (Izmail).

Keywords: energy efficiency, inland navigation, pusher, convoy of non-self-propelled barges, Danube, hydrological normalization, shallow-water resistance coefficient, specific fuel consumption, parametric diagnostics, Monte Carlo method, autoregressive forecasting, carbon intensity, modal shift.

Підписано до друку 24.06.2026 р.
Формат 60×84/16. Папір офісний. Ум. друк. арк. 2,5
Тираж 100 пр. Зам. № ІД-2

Дунайський інститут
Національного університету «Одеська морська академія»
68600, м. Ізмаїл, просп. Миру, 15
Тел. +38 (04841) 6–11–66, +38 (048) 771–61–01
dinuoma@onma.edu.ua

