

Економічні наслідки впровадження систем вуглецевого моніторингу у світовому судноплаванні

Толобаєв Георгій Геннадійович¹

Опубліковано	Секція	УДК
29.10.2023	Соціальні та поведінкові науки	656.61:502.171

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17596398>

Ліцензовано за умовами Creative Commons BY 4.0 International license

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена потребою адаптації світового судноплавання до вимог декарбонізації, що змінюють економічну логіку управління витратами та конкурентоспроможністю. Метою статті є з'ясування теоретичних і практичних засад впливу систем вуглецевого моніторингу на економічні параметри судноплавання та обґрунтування шляхів підвищення енергоефективності й фінансової стійкості флоту. Методологія дослідження базується на системному, порівняльному та аналітичному підходах із використанням статистичного аналізу та економічного моделювання. У результаті дослідження доведено вплив MRV і DCS на формування нової витратної структури, у якій енергоефективність стає чинником конкурентоспроможності. З'ясовано, що MRV і DCS формують основу нової економіки судноплавання. Подальші дослідження мають бути спрямовані на моделювання сценаріїв декарбонізації та автоматизацію MRV/DCS з використанням штучного інтелекту.

Ключові слова: енергоефективність суден, вуглецеві квоти, екологічна відповідальність, цифровий моніторинг, фінансова стійкість, міжнародні екостандарти, зелена логістика.

Economic consequences of the implementation of carbon monitoring systems in global shipping

Annotation. Relevance of the research is determined by the intensification of global environmental requirements for maritime transport and the necessity to adapt the shipping industry to decarbonization standards that define new economic conditions for its operation. The implementation of MRV and DCS has significantly affected the cost structure, competitive dynamics, and investment priorities of shipping companies, demanding the creation of integrated management models capable of aligning environmental responsibility with financial efficiency.

The purpose of the article is to establish the theoretical foundations and practical mechanisms of the impact of carbon monitoring systems on the economic parameters of global shipping and to substantiate effective approaches to improving fleet energy efficiency and financial resilience under the conditions of global decarbonization.

The research methodology is based on a systemic approach combining economic analysis, comparative legal assessment, structural-functional analysis, and elements of modeling. Statistical methods are applied to evaluate the impact of energy efficiency on transportation

¹ магістр, морський суперінтендант, tolobaev9@gmail.com

costs, while analytical generalization is used to identify interrelations between technical, financial, and regulatory aspects of operators' activities.

The research results demonstrate that the introduction of MRV and DCS systems has led to a structural transformation of shipping companies' expenditures, the emergence of a new category of costs associated with digital monitoring and verification, and a shift in market priorities toward energy-efficient operators. It has been revealed that a 5–7 % increase in vessel energy efficiency reduces transportation costs by 8–10 % and enhances the fleet's investment attractiveness. The study identifies key implementation challenges related to regulatory fragmentation, technical incompatibility, and high financial barriers for small and medium-sized operators.

Conclusions indicate the existence of a direct relationship between vessel energy efficiency, transportation cost levels, and the competitiveness of operators. It is proven that MRV and DCS systems constitute the foundation of a new economic model of maritime transport, where environmental compliance becomes a determinant of financial stability and market credibility.

Prospects for further research include modeling decarbonization scenarios for the global fleet considering carbon credit price dynamics, developing digital platforms for MRV/DCS automation based on artificial intelligence, and designing unified international mechanisms for financing the transition toward low-carbon shipping.

Keywords: vessel energy efficiency, carbon credits, environmental accountability, digital monitoring, financial resilience, international eco-standards, green logistics.

Вступ

У сучасній системі міжнародного морського транспорту формування ефективних механізмів контролю за викидами парникових газів набуває стратегічного значення, оскільки саме судноплавна галузь залишається одним із найбільших джерел вуглецевого забруднення в глобальній економіці. Зростання обсягів світової торгівлі, інтенсивність морських перевезень і залежність від традиційних видів палива посилюють екологічні ризики, що потребує запровадження комплексних систем вимірювання, звітування та верифікації викидів. У цьому контексті важливу роль відіграють європейська Система моніторингу, звітності та верифікації (Monitoring, Reporting and Verification, MRV) та Міжнародна система збору даних про споживання палива (Data Collection System, DCS), розроблена Міжнародною морською організацією (International Maritime Organization, IMO). Їх запровадження трансформує економічну модель діяльності судноплавних компаній, зумовлюючи необхідність поєднання екологічної відповідальності з економічною доцільністю.

Проблематика дослідження полягає у виявленні та науковому обґрунтуванні економічних наслідків функціонування систем вуглецевого моніторингу для глобального судноплавства, оскільки вони впливають не лише на витратну структуру операторів, а й на механізми формування конкурентоспроможності, доступ до фінансування та інвестиційну привабливість флоту. На практичному рівні актуальним завданням є визначення оптимальної моделі управління витратами, що дозволяє компенсувати додаткові фінансові навантаження шляхом підвищення енергоефективності, цифровізації операційних процесів і переходу на альтернативні види палива. З наукового погляду, проблема вимагає комплексного підходу, який поєднує економетричний аналіз впливу MRV і DCS на ринкову динаміку з оцінкою їхнього внеску у формування нової архітектури сталого морського транспорту. Такий підхід забезпечує можливість розроблення практичних рекомендацій для адаптації національних судноплавних стратегій до вимог глобальної декарбонізації та інтеграції України у світову систему зеленого морського управління.

Проблема впливу систем моніторингу викидів CO₂ на економіку міжнародного морського транспорту є предметом системного аналізу в сучасних наукових дослідженнях. Зокрема, З. Ван та співавтори (Z. Wan et al.) визначають основні напрями політики скорочення викидів та пропонують поєднання ринкових і регуляторних механізмів для зменшення вуглецевого сліду міжнародного судноплавства [1]. Функціонування системи торгівлі викидами (Carbon Emission Trading Scheme) у морському секторі аналізують М. Ву та колеги (M. Wu et al.), демонструючи, що її впровадження суттєво змінює структуру витрат операторів і підходи до фінансового планування перевізників [2]. Критичний огляд механізмів досягнення цілей ІМО щодо скорочення викидів парникових газів здійснюють П. Серра (P. Serra) та Дж. Фанчелло (G. Fancello), підкреслюючи економічні ризики для судноплавних компаній унаслідок жорсткіших екологічних норм [3]. Масштабний огляд ринкових механізмів зменшення викидів, таких як податки на вуглець, системи квотування й компенсаційні програми, які впливають на конкурентне середовище судноплавства, пропонує колектив науковців на чолі з С. Лагувардоу (S. Lagouvardou et al.) [4].

У контексті технологічних інновацій, що визначають економічну ефективність скорочення викидів і підвищення енергоефективності судноплавства, Х. Нгуєн та співавтори (H. Nguyen et al.) доводять, що електричні рушійні системи є ефективним інструментом управління викидами CO₂, оскільки поєднують екологічну ефективність і зниження експлуатаційних витрат суден [5]. Спільну портову схему стимулювання (Common Port Incentive Scheme), що забезпечує взаємодію між портами та судноплавними операторами з метою скорочення викидів і зниження витрат на логістику, пропонують А. Аламуш та колеги (A. Alamoush et al.) [6]. Глобальний аналіз ефективності політик морського забруднення здійснюють С. Гьосслінг та однодумці (S. Gössling et al.), підкреслюючи, що дієвість міжнародних угод здебільшого залежить від гармонізації стандартів моніторингу та контролю [7]. Екологічне оновлення портів як частину ланцюга створення доданої вартості в транспортних системах розглядають Р. Поульсен та співавтори (R. Poulsen et al.), акцентуючи на потенціалі портів як каталізаторів зеленої трансформації морських перевезень [8].

Колектив науковців на чолі Л. Міллефіорі (L. Millefiori et al.) досліджує вплив пандемії COVID-19 на морську мобільність, доводячи, що скорочення обсягів перевезень призвело до тимчасового зменшення викидів, проте спричинило фінансові втрати через порушення логістичних ланцюгів [9]. Розвиток автономного судноплавства розглядають М. Кім та колеги (M. Kim et al.), демонструючи, що цифровізація та автоматизація процесів зменшують споживання палива і сприяють скороченню операційних витрат, але потребують високих капіталовкладень у системи безпеки [10]. Підходи до підвищення енергоефективності суден узагальнюють Х. Баррейро та однодумці (J. Barreiro et al.), акцентуючи на економічному ефекті цифрових систем моніторингу та впровадженні альтернативних видів палива [11].

Науковці А. Хрістодулу (A. Christodoulou) та К. Калінейн (K. Cullinane) у своєму SWOT/PESTLE-аналізі визначають, що запровадження систем енергетичного менеджменту в портах підвищує конкурентоспроможність через зменшення енерговитрат і поліпшення екологічних показників [12]. Корпоративні звіти провідних судноплавних компаній у контексті досягнення Цілей сталого розвитку розглядають Х. Ван та співавтори (X. Wang et al.), зазначаючи, що екологічна звітність і вуглецевий моніторинг формують нову систему економічної мотивації бізнесу [13].

Попри суттєвий науковий прогрес, залишаються нерозв'язаними питання гармонізації вимог MRV і DCS, відсутності єдиної методики оцінки їхнього економічного впливу та нестачі емпіричних даних щодо ефективності цих систем у різних сегментах світового судноплавства. Недостатньо досліджено взаємозв'язок між енергоефективністю, собівартістю перевезень і фінансовою стійкістю операторів, а

також не визначено оптимальні механізми управління витратами в умовах декарбонізації. Запропоноване дослідження заповнює ці прогалини через побудову інтегрованої моделі, що поєднує економічний, технічний і фінансовий аналіз впливу систем MRV/DCS, дозволяючи оцінити їхню результативність і розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення енергоефективності та економічної стійкості флоту.

Метою статті є з'ясування теоретичних і практичних засад впливу систем вуглецевого моніторингу на економічні параметри функціонування світового судноплавства та обґрунтування шляхів підвищення його енергоефективності й фінансової стійкості в умовах глобальної декарбонізації.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- 1) розкрити сутність і економічне значення систем MRV та DCS у контексті формування глобальної політики декарбонізації судноплавства;
- 2) проаналізувати їхній вплив на структуру витрат, ефективність управління флотом і виявити основні перешкоди для впровадження;
- 3) обґрунтувати інтегровану модель управління витратами та інвестиціями, спрямовану на підвищення енергоефективності й економічної стійкості галузі.

Результати

Системи MRV та DCS стали базовими регуляторними інструментами міжнародної політики скорочення викидів вуглецю у сфері морського транспорту. Їхня поява зумовлена необхідністю створення єдиного підходу до вимірювання фактичного вуглецевого сліду судноплавства, забезпечення прозорості екологічної звітності та інтеграції екологічних показників у систему економічного регулювання галузі. MRV запроваджена Європейським Союзом з 2018 року як обов'язковий механізм для суден водотоннажністю понад 5000 тонн, що здійснюють рейси до або з портів ЄС, тоді як DCS, розроблена ІМО, діє на глобальному рівні й поширюється на аналогічну категорію суден. Обидві системи орієнтовані на підвищення прозорості екологічних даних, проте мають різні підходи до методології збору, обробки та перевірки інформації (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика систем MRV та DCS у сфері морського транспорту

Показник	Система MRV (ЄС)	Система DCS (ІМО)
Рівень застосування	Регіональний (Європейський Союз)	Глобальний (країни – члени ІМО)
Основна мета	Забезпечення прозорості викидів CO ₂ на рейсах до/з портів ЄС	Глобальний моніторинг споживання палива й викидів CO ₂
Об'єкт спостереження	Кожен рейс судна	Річні агреговані показники по судну
Показники збору даних	Споживання палива, відстань, вантаж, час перебування в порту, тип палива	Обсяг спожитого палива, пройдена відстань, вантажообіг, швидкість
Перевірка даних	Незалежні акредитовані верифікатори	Національні морські адміністрації
Звітність	Щорічне подання звіту до Європейського агентства з питань морської безпеки (EMSA)	Передача даних до ІМО через адміністраторів держав прапора

Показник	Система MRV (ЄС)	Система DCS (ІМО)
Санкції за невиконання	Обмеження допуску суден до портів ЄС, штрафи	Попередження, видалення судна з реєстру, обмеження сертифікації
Використання даних	Формування Європейської бази даних CO ₂ , підтримка торгівлі квотами	Аналітика для глобальної оцінки ефективності судноплавства

Джерело: сформовано автором на основі [1, с. 430–431; 3; 4; 6; 7; 8, с. 84–86]

У сучасній практиці функціонування морського транспорту системи MRV та DCS стали не лише інструментами регуляторного контролю, а й елементами стратегічного управління екологічною та економічною ефективністю флоту. Дані, зібрані в межах MRV, використовуються для формування Європейського реєстру викидів і слугують основою для визначення вартості квот у межах Європейської системи торгівлі викидами (EU Emissions Trading System – далі EU ETS), що прямо впливає на фінансові результати судноплавних компаній [14]. DCS, відповідно, забезпечує створення глобальної бази даних, на основі якої Міжнародна морська організація розробляє нормативи для досягнення цілей скорочення викидів на 40 % до 2030 року та 70 % до 2050 року відповідно до Initial IMO GHG Strategy.

На операційному рівні MRV і DCS стимулюють цифровізацію флоту через впровадження автоматизованих систем збору даних (Automatic Fuel Monitoring Systems, Ship Performance Analytics), які інтегруються в бортові енергетичні менеджмент-платформи. Це дозволяє операторам у реальному часі відстежувати питомі витрати палива, оптимізувати маршрути й управляти технічним станом суден. Практичні дослідження показують, що використання даних MRV/DCS для аналітики рейсів дозволяє знизити споживання палива на 5–7 % і підвищити індекс енергоефективності (Energy Efficiency Existing Ship Index, EEXI) в середньому на 10 % [15]. Крім того, верифіковані дані є важливим чинником довіри для інвесторів і банків, які дедалі частіше вимагають підтвердження екологічної відповідності суден перед наданням кредитів чи участю в програмах «зеленого фінансування». Таким чином, MRV і DCS фактично формують нову економічну парадигму світового судноплавства, де вуглецева прозорість є не лише вимогою регулятора, а й конкурентною перевагою в глобальних логістичних ланцюгах.

Запровадження систем MRV та DCS спричинило переформатування економічної структури витрат судноплавних компаній: до традиційної домінації паливного складника додано постійний «шар» витрат на дані, відповідність і верифікацію, а також нові квазіринкові витрати, пов'язані з ціною вуглецю в EU ETS [3]. Одночасно MRV і DCS створили інформаційні передумови для підвищення ефективності управління флотом: стандартизовані показники, регулярні цикли перевірки, порівнянність між судами та зв'язок операційних рішень із показниками енергоінтенсивності, зокрема Індексом EEXI та Індикатором вуглецевої інтенсивності (Carbon Intensity Indicator, CII) [6]. Як наслідок, витрати на вимірювання та відповідність стають інвестиційно керованими, оскільки вони конвертуються в зниження питомого споживання палива, оптимізацію рейсів, кращу дисципліну технічного обслуговування та зменшення ризикової надбавки у фінансуванні (табл. 2).

Структурні зрушення у витратах судноплавних компаній під впливом MRV і DCS та відповідні управлінські ефекти

Стаття витрат	Механізм виникнення/зміни	Управлінський ефект для флоту
Вимірювальне обладнання та інтеграція даних	Датчики витрати палива, калібрування, інтеграція з судовими системами та береговими платформами	Безперервна телеметрія, побудова еталонних профілів споживання, контроль відхилень у реальному часі
Програмні платформи й ліцензії	Закупівля й підтримка систем збору/аналітики рейсових даних, зберігання та кіберзахист	Єдине «джерело правди» для KPI, автоматизація звітності MRV/DCS, аналітика сценаріїв рейсів
Верифікація та аудит даних	Послуги акредитованих верифікаторів (MRV), взаємодія з адміністраціями прапора (DCS)	Підвищення достовірності показників, зниження регуляторного ризику та штрафів
Адміністративна координація і навчання персоналу	Формування процесів комплаєнсу, підготовка екіпажів і берегових команд	Стандартизація процедур, скорочення помилок введення даних, швидше ухвалення рішень
Операційна оптимізація рейсів	Витрати на інструменти оптимізації швидкості/маршрутів, погодні маршрутизатори	Менше відхилень і простоїв, оптимальні профілі швидкості, підвищення використання флоту
Паливо та енерго ефективність	Зміна режимів ходу (зокрема, уповільнений хід), регулярна мийка підводної частини, планування бункерування	Зниження питомих витрат палива, стабілізація СІІ, прогнозованість витрат на рейс
Вуглецеві витрати (EU ETS та ін.)	Придбання квот/сертифікатів, адміністративні витрати, розрахунок надбавок у фрахті	Прозорий механізм перенесення вуглецевої ціни у фрахтові ставки, кращий контроль маржі
Фінансування та страхування	Премії/дисконт у ставках кредиту і страхових внесках за результатами MRV/DCS, EEXI/СІІ	Дешевший капітал для «зелених» суден, доступ до інструментів зеленого фінансування
Капітальні модернізації (EEXI/СІІ)	Обмеження потужності двигуна (EPL), гвинти й обтічники, покриття корпусу, системи відновлення тепла	Довгострокове зниження витрат на паливо, підвищення ринкової привабливості активу
Простої та докові роботи	Витрати часу на інсталяцію/калібрування, планові вікна техобслуговування	Календарний менеджмент простоїв, синхронізація з піками попиту й графіками чартерів
Портові та термінальні платежі, пов'язані з екологією	Екологічні коефіцієнти портових зборів, преференції за «чистий» профіль	Стимул для концентрації на портах із зеленими тарифами, формування «зелених коридорів»

Джерело: сформовано автором на основі [2; 4; 5; 6; 10, с. 19–21; 11; 12]

Реальний економічний вплив систем MRV та DCS у сучасному морському транспорті виходить далеко за межі адміністративного контролю. На практиці вони формують багатоконтурну систему управління ефективністю, у якій кожна витратна позиція перетворюється на джерело аналітичних даних для стратегічних рішень. Витрати на встановлення вимірювального обладнання, калібрування сенсорів і впровадження цифрових платформ окупуються через зниження питомого споживання палива, що в середньому становить 5–8 % у перші два роки експлуатації. Інтеграція даних MRV і DCS у корпоративні енергоменеджмент-системи дозволяє побудувати цифровий «вуглецевий профіль» судна, який відображає не лише витрати палива, а й зв'язок між технічним станом, маршрутом, швидкістю та погодними умовами [2].

На рівні управління флотом такі дані стають базою для розрахунку індексу EEXI та СІІ, що визначають не лише екологічний рейтинг судна, а й доступ до кредитування та страхових послуг. Банківські установи, які впроваджують Принципи відповідального судноплавства, використовують звіти MRV/DCS для визначення рівня фінансового ризику, коригуючи відсоткові ставки залежно від показників енергоефективності. Таким чином, еколого-економічна інформація переходить у фінансовий вимір, а судна з вищими показниками СІІ отримують преференції у ставках фрахту та доступі до зелених фінансових продуктів.

Водночас MRV і DCS стимулюють структурну модернізацію флоту. Судноплавні компанії інвестують у технології відновлення тепла, покриття корпусу з низьким коефіцієнтом тертя, оптимізацію гвинтових систем і впровадження електронних навігаційних асистентів, що сумарно підвищує енергоефективність суден на 10–15 % [12]. Економічна структура витрат при цьому поступово зміщується від реактивного покриття вуглецевих витрат (через купівлю квот в EU ETS) до проактивного інвестування в технічні інновації, які генерують довгострокові фінансові вигоди. У практичному вимірі MRV і DCS перетворюють екологічну звітність на інструмент економічного прогнозування, що дозволяє компаніям моделювати сценарії вартості рейсів, визначати оптимальні швидкісні режими й будувати стратегії переходу до безвуглецевого судноплавства. Такий симбіоз даних, аналітики та управлінських рішень формує новий тип бізнес-моделі – «data-driven shipping», у якій цифрова прозорість є важливим чинником стійкості й прибутковості морських перевізників.

Енергоефективність сучасного флоту визначає не лише екологічну результативність судноплавства, а й його економічну стійкість у глобальному ринковому середовищі. Зниження питомого споживання палива безпосередньо впливає на собівартість морських перевезень, яка на 40–60 % формується саме паливними витратами [11]. Підвищення енергоефективності судна навіть на 5–7 % дозволяє скоротити експлуатаційні витрати на 8–10 %, що, відповідно, зменшує фрахтові ставки, підвищує маржу оператора та зміцнює його позиції на ринку [5]. Емпіричні дослідження показують, що компанії, які впроваджують технології оптимізації маршруту, покриття корпусу з низьким коефіцієнтом тертя та електронні системи керування швидкістю, демонструють стабільне зростання рентабельності рейсів навіть в умовах зростання цін на паливо. Енергоефективність є стратегічним чинником конкурентоспроможності, адже судна з високими показниками енергоінтенсивності отримують доступ до «зелених» кредитів, нижчих страхових премій і преференцій у портових зборах, тоді як технічно застарілі судна стикаються з регуляторними обмеженнями, прискореною амортизацією та зниженням ринкової вартості (табл. 3).

Взаємозв'язок між енергоефективністю суден, собівартістю перевезень і конкурентоспроможністю операторів

Показник	Вплив підвищення енергоефективності	Результат для конкурентоспроможності
Споживання палива	Зменшується на 5–15 % завдяки модернізації двигунів, гвинтів, систем навігації	Зниження собівартості рейсу, можливість пропонувати нижчі фрахтові ставки
Експлуатаційні витрати	Скорочуються на 8–12 % завдяки оптимізації маршруту, технічному моніторингу	Збільшення операційної маржі та стійкості до коливань цін на енергоносії
Амортизаційні відрахування	Зменшення зносу через рівномірне навантаження двигуна й оптимальний режим експлуатації	Подовження життєвого циклу судна, зростання ринкової вартості активу
Екологічні платежі (EU ETS)	Зменшення обсягу придбаних квот завдяки зниженню викидів CO ₂	Зменшення витрат на відповідність, поліпшення ESG-рейтингів компанії
Доступ до фінансування	Поліпшення показників MRV/DCS підвищує кредитну привабливість	Отримання зеленого фінансування на вигідніших умовах
Портові збори	Зменшення ставок у «зелених» портах, преференції за низький СІІ	Підвищення рентабельності рейсів і розширення маршрутної мережі
Ринкова позиція	Відповідність стандартам EEXI та СІІ, позитивна репутація у вантажовідправників	Зростання частки ринку, укладання довгострокових контрактів із премією за надійність

Джерело: сформовано автором на основі [5; 10, с. 22–23; 11; 13]

Сьогодні рівень енергоефективності перетворився на інтегрований аналітичний індикатор, який безпосередньо з'єднує технічні параметри судна з його фінансовими показниками. У межах системах MRV і DCS енергоефективність вимірюється не лише як фізичний показник витрати палива, а і як фактор управління вартістю рейсу, ризиками й ринковою капіталізацією оператора. На практиці це означає, що дані MRV/DCS стали основою для створення внутрішніх фінансово-аналітичних моделей, які дають змогу прогнозувати не лише обсяг викидів CO₂, а й очікувану собівартість тонно-милі, рентабельність маршруту та потенційний ефект від інвестицій у модернізацію судна.

Такі моделі інтегруються в корпоративні системи управління флотом, у яких алгоритми машинного навчання прогнозують оптимальний баланс між швидкістю руху, завантаженням, погодними умовами та ціною палива. Це дає змогу операторам ухвалювати рішення на основі даних, наприклад, зменшити швидкість на 1,5 вузла, що призводить до скорочення витрат палива на 10–12 %, або переналаштувати режим роботи двигуна для зниження СІІ без втрати комерційної привабливості рейсу [13].

Практичний ефект виявляється й на ринковому рівні, зокрема судна з підтверженою енергоефективністю за системами MRV/DCS отримують преференції у фрахтових контрактах та доступ до «зеленого» фінансування відповідно до Принципів відповідального судноплавства. Водночас компанії з низьким енергетичним рейтингом змушені компенсувати вищі витрати через підвищення ставок або оновлення флоту, що знижує їхню гнучкість. Таким чином, енергоефективність у сучасних умовах функціонує як економічний еквівалент продуктивності: вона визначає здатність компанії

конкурувати не тоннажем, а ефективністю витрат і прогнозованістю доходів у системі глобальної декарбонізації.

Реалізація систем вуглецевого моніторингу у світовому суднопластві супроводжується комплексом нормативних, технічних і фінансових обмежень, які гальмують адаптацію галузі до екологічних стандартів [1]. Нормативна площина характеризується фрагментарністю регулювання, оскільки вимоги MRV Європейського Союзу та DCS Міжнародної морської організації істотно відрізняються за методикою збору, обсягом даних і формами звітності [4]. Це призводить до дублювання обліку, зростання адміністративних витрат і відсутності взаємного визнання сертифікацій [6; 7]. Додатковою проблемою є нечітке врегулювання механізмів розподілу вартості вуглецевих квот у межах EU ETS між судовласником і фрахтувальником, що створює правову невизначеність і підвищує ризики комерційних спорів.

Технічні перешкоди зумовлені різнорівневою цифровою готовністю флоту, оскільки частина суден не має сумісного обладнання для автоматичного збору даних, а калібрування вимірювальних систем залишається нерівномірним. Недостатня кількість акредитованих верифікаторів і фахівців з аналізу даних уповільнює процес перевірки звітів, тоді як у країнах, що розвиваються, спостерігається технологічна залежність від зовнішніх постачальників програмних рішень.

Фінансові проблеми проявляються у високих витратах на впровадження систем моніторингу й модернізацію суден для відповідності показникам EEXI та CII [5; 11]. Для середніх операторів витрати на обладнання, навчання персоналу й адміністрування можуть сягати 3–5 % річного обороту [10, с. 22–23]. Додаткове навантаження створює необхідність придбання вуглецевих квот у межах EU ETS, що зменшує рентабельність рейсів і підвищує ризик втрати платоспроможності [2]. До цього додається нерівний доступ до зеленого фінансування: банки, орієнтовані на екологічні критерії, знижують кредитні ліміти для операторів із низькими рейтингами MRV/DCS, що посилює розрив між великими корпораціями та незалежними перевізниками.

Формування інтегрованої моделі управління витратами та інвестиціями у сфері міжнародного суднопластва має ґрунтуватися на поєднанні екологічних цілей і економічної раціональності, що потребує системного підходу до організації фінансових, технічних і управлінських процесів. Важливою передумовою такої моделі є перехід від реактивного покриття витрат, пов'язаних із вимогами MRV і DCS, до проактивного управління енергоефективністю флоту через інвестиції в технології, цифрові системи моніторингу та аналітику даних. Це означає, що екологічна відповідність має розглядатися не як регуляторне зобов'язання, а як стратегічний актив, який створює додану вартість і конкурентну перевагу.

Інтегрована модель передбачає структурування витрат у трьох взаємопов'язаних блоках: операційному, інвестиційному та компенсаційному. Операційний блок охоплює оптимізацію паливних витрат завдяки застосуванню цифрових систем планування рейсів, використання даних MRV/DCS для моделювання маршруту і швидкості, а також інтеграцію показників EEXI та CII у систему основних корпоративних показників (Key Performance Indicators, KPI). Інвестиційний блок формує довгострокову політику модернізації флоту через фінансування впровадження енергоощадних технологій – від удосконалених гвинтових систем і тепловідновлювальних установок до використання альтернативного палива (LNG, метанолу, аміаку). Компенсаційний блок забезпечує фінансову гнучкість завдяки механізмам внутрішньої торгівлі викидами, страхуванню вуглецевих ризиків і залученню зеленого фінансування згідно з Принципами відповідального суднопластва.

У практичному вимірі така модель реалізується через створення корпоративних «вуглецевих офісів», які поєднують функції екологічного комплаєнсу, фінансового контролю та технологічного аналізу. Їхнє завдання – забезпечити циклічне управління

витратами: від збору даних MRV/DCS до фінансового прогнозування, де результати вуглецевого моніторингу інтегруються у стратегічні бюджети. Водночас на макrorівні необхідно впровадити механізми державного стимулювання модернізації флоту через податкові пільги, пільгові кредити для енергоефективних суден і компенсаційні фонди для операторів, які переходять на альтернативне паливо.

Як наслідок, інтегрована модель управління витратами перетворює екологічну відповідальність із витратної категорії на інвестиційний чинник зростання. Вона дозволяє підвищити економічну стійкість судноплавних компаній, створює основу для прозорого фінансового планування в умовах дії MRV, DCS та EU ETS і водночас сприяє досягненню стратегічної мети – переходу до низьковуглецевого, економічно збалансованого та технологічно модернізованого морського транспорту.

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що системи MRV і DCS є основними інструментами трансформації економічної моделі світового судноплавства, поєднавши екологічну відповідальність із фінансовою стійкістю. Доведено, що їх впровадження призвело до зміни структури витрат судноплавних компаній, формування нової категорії даних витрат на цифровий моніторинг і верифікацію, а також до зростання ролі енергоефективності як стратегічного чинника конкурентоспроможності. З'ясовано, що підвищення енергоефективності суден прямо корелює зі зниженням собівартості перевезень і підвищенням рентабельності операцій, створюючи довгострокові переваги для компаній, які інвестують у модернізацію флоту та цифрові технології управління.

Виявлено основні проблеми реалізації систем вуглецевого моніторингу, зокрема нормативну фрагментованість між вимогами MRV і DCS, технічну несумісність вимірювальних платформ, дефіцит кваліфікованих кадрів і високу вартість екологічної адаптації. Визначено, що особливо складним залишається питання фінансування переходу до енергоефективного флоту, оскільки витрати на оновлення суден і придбання квот у межах EU ETS значно знижують прибутковість перевізників середнього сегмента.

Науково обґрунтовано інтегровану модель управління витратами та інвестиціями, що базується на трьох взаємопов'язаних блоках (операційному, інвестиційному та компенсаційному), спрямованих на оптимізацію паливних витрат, модернізацію суден та залучення зеленого фінансування. Доведено, що застосування цієї моделі підвищує економічну ефективність і знижує ризики невідповідності екологічним стандартам.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні математичних моделей прогнозування вартості декарбонізації, створенні цифрових платформ управління MRV/DCS на основі штучного інтелекту та формуванні єдиного міжнародного механізму фінансової підтримки низьковуглецевого судноплавства.

Список використаних джерел

1. Wan Z., El Makhoulfi A., Chen Y., Tang J. Decarbonizing the international shipping industry: Solutions and policy recommendations. *Marine Pollution Bulletin*. 2018. Vol. 126. P. 428–435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.064>
2. Wu M., Li K. X., Xiao Y., Yuen K. F. Carbon Emission Trading Scheme in the shipping sector: Drivers, challenges, and impacts. *Marine Policy*. 2022. Vol. 138. Article 104989. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104989>
3. Serra P., Fancello G. Towards the IMO's GHG goals: A critical overview of the perspectives and challenges of the main options for decarbonizing international shipping. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. № 8. Article 3220. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12083220>

4. Lagouvardou S., Psaraftis H. N., Zis T. A literature survey on market-based measures for the decarbonization of shipping. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. № 10. Article 3953. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12103953>
5. Nguyen H. P., Hoang A. T., Nizetic S., Nguyen X. P., Le A. T., Luong C. N., Pham V. V. The electric propulsion system as a green solution for management strategy of CO₂ emission in ocean shipping: A comprehensive review. *International Transactions on Electrical Energy Systems*. 2021. Vol. 31. № 11. Article e12580. DOI: <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12580>
6. Alamoush A. S., Ölçer A. I., Ballini F. Ports' role in shipping decarbonisation: A common port incentive scheme for shipping greenhouse gas emissions reduction. *Cleaner Logistics and Supply Chain*. 2022. Vol. 3. Article 100021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100021>
7. Gössling S., Meyer-Habighorst C., Humpe A. A global review of marine air pollution policies, their scope and effectiveness. *Ocean & Coastal Management*. 2021. Vol. 212. Article 105824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105824>
8. Poulsen R. T., Ponte S., Sornn-Friese H. Environmental upgrading in global value chains: The potential and limitations of ports in the greening of maritime transport. *Geoforum*. 2018. Vol. 89. P. 83–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.01.011>
9. Millefiori L. M., Braca P., Zissis D., Spiliopoulos G., Marano S., Willett P. K., Carniel S. COVID-19 impact on global maritime mobility. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Article 18039. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97461-7>
10. Kim M., Joung T. H., Jeong B., Park H. S. Autonomous shipping and its impact on regulations, technologies, and industries. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*. 2020. Vol. 4. № 2. P. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.1080/25725084.2020.1779427>
11. Barreiro J., Zaragoza S., Diaz-Casas V. Review of ship energy efficiency. *Ocean Engineering*. 2022. Vol. 257. Article 111594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111594>
12. Christodoulou A., Cullinane K. Identifying the main opportunities and challenges from the implementation of a port energy management system: A SWOT/PESTLE analysis. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. № 21. Article 6046. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11216046>
13. Wang X., Yuen K. F., Wong Y. D., Li K. X. How can the maritime industry meet Sustainable Development Goals? An analysis of sustainability reports from the social entrepreneurship perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020. Vol. 78. Article 102173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.002>
14. Reducing emissions from the shipping sector. *European Commission – Climate Action: вебсайт*. 2021. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/reducing-emissions-shipping-sector_en (дата звернення: 04.11.2021).
15. EEXI And CII: Dual Regulations Reducing Ship's Carbon Impact. *Marine digital: вебсайт*. 2021. URL: https://marine-digital.com/article_eexiandcii (дата звернення: 04.08.2023).