

УДК 656.61

DOI 10.47049/2226-1915-2025-3-192-205

ТЕОРЕТИКО-СИСТЕМНА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ  
МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ  
У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

**В.К. Прохоров**

аспірант кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень

ORCID ID: 0009-0002-6524-8296

**Т.І. Берневек**

к.т.н., доцент кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень

ORCID ID: 0000-0002-2519-9912

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

**Анотація.** У статті здійснено теоретико-системну оцінку стійкості морських транспортних систем України в контексті сталого розвитку.

Розкрито зміст екологічної, економічної та соціальної складових стійкості, проаналізовано міжнародні підходи до її вимірювання.

На основі концепції Triple Bottom Line запропоновано адаптовану систему індикаторів та побудовано системну модель «вхід-процес-вихід-вплив», що враховує особливості функціонування української морської логістики.

Обґрунтовано доцільність використання цієї моделі для подальшої кількісної оцінки рівня стійкості, стратегічного планування та інтеграції до світових логістичних мереж.

Акцентовано на необхідності створення національної системи моніторингу та індикаторної бази стійкості галузі.

**Ключові слова:** морський транспорт, морські перевезення, транспортні системи, транспортна інфраструктура, сталий розвиток, економічна безпека, екологічна ефективність, соціальні чинники транспорту, індикаторна оцінка, системний аналіз, логістична інтеграція, морська логістика, транспортна стратегія, моделювання стійкості.

UDC 656.61

DOI 10.47049/2226-1915-2025-3-192-205

SYSTEM-THEORETICAL ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY  
OF MARITIME TRANSPORT SYSTEMS IN THE CONTEXT  
OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**V. Prokhorov**

Postgraduate student of the Department of Fleet Operation and Shipping Technology

ORCID ID: 0009-0002-6524-8296

**T. Bernevek**

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor of the Department of Fleet Operation and Shipping Technology

ORCID ID: 0000-0002-2519-9912

*Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine*

**Abstract.** *The article conducts a theoretical and systematic assessment of the stability of Ukraine's maritime transport systems in the context of sustainable development. The content of ecological, economic and social components of sustainability is revealed, international approaches to its measurement are analyzed.*

*Based on the Triple Bottom Line concept, an adapted system of indicators was proposed and an «input-process-output-impact» system model was built, which takes into account the peculiarities of the functioning of Ukrainian maritime logistics.*

*The expediency of using this model for further quantitative assessment of the level of stability, strategic planning and integration into global logistics networks is substantiated.*

*Emphasis is placed on the need to create a national monitoring system and an indicator base for the sustainability of the industry.*

**Keywords:** *sea transport, sea transportation, transport systems, transport infrastructure, sustainable development, economic security, environmental efficiency, social factors of transport, indicator assessment, system analysis, logistics integration, sea logistics, transport strategy, sustainability modeling.*

**Актуальність дослідження.** В сучасних умовах глобалізації, зміни клімату та геополітичної нестабільності проблема забезпечення стабільності морських транспортних систем стає одним з ключових питань у транспортній політиці будь-якої держави і Україна не є виключенням. Морські перевезення забезпечують понад 80 % обсягу світової торгівлі, а роль України як прибережної держави Чорного моря з потужною портовою інфраструктурою є стратегічною як для національної, так і для транскордонної логістики. Однак виклики сучасності – трансформація енергії, екологічний контроль, соціальне забезпечення – вимагають нового теоретико-методологічного підходу до розуміння та оцінки стійкості цієї галузі.

Після 2022 року Україна опинилася у нових умовах морської ізоляції, руйнації логістичних зв'язків та втрати портових потужностей. Водночас, відновлення інфраструктури та включення до глобальних «зелених» логістичних ланцюгів (green shipping corridors) вимагає не лише технічної модернізації, а й системного перегляду концепції стійкості – з урахуванням нових екологічних, економічних і соціальних викликів. На цьому тлі потреба у розробленні науково обґрунтованих моделей стійкості морської транспортної системи України постає як невідкладне завдання.

**Огляд літературних джерел.** У науковій літературі простежується поступова еволюція підходів до розуміння стійкості морських транспортних систем. У роботі [1] запропоновано комплексну оцінку сталості на прикладі індонезійського порту, яка охоплює чотири виміри: екологічний, соціальний, економічний і управлінський. Такий підхід закладає фундамент для багато-вимірного аналізу, що є актуальним і для українського морського сектору. У свою чергу, [2] підкреслюють важливість впровадження концепції «потрійного підсумку» (Triple Bottom Line) у судноплавстві, як реакції галузі на глобальні виклики сталого роз-

витку. Вони акцентують на необхідності не лише економічної, а й екологічної та соціальної відповідальності операторів морських перевезень.

Підходи до формалізації екологічних індикаторів і механізмів оцінки впливу морського транспорту на довкілля розвиваються в роботах [3] та [5], які пропонують математично обґрунтовані моделі для стратегічного управління стійкістю. Методологія багатокритеріального аналізу для створення складених індексів регіональної сталості представлена у роботі [4], де портова інфраструктура розглядається в тісному зв'язку з територіальним розвитком. Системний підхід до управління морськими транспортними системами загалом обґрунтовано в роботі [7], де висвітлюються взаємозв'язки між різнорівневими структурами управління, екосистемними характеристиками та глобальними ланцюгами поставок.

Значна увага в сучасних дослідженнях приділяється цифровій трансформації морської логістики. Наукові праці [9] та [10] акцентують на ролі цифрових двійників і автоматизованих систем у підвищенні ефективності портових операцій. Їх доповнює ґрунтовне систематичне дослідження [11], яке узагальнює чинники впровадження цифрових технологій і бар'єри у сфері морської логістики. Місце України у цих процесах окреслено в роботі [8], де аналізуються інструменти збалансованого розвитку річкового та морського транспорту в умовах інтеграції до європейської транспортної системи.

Практичне наповнення концепції сталого розвитку в портовому управлінні демонструється у роботі [12], де розглядаються стратегії оптимізації операцій на прикладі портових комплексів, із врахуванням як економічної доцільності, так і екологічних ризиків. У сфері морської кібербезпеки, дослідження [13] наголошує на необхідності регуляторного гармонізування та впровадження міжнародних норм задля забезпечення безпечної цифрової взаємодії у глобальній транспортній мережі.

Дослідження концепції Smart Port, як інтегрованого елементу сталого розвитку галузі, знаходить обґрунтування у роботі [14], де продемонстровано вплив автономних мереж та інтелектуальних систем на ефективність логістичних процесів а у дослідженні [15] проаналізовано потенціал використання відновлюваної енергетики в морському транспорті, включно з технологічними перспективами та екологічними перевагами. Це дослідження завершує огляд, підкреслюючи роль інновацій у досягненні довгострокової екологічної стійкості морської галузі.

**Постановка проблеми.** Попри зростаючу увагу світової наукової спільноти до проблематики сталого розвитку транспорту, дослідження, присвячені морським транспортним системам України, залишаються розрізненими та обмеженими за змістом. Більшість наявних робіт зосереджені переважно на економічних параметрах функціонування галузі, майже не враховуючи екологічний вплив та соціальні чинники. Крім того, недостатньо розкрито питання інтеграції вітчизняної морської логістики до глобальних транспортних і торгівельних ланцюгів, що ускладнює формування ефективної стратегії розвитку.

У зв'язку з цим особливо актуальною є розробка теоретичних засад стійкості морських транспортних систем України на основі принципів сталого розвитку. Такий підхід передбачає формалізацію поняття стійкості в контексті екологічних, економічних та соціальних критеріїв, системний аналіз внутрішніх взаємозв'язків між цими компонентами, а також адаптацію міжнародних моделей до українських реалій. Це дозволить створити наукове підґрунтя для подальшої побудови інтегральної моделі оцінки стійкості, придатної для стратегічного планування в сфері транспорту та міжнародної торгівлі.

Метою дослідження є обґрунтування теоретичних засад оцінки стійкості морського транспорту України шляхом інтеграції екологічних, економічних та соціальних чинників у межах системного підходу. У межах поставленої мети необхідно проаналізувати сучасні теоретичні підходи до поняття стійкості в транспортних системах, ідентифікувати ключові індикатори за трьома вимірами сталого розвитку (TBL), а також сформувати адаптовану до українських реалій модель «вхід-процес-вихід-вплив» для комплексного аналізу стійкості морської галузі в умовах зовнішніх викликів та перспектив інтеграції в глобальні логістичні ланцюги.

**Виклад основного матеріалу.** Теоретичне обґрунтування стійкості морських транспортних систем ґрунтується на широкоvizнаній моделі сталого розвитку – концепції Triple Bottom Line (TBL), яка інтегрує три ключові складові: екологічну, економічну та соціальну. У контексті морського транспорту екологічний компонент охоплює заходи з мінімізації шкідливих викидів, підвищення енергоефективності флоту та захисту морських біотопів. Економічний вимір передбачає забезпечення конкурентоспроможності галузі шляхом оптимізації витрат, підвищення ефективності логістичних ланцюгів та збереження фінансової стійкості операторів [1].

Соціальна складова включає питання безпеки праці екіпажів, дотримання трудових прав, підвищення рівня соціальної відповідальності судновласників, а також залучення зацікавлених сторін до прийняття стратегічних рішень. Модель TBL забезпечує цілісне уявлення про стійкість і дозволяє формалізувати критерії оцінювання в практиці управління морськими транспортними системами – зокрема, при плануванні екологічно орієнтованих портових інфраструктур і реалізації програм «зеленого судноплавства». Таким чином, TBL виступає не лише філо-софською рамкою, а й дієвим інструментом для розробки адаптивних політик сталого розвитку в умовах глобальних екологічних викликів [2].

Оцінювання стійкості морських транспортних систем потребує формалізованого підходу, що враховує багатоаспектну природу поняття «сталість». Для цього застосовується індикаторна модель, яка дозволяє кількісно оцінити екологічні, економічні та соціальні параметри функціонування транспортного комплексу [3].

У таблиці 1 нижче наведено приклади ключових індикаторів для кожного з вимірів.

Таблиця 1

*Приклади ключових показників  
для оцінки стійкості морських транспортних систем*

| Сфера      | Типові індикатори                                                                       |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Екологічна | Викиди CO <sub>2</sub> на тонно-милію; рівень шумового забруднення; забруднення вод     |
| Економічна | Собівартість доставки; середній час обороту судна; портова ефективність                 |
| Соціальна  | Частота травматизму; дотримання трудових стандартів; рівень зайнятості в портовій сфері |

У таблиці подано базові індикатори, які використовуються для кількісної оцінки стійкості функціонування морських транспортних систем за трьома основними вимірами: екологічним, економічним та соціальним, що дозволяє формалізувати моніторинг сталого розвитку галузі та забезпечити комплексне врахування її впливу на навколишнє середовище, економіку й суспільство.

Запропонований підхід може бути також адаптований до особливостей українського морського сектору, з урахуванням технічного старіння флоту, уразливості морських комунікацій в умовах геополітичної нестабільності, а також обмежених і нестійких джерел фінансування критично важливої інфраструктури. Відповідно, розроблена система індикаторів може слугувати інструментом для стратегічного планування та оцінювання динаміки впровадження заходів у сфері сталого розвитку морських перевезень [4].

У сучасних транспортних дослідженнях широкого застосування набув системний підхід, який дозволяє розглядати морську транспортну систему як цілісну динамічну структуру. В його основі лежить модель «вхід-процес-вихід», що забезпечує логічну ієрархію оцінки ресурсів, операцій і результатів:

- вхід (input): сукупність ресурсів, що забезпечують функціонування системи – паливо, капітальні інвестиції, технічні засоби, людський потенціал;
- процес (process): логістичні й експлуатаційні операції – судноплавство, перевалка вантажів, діяльність портів, управління ланцюгами постачання;
- вихід (output): результати діяльності – обсяг вантажообігу, рівень викидів забруднюючих речовин, створення робочих місць, економічна ефективність.

Такий підхід дозволяє моделювати залежність вихідних показників від зміни вхідних факторів, наприклад, впровадження екологічних технологій або збільшення інвестицій у модернізацію флоту. Це, у свою чергу, дає змогу прогнозувати стійкість системи в довгостроковій перспективі та визначати найбільш критичні елементи для інтервенції.

На рисунку 1 представлено концептуальну модель управління результативністю, що охоплює основні етапи трансформації вхідних ресурсів у кінцеві результати й глобальний вплив організації.

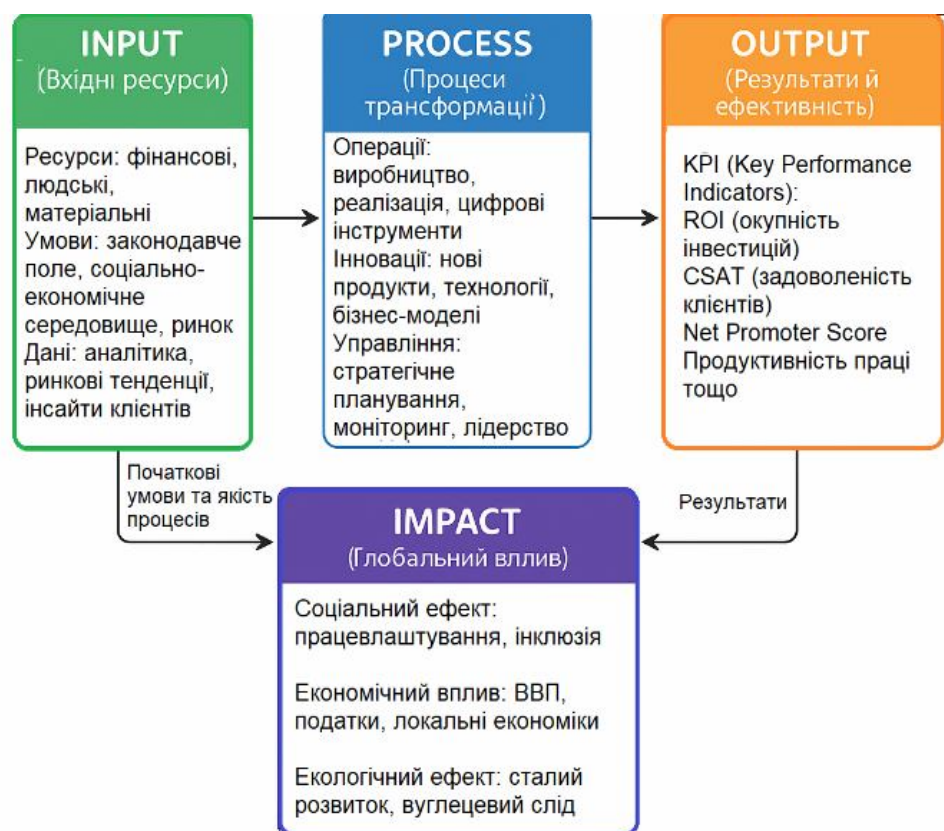


Рис. 1. Інтегрована система управління ефективністю:  
модель «вхід-процес-вихід-вплив»

Дана структура дозволяє простежити зв'язок між ресурсним забезпеченням, внутрішніми процесами, досягнутими показниками ефективності й довгостроковими соціально-економічними та екологічними ефектами діяльності [5].

Морський транспортний сектор України нині перебуває у стані глибокої трансформації, спричиненої як зовнішніми викликами, так і внутрішніми структурними дисфункціями. Геополітична нестабільність, втрата контролю над частиною морської інфраструктури та хронічне недофінансування критичних об'єктів зумовили зниження операційної ефективності портів і судноплавних маршрутів. Утім, ці ж чинники парадоксально створюють передумови для переходу до більш стійких, адаптивних і технологічно просунутих моделей розвитку галузі.

До основних системних проблем, які визначають вектор реформування, належать: критичний знос флоту, відсутність належної інфраструктури для зберігання та обробки вантажів, перевантаження екологічної місткості портів, а також фрагментована інтеграція до глобальних логістичних мереж. Наприклад,

якщо взяти середній вік суден, що експлуатуються українськими операторами, то він перевищує 25 років, що обумовлює не лише зростання витрат на обслуговування, а й екологічні ризики в тому числі через низьку енергоефективність. Крім того, значна частина портових територій у зоні Чорного моря або тимчасово окупована, або зазнає постійних ризиків фізичної деструкції, що ускладнює довгострокове планування.

Однак, аналіз тенденцій останніх років свідчить про зростання потенціалу до відновлення і трансформації. Україна поступово залучається до проєктів, що ініційовані Європейським Союзом, Міжнародною морською організацією (ІМО) та Програмою розвитку ООН (UNDP). Йдеться про реалізацію концепцій «зелених портів» у Південному, Ізмаїлі, Чорноморську, де впроваджуються сучасні екологічні технології, цифрові рішення та енергозберігаючі заходи. Також активно розвивається регіональна співпраця з країнами Чорноморського басейну в межах ініціатив TRACECA, Black Sea MoU, що створює умови для нормативної уніфікації та обміну найкращими практиками [6; 7].

Особливої актуальності набуває діджиталізація управлінських процесів, зокрема створення національної платформи морської логістики, інтегрованої до європейських ланцюгів постачання. Розробка електронних портових систем, використання цифрових двійників для моделювання навантажень і впровадження систем підтримки прийняття рішень є ключовими технологічними імпульсами для підвищення як екологічної, так і економічної стійкості.

У такому контексті надзвичайно важливо застосовувати індикаторно-системні методи оцінки стійкості, які дають змогу поєднати кількісну оцінку (викиди CO<sub>2</sub>, рівень забруднення, портова ефективність) з якісним аналізом структурних ризиків. Системна модель «вхід-процес-вихід» дозволяє формалізувати логіку функціонування морської транспортної системи та імітувати наслідки змін в окремих елементах – від інвестицій до екологічної політики. Інтеграція цих моделей у процеси планування та регулювання дасть змогу забезпечити більш раціональне управління обмеженими ресурсами, скоротити екологічні навантаження та підвищити прозорість галузі в очах міжнародних партнерів [8; 9].

Морська транспортна система України являє собою складну відкриту систему, що функціонує під впливом широкого спектра внутрішніх і зовнішніх чинників тому її ефективність та стійкість обумовлюються не лише технічним станом флоту чи портової інфраструктури, але й політико-економічною ситуацією, міжнародними логістичними зв'язками, нормативним середовищем та екологічними вимогами. У цьому контексті доцільним є застосування класичного системного підходу, зокрема моделі «вхід-процес-вихід-вплив», яка дозволяє комплексно охопити всі ключові елементи системи та їх взаємозв'язки.

На першому рівні, що відповідає елементу «вхід», концентруються всі ресурси, які формують потенціал функціонування системи. Це капітальні вкладення, інфраструктурна база портів і флоту, наявність і якість людського капіталу, а також нормативно-правова і регуляторна рамка. З огляду на сучасні українські реалії, варто окремо підкреслити нерівномірність фінансування, зношеність суден,

обмеженість доступу до сучасних технологій та фрагментарність екологічної політики [10].

На другому рівні – «процес» – розгортаються ключові операційні функції морської транспортної системи. Це, насамперед, перевалка вантажів у портах, судноплавні маршрути, технічне обслуговування, а також цифрові процеси координації (впровадження AIS, PCS тощо). З цього приводу, високий рівень автоматизації, комп'ютеризована синхронізація та наявність кваліфікованих кадрів виступають основними чинниками ефективності цієї складової [11].

Наступним компонентом є «вихід», який фіксує результативні показники діяльності системи. До них належать обсяг вантажообігу, логістична швидкість, рівень викидів парникових газів на одиницю перевезення, продуктивність праці та соціальні індикатори зайнятості. Ці показники є об'єктами моніторингу та базою для порівняльного аналізу з іншими країнами. І наприкінці завершальним елементом є «вплив» – ті системні зміни, які відбуваються внаслідок функціонування морського транспорту. Це включає довгострокову логістичну стійкість країни, ступінь її інтеграції до міжнародних мереж, рівень екологічної безпеки в прибережних зонах, а також якість трудових умов для учасників галузі. Саме цей рівень визначає стратегічну вартість морського сектору для національного розвитку, рисунок 2.

На рисунку 2 відображено комплексну структуру портової логістики, яка охоплює всі основні етапи: від вхідних ресурсів і процесів трансформації до кінцевих результатів та стратегічного впливу на макrorівні. Окремо виділено інтелектуальний рівень (аналітика, автоматизація, кібербезпека), а також обмежувальні фактори, що визначають ефективність і стійкість галузі, такий підхід дозволяє системно оцінити взаємозв'язок між технологічними, економічними й соціальними компонентами сучасної логістики портів [12-15].

Зведена модель системного підходу дозволяє не лише здійснювати структурний аналіз, а й визначати ключові точки впливу для реформування. Зокрема, вона надає інструмент для виявлення, які саме ресурси потребують пріоритетного посилення, які процеси – автоматизації, а які результати – коригування задля досягнення стратегічного впливу.

Такий науково виважений підхід дозволяє створити методологічну базу для подальшого моделювання, оцінювання впливу реформ та прийняття стратегічних рішень у морській політиці України.

Результати та обговорення. У результаті дослідження було сформовано концептуальну модель системного підходу до оцінки стійкості морської транспортної системи України, що ґрунтується на структурі «вхід-процес-вихід-вплив», модель яка дозволяє інтегровано аналізувати функціонування галузі з урахуванням взаємозв'язку економічних, екологічних і соціальних факторів. Зазначений підхід забезпечує не лише статичну оцінку окремих компонентів, але й дає змогу простежити динаміку змін, що виникають унаслідок управлінських рішень, інвестицій чи зовнішньої турбулентності.



Рис. 2. Системна модель функціонування сучасної портової логістики

Таблиця 2

Основні елементи системної моделі реформування морського транспорту

| Компонент        | Характеристика             | Приклади                                                                |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Вхід (Input)     | Ресурсна база              | Інвестиції, енергія, людський капітал, регуляторні умови                |
| Процес (Process) | Операційна діяльність      | Перевалка, судноплавство, логістика, цифрові платформи                  |
| Вихід (Output)   | Показники результативності | Тоннаж, час логістичного циклу, CO <sub>2</sub> /тонно-миля, зайнятість |
| Вплив (Impact)   | Стратегічні наслідки       | Інтеграція, екологічний ефект, соціальна безпека, стабільність          |

**Основні результати.** Ідентифіковано систему ключових індикаторів, яка охоплює три складові стійкості відповідно до концепції Triple Bottom Line (TBL): рівень викидів парникових газів, енергоефективність, логістичні витрати, соціальна безпека тощо, що дозволяє проводити комплексну діагностику стану галузі з можливістю інтерпретації результатів для практичного управління.

Описано механізм перетворення ресурсів (input) в системні результати (impact), що дозволяє прослідковувати ланцюг причинно-наслідкових зв'язків: від обсягів капіталовкладень у флот або цифрові системи – до зниження CO<sub>2</sub> на тонно-милю або підвищення інтегрованості в міжнародні мережі. Обґрунтовано адаптацію методології TBL та індикаторного підходу до особливостей українського морського транспорту, з урахуванням його регіональних ризиків, зношеності інфраструктури, фрагментарного правового регулювання та обмеженого доступу до фінансування. Показано потенціал системної моделі як інструмента стратегічного планування, здатного слугувати аналітичною базою для розробки державної морської політики, оцінювання проєктів портової модернізації або екологічної сертифікації логістичних ланцюгів.

Запропонована модель, попри свою теоретичну основу, має високий ступінь адаптивності до практичних потреб. Вона може бути розгорнута у вигляді інтегральної математичної моделі з чітко визначеними ваговими коефіцієнтами для кожного індикатора, що відкриває можливості для побудови системи кількісної оцінки стійкості на рівні окремих портів, логістичних кластерів або транспортних маршрутів. Така реалізація дозволить забезпечити об'єктивність прийняття рішень у сферах інвестицій, екологічного моніторингу та міжнародної кооперації.

Разом з тим, практична імплементація моделі потребує подальшої верифікації через доступ до відповідних емпіричних даних, що наразі є обмеженим через воєнні дії, фрагментарність статистичних джерел та обмеження доступу до портової інфраструктури. Необхідною передумовою для реалізації системного підходу є створення національного набору індикаторів стійкості, узгодженого з вимогами міжнародних структур, зокрема ІМО, Європейського Зеленого Курсу (EU Green Deal), Цілей сталого розвитку ООН. Водночас, саме поточні кризові умови створюють вікно можливостей для докорінної трансформації морського сектору України. Інтеграція сучасних управлінських інструментів, зокрема системної моделі стійкості, сприятиме формуванню більш прозорої, ефективної та адаптивної морської політики, орієнтованої на інтеграцію в глобальні логістичні ланцюги та забезпечення сталого розвитку у довгостроковій перспективі.

**Висновки.** У статті розкрито теоретико-методологічні основи стійкості морських транспортних систем у контексті сталого розвитку. Запропоновано авторське бачення системної моделі оцінки стійкості, що враховує комплексну взаємодію екологічних, економічних та соціальних чинників. Сформована структурно-функціональна модель «вхід-процес-вихід-вплив» дозволяє здійснити формалізований аналіз функціонування морської транспортної системи України на засадах сталості. Такий підхід створює основу для подальшої математичної інтерпретації та розробки механізмів управління ризиками та ресурсами в умовах високої турбулентності.

Наукова новизна дослідження полягає у адаптації глобальних моделей сталого розвитку до умов морської логістики України, формалізації критеріїв та показників стійкості на основі системного підходу та пропозиціях застосування концептуального інструментарію для стратегічного планування в судноплавній галузі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pranyoto F., Kensiwi F., Kundori R., Asnyono R., & Sukrisno. (2024). Developing an integrated sustainability assessment framework: Evaluating environmental, social, economic, and governance performance at Panjang Port. *International Journal of Multidisciplinary and Current Educational Research (IJMCER)*, 6 (11), P. 12-20. [https://www.ijmcer.com/wp-content/uploads/2024/11/IJMCER\\_C06601220.pdf](https://www.ijmcer.com/wp-content/uploads/2024/11/IJMCER_C06601220.pdf)
2. Fasoulis I., & Kurt R.E. (2019). Embracing sustainability in shipping: Assessing industry's adaptations incited by the newly introduced 'triple bottom line' approach to sustainable maritime operations. *Social Sciences*, 8(7), 208 p. <https://www.mdpi.com/2076-0760/8/7/208>
3. Pérez Lespier L., Long S.M., Shoberg T., & Corns S. (2019). A model for the evaluation of environmental impact indicators for a sustainable maritime transportation systems. *Frontiers of Engineering Management*, 6(3), P. 368-383. <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0004-9>
4. Stanković J.J., Marjanović I., Papathanasiou J., & Drezgić S. (2021). Social, economic and environmental sustainability of port regions: MCDM approach in composite index creation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (1), 74 p. <https://doi.org/10.3390/jmse9010074>
5. Wu X., & Yang H.-C. (2021). *An ecological sustainability assessment approach for strategic decision making in international shipping. Sustainability*, 13(20), 11471. <https://doi.org/10.3390/su132011471>
6. Mthembu S.E., Chasomeris M.G. A systems approach to developing a port community system for South Africa. *J. shipp. trd.* 7, 26 (2022). <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00128-3>
7. Mansouri M., Gorod A., Wakeman T.H., & Sauser B. (2009). System of systems approach to maritime transportation governance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2166 (1), 1-6. <https://doi.org/10.3141/2166-08>
8. Ilchenko S., Khumarova N., Maslii N., Demianchuk M., & Skribans V. (2021). Instruments for ensuring the balanced development of maritime and inland waterway transport in Ukraine. *E3S Web of Conferences*, 255, 01021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125501021>
9. Klár R., Fredriksson A., & Angelakis V. (2023). Digital twins for ports: Derived from smart city and supply chain twinning experience. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.10224>

10. Jović M., Tijan E., Brčić D., & Pucihar A. (2022). Digitalization in Maritime Transport and Seaports: Bibliometric, Content and Thematic Analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(4), 486. <https://doi.org/10.3390/jmse10040486>
11. Zeng F., Chen A., Xu S., Chan H.K., & Li Y. (2025). Digitalization in the Maritime Logistics Industry: A Systematic Literature Review of Enablers and Barriers. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13 (4), 797. <https://doi.org/10.3390/jmse13040797>
12. Melnyk O., Onyshchenko S., Rudenko S., Pavlova N., Arsen Muradian (2024). Embracing Integrated Optimization Strategies for Cost-Effective Port Operations in Marine Logistics. In: Babak V., Zaporozhets A. (eds) *Systems, Decision and Control in Energy VI. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 561. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-68372-5\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68372-5_27)
13. Melnyk O., Drozdov O., & Kuznichenko, S. (2025). Cyber- security in Maritime Transport: An International Perspective on Regulatory Frameworks and Countermeasures. *Lex Portus*, 11(1), 7-19. <https://doi.org/10.62821/lp11101>
14. Melnyk O., Onishchenko O., Fomin O., Yarovenko V., Pavlova N., Drozhzhyn O., & Vishnevsky D. (2025). Smart Port Concept: A Case Study of Port-Integrated Autonomous Networks. *Journal of Maritime Research*, 22(1), 315-323. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15309352>
15. Melnyk O., Bulgakov M., Fomin O., Onyshchenko S., Onishchenko O., Pulyaev I. Sustainable development of renewable energy in shipping: technological and environmental prospects. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2025, 127, 165-188. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2025.127.10>

## REFERENCES

1. Pranyoto, F., Kensiwi, F., Kundori, R., Asnyono, R., & Sukrisno. (2024). Developing an integrated sustainability assessment framework: Evaluating environmental, social, economic, and governance performance at Panjang Port. *International Journal of Multidisciplinary and Current Educational Research (IJMCER)*, 6(11), 12-20. [https://www.ijmcer.com/wp-content/uploads/2024/11/IJMCER\\_C06601220.pdf](https://www.ijmcer.com/wp-content/uploads/2024/11/IJMCER_C06601220.pdf)
2. Fasoulis, I., & Kurt, R. E. (2019). Embracing sustainability in shipping: Assessing industry's adaptations incited by the newly introduced 'triple bottom line' approach to sustainable maritime operations. *Social Sciences*, 8(7), 208. <https://www.mdpi.com/2076-0760/8/7/208>

3. Pérez Lespier, L., Long, S. M., Shoberg, T., & Corns, S. (2019). A model for the evaluation of environmental impact indicators for a sustainable maritime transportation systems. *Frontiers of Engineering Management*, 6(3), 368-383. <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0004-9>
4. Stanković, J.J., Marjanović, I., Papathanasiou, J., & Drezgić, S. (2021). Social, economic and environmental sustainability of port regions: MCDM approach in composite index creation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1), 74. <https://doi.org/10.3390/jmse9010074>
5. Wu, X., & Yang, H.-C. (2021). *An ecological sustainability assessment approach for strategic decision making in international shipping*. *Sustainability*, 13 (20), 11471. <https://doi.org/10.3390/su132011471>
6. Mthembu, S.E., Chasomeris, M.G. A systems approach to developing a port community system for South Africa. *J. shipp. trd.* 7, 26 (2022). <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00128-3>
7. Mansouri, M., Gorod, A., Wakeman, T. H., & Sauser, B. (2009). System of systems approach to maritime transportation governance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2166 (1), 1-6. <https://doi.org/10.3141/2166-08>
8. Ilchenko, S., Khumarova, N., Maslii, N., Demianchuk, M., & Skribans, V. (2021). Instruments for ensuring the balanced development of maritime and inland waterway transport in Ukraine. *E3S Web of Conferences*, 255, 01021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125501021>
9. Klár, R., Fredriksson, A., & Angelakis, V. (2023). Digital twins for ports: Derived from smart city and supply chain twinning experience. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.10224>
10. Jović, M., Tijan, E., Brčić, D., & Pucihar, A. (2022). Digitalization in Maritime Transport and Seaports: Bibliometric, Content and Thematic Analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(4), 486. <https://doi.org/10.3390/jmse10040486>
11. Zeng, F., Chen, A., Xu, S., Chan, H. K., & Li, Y. (2025). Digitalization in the Maritime Logistics Industry: A Systematic Literature Review of Enablers and Barriers. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(4), 797. <https://doi.org/10.3390/jmse13040797>

12. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Rudenko, S., Pavlova, N., Arsen Muradian (2024). Embracing Integrated Optimization Strategies for Cost-Effective Port Operations in Marine Logistics. In: Babak, V., Zaporozhets, A. (eds) Systems, Decision and Control in Energy VI. Studies in Systems, Decision and Control, vol 561. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-68372-5\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68372-5_27)
13. Melnyk, O., Drozdov, O., & Kuznichenko, S. (2025). Cyber-security in Maritime Transport: An International Perspective on Regulatory Frameworks and Countermeasures. *Lex Portus*, 11 (1), 7-19. <https://doi.org/10.62821/lp11101>
14. Melnyk, O., Onishchenko, O., Fomin, O., Yarovenko, V., Pavlova, N., Drozhzhyn, O., & Vishnevsky, D. (2025). Smart Port Concept: A Case Study of Port-Integrated Autonomous Networks. *Journal of Maritime Research*, 22(1), 315-323. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15309352>
15. Melnyk, O., Bulgakov, M., Fomin, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Pulyaev, I. Sustainable development of renewable energy in shipping: technological and environmental prospects. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2025, 127, 165-188. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2025.127.10>

*Стаття надійшла до редакції 03.06.2025*

**Посилання на статтю: Прохоров В.К., Берневек Т.І.** Теоретико-системна оцінка стійкості морських транспортних систем у контексті сталого розвитку // *Вісник Одеського національного морського університету*: Зб. наук. праць, 2025. № 3 (77). С. 192-205. DOI 10.47049/2226-1893-2025-3-192-205.

*Article received 03.06.2025*

**Reference a journal artic: Prokhorov V., Bernevek T.** System-theoretical assessment of the sustainability of maritime transport systems in the context of sustainable development // *Herald of the Odesa National Maritime University*: Coll. scient. works, 2025. № 3 (77). P. 192-205. DOI 10.47049/2226-1893-2025-3-192-205.