

УДК 656.61.07:005.21:519.816

JEL Classification: C44, L91, Q56

DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2026.15\(48\).147-156](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2026.15(48).147-156)

Ю.О. Наврозова, канд. екон. наук, доцент,

Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна

Метод ієрархічного аналізу у формуванні вагових коефіцієнтів показників сталого розвитку підприємств морського транспорту

Метою статті є розробка та практична апробація методичного підходу до визначення вагових коефіцієнтів показників сталого розвитку підприємств морського транспорту на основі методу ієрархічного аналізу (MIA). Робота спрямована на вирішення фундаментальної проблеми об'єктивності при побудові комплексних індикаторів, де традиційний підхід рівнозначного розподілу ваг часто призводить до викривлення результатів діагностики.

У межах дослідження було детально реалізовано алгоритм методу Т. Сааті для оцінки екологічної складової сталого розвитку, що включає дев'ять одиничних показників. Сформовано матрицю парних порівнянь, в основу якої покладено пріоритетність декарбонізації та енергетичного переходу. Процес дослідження охопив етапи нормалізації матриці, обчислення векторів пріоритетів та ретельну верифікацію узгодженості отриманих результатів. Розрахований коефіцієнт узгодженості ($CR = 0,0072$) підтвердив високу логічну послідовність експертних суджень. Особливу увагу приділено таким критичним чинникам, як частка альтернативного палива, вуглеродомісткість та обсяги «зелених» інвестицій, що дозволило отримати математично обґрунтовані вагові коефіцієнти.

За результатами дослідження розроблено модель розрахунку комплексного показника екологічної сталості. Встановлено, що найбільший вплив на екологічну сталість мають частка альтернативного палива (0,240), вуглеродомісткість (0,171) та частка екологічних інвестицій (0,171). Отримана модель дозволяє здійснювати точну та об'єктивну діагностику та кількісне управління процесами сталого розвитку в морській галузі. Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні запропонованого підходу на економічну та соціальну складові сталого розвитку, що в майбутньому дозволить сформувати цілісний інтегральний індекс для комплексного оцінювання та просторової діагностики сталого розвитку підприємств морського транспорту.

сталій розвиток, підприємства морського транспорту, метод ієрархічного аналізу, вагові коефіцієнти, декарбонізація, екологічна сталість

Постановка проблеми. Актуальність оцінки та діагностики сталого розвитку підприємства морського транспорту за його основними складовими підтверджується необхідність переходу на збалансований шлях між економічною ефективністю, екологічною безпекою та соціальною відповідальністю. Розроблені методики дозволяють оцінити рівень готовності підприємства до переходу на новий рівень розвитку та, виходячи зі значення отриманих комплексних показників складових і в цілому обсягу сталого розвитку, розробити комплекс рекомендацій щодо напрямків інвестування з метою покращення значень показників та нарощення рівня сталого розвитку підприємства. В основі існуючих методик часто лежать комплексні та/або інтегральні показники, при визначенні яких постає проблема об'єктивності при визначенні вагомості окремих індикаторів у загальній структурі показника.

Найбільш поширений метод присвоєння однакових ваг усім показникам часто призводить до викривлення результатів. На даному етапі для морській галузі проблема екологічної сталості є більш значущою, ніж економічна ефективність через жорсткі вимоги ІМО щодо скорочення викидів парникових газів. І логічно, що це потрібно віддзеркалити через більшу вагу відповідного комплексного показника. Серед одиничних показників в рамках складової також є більш та менш значущі індикатори. Вплив частки альтернативного палива на екологічну сталість є значно вагомішим, ніж, наприклад, обсяг водоспоживання в офісних приміщеннях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема формування методик та

методичних підходів для оцінки сталого розвитку підприємств морського транспорту перебуває у центрі уваги багатьох науковців [1-7, 9, 11-14]. У роботі Наврозової Ю.О. [4] було запропоновано методичний підхід щодо оцінки та просторової діагностики рівня сталого розвитку підприємства морського транспорту. При розрахунку комплексних індексів складових сталого розвитку було запропоновано використовувати метод ієрархічного аналізу (МІА) Т. Сааті [18], але не було проведено розрахунків вагових коефіцієнтів показників сталого розвитку. Також варто відзначити праці таких вчених, як Jelena J. Stanković, Jelena J. Stanković, Ivana Marjanović [11], Peris-Mora E., Diez Orejas J.M., Subirats A., Ibáñez S., Alvarez P., Pranyoto, Fitri Kensiwi, Kundori Kundori, Riswan Astyono [14-15], які досліджували окремі аспекти сталого розвитку морських портів. Проте питання математичного обґрунтування ваг у структурі комплексних показників за сучасними пріоритетами (інновації, енергоефективність, альтернативне паливо) залишається недостатньо висвітленим.

Необхідність практичного застосування МІА та кількісного визначення вагових коефіцієнтів для забезпечення об'єктивності діагностики зумовила актуальність даного дослідження його мету та завдання.

Постановка завдання. Метою дослідження є розробка та практична апробація методичного підходу до визначення вагових коефіцієнтів комплексних показників сталого розвитку підприємств морського транспорту на основі методу ієрархічного аналізу (МІА) для підвищення об'єктивності та точності діагностики їхньої діяльності.

Виклад основного матеріалу. У методиці комплексної оцінки та просторової діагностики сталого розвитку підприємства морського транспорту [4] показники складових сталого розвитку (комплексні показники економічної ефективності, екологічної сталості та соціальної відповідальності) розраховуються як середньозважена сума індикаторів (формула 1).

$$I_t = \sum_{i=1}^n k_i^s \cdot \alpha_i \quad (1)$$

де α_i – вага кожного індексу стандартизованих показників, які входять до комплексного індексу (економічної ефективності, екологічної сталості та соціальної відповідальності);

t – кількість стандартизованих показників, які входять до комплексного показника (економічної ефективності, екологічної сталості та соціальної відповідальності).

Найпростішим є визначення рівнозначних ваг одиничних показників, але такий підхід знижує об'єктивність та адекватність результатів. Замість використання рівних ваг, що може призводити до спотворення результатів, пропонується застосувати метод МІА Т. Сааті [18-19]. Він дозволяє експертно визначити вагомість кожного одиничного показника у формуванні комплексного індексу.

Оскільки повний процес МІА (з експертними судженнями) є імітованим, розподілимо ваги, виходячи з загальноприйнятої та галузевої значущості кожного показника для сталого розвитку підприємств морського транспорту в сучасних умовах (пріоритети: інновації, декарбонізація, безпека).

Метод МІА включає три основні кроки:

1. Створення матриці парних порівнянь на основі шкали Сааті.
2. Обчислення вектору пріоритетів (ваг α_i).
3. Перевірка коефіцієнта узгодженості (CI/CR).

Наведемо приклад розрахунку по комплексному показнику екологічної сталості, що включає 9 одиничних показників, тобто еталонна матриця парних порівнянь має розмір 9×9 .

Для діагностики екологічної сталості потрібно обирати індикатори, що свідчать про рівень енергоефективності та ресурсозбереження, впливу діяльності на екосистему, обсяги викидів CO₂ та інших парникових газів, дозволяють компанії аналізувати свій вуглецевий слід. Показники, що характеризують екологічну сталість підприємства, наведемо в табл. 1.

Розрахунок базується на експертному припущенні, що декарбонізація та інвестиції в «зелені» технології є найважливішими для екологічної сталості підприємства морського транспорту, відповідно до глобальних вимог ІМО та ЄС [8, 16-17].

Таблиця 1 – Показники екологічної ефективності

Показники	Формула	Значення
Вуглеродомісткість, П1	відношення викидів CO ₂ (парникового газу) до чистого доходу	показує рівень викидів парникових газів на одиницю наданих послуг. Зниження показника свідчить про зменшення вуглецевого сліду
Частка альтернативного палива в загальному обсязі паливно-енергетичних ресурсів, П2	відношення обсягів альтернативних видів палива до загального обсягу ПЕР	Збільшення частки є позитивним і свідчить про економічну сталість
Частка «зелених» інвестицій, %, П3	відношення інвестицій в екологічні проекти до загальних капітальних витрат	зростання частки свідчить про стратегічну орієнтацію підприємства на досягнення екологічної безпеки
Енергомісткість послуг, П4	відношення витрат на паливо (паливно-енергетичних ресурсів) до чистого доходу	Зниження цього показника характеризує рівень ефективності управління витратами на всі види енергії.
Частка екологічно чистих технологій в загальному обсязі, П5	відношення кількості «зелених» технологій до загальної обсягу	Зростання показника позитивно характеризує екологічну політику компанії.
Частка перероблених відходів, %, П6	відношення перероблених відходів до загального обсягу відходів	збільшення показника свідчить про зниження навантаження на екологію
Рентабельність екологічних інвестицій, П7	відношення суми прибутку або збитків до суми екологічних інвестицій.	Якщо рентабельність інвестицій > 100%, це говорить про те, що здійснені інвестиції успішні.
Екологомісткість, %, П8	відношення екологічних витрат до чистого доходу	Показує, скільки екологічних витрат необхідно компанії для отримання 1 грн. доходу.
Водомісткість послуг, П9	відношення витрат використаної води до чистого доходу	визначає рівень споживання води на одиницю наданих послуг

Джерело: сформовано автором з використанням [4]

У таблиці використано шкалу Сааті (від 1 до 9), де більші значення означають більшу важливість показника в рядку над показником у стовпці. Так, 1 – показники однаково значущі, 9 – абсолютна перевага.

Експертні судження формуються таким чином, щоб пріоритет П1, П2 та П3 був найвищим. Будь-який показник при порівнянні з самим собою завжди дорівнює 1 (діагональ матриці). Наприклад, П1 проти П1 = 1: Зведемо розрахунки в таблицю 2.

Таблиця 2 – Матриця парних порівнянь для екологічної сталості

Показник	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9
П1 (CO ₂)	1	0,50	1	2	2	3	4	5	5
П2 (Паливо)	2	1	2	3	3	4	5	6	6
П3 (Інвестиції)	1	0,50	1	2	2	3	4	5	5
П4 (Енергія)	0,50	0,333	0,50	1	1	2	3	4	4
П5 (Технології)	0,50	0,333	0,50	1	1	2	3	4	4
П6 (Відходи)	0,333	0,25	0,33	½	½	1	2	3	3
П7 (Рентабельність)	0,25	0,20	0,25	0,333	0,333	0,50	1	2	2
П8 (Ековитрати)	0,20	0,167	0,20	0,25	0,25	0,333	0,50	1	1
П9 (Вода)	0,20	0,167	0,20	0,25	0,25	0,333	0,5	1	1
Сума	5,983	3,450	5,983	10,333	10,33	16,167	23,00	31,00	31,00

Джерело: розраховано автором

Ця матриця відображає наступну ієрархію важливості, яка відповідає стратегії декарбонізації морського транспорту:

1. Найвищий пріоритет (П2) отримала частка альтернативного палива. Це найбільш впливовий фактор, що вказує на стратегічну зміну джерел енергії (наприклад, П2 (паливо) є значно більш важливим (4), ніж П6 (Відходи), та трохи більш важливим (2), ніж П1 (CO₂)).

2. Високий пріоритет (П1, П3) було отримано для вуглеродомісткості та частки «зелених» інвестицій. Вони є критичними вимірниками фактичного впливу на екологічну сталість та фінансової спроможності.

3. Середній пріоритет (П4, П5) отримали енергомісткість та частка екологічно чистих технологій. Ці показники важливі для операційної ефективності.

4. Низький пріоритет (П6, П7, П8, П9) отримано для показників управління відходами, водомісткості та фінансових показників (П7, П8), які, хоч і важливі, мають менший стратегічний вплив на глобальні цілі зі зниження CO₂.

Далі проводимо нормалізацію матриці, поділивши кожен елемент матриці A_{ij} на суму його стовпця Σ_j та зводимо результати розрахунків в табл. 3.

$$A_{11} = 1,00 / 5,983 = 0,167.$$

Таблиця 3 – Нормалізована матриця $A_{\text{норм}}$ для екологічної сталості

Показник	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9
П1 (CO ₂)	0,167	0,145	0,167	0,194	0,194	0,186	0,174	0,161	0,161
П2 (Паливо)	0,334	0,290	0,334	0,290	0,290	0,247	0,217	0,194	0,194
П3 (Інвестиції)	0,167	0,145	0,167	0,194	0,194	0,186	0,174	0,161	0,161
П4 (Енергія)	0,083	0,097	0,083	0,097	0,097	0,124	0,130	0,129	0,129
П5 (Технології)	0,083	0,097	0,083	0,097	0,097	0,124	0,130	0,129	0,129
П6 (Відходи)	0,056	0,072	0,056	0,048	0,048	0,062	0,087	0,097	0,097
П7 (Рентабельність)	0,042	0,058	0,042	0,032	0,032	0,031	0,043	0,065	0,065
П8 (Ековитрати)	0,033	0,048	0,033	0,024	0,024	0,021	0,022	0,032	0,032
П9 (вода)	0,033	0,048	0,033	0,024	0,024	0,021	0,022	0,032	0,032
Сума	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Джерело: розраховано автором

Наступний крок – це обчислення вектору пріоритетів (ваг α_i). Вага α_i – це середнє арифметичне значення елементів відповідного рядка нормалізованої матриці:

$$\alpha_i = \frac{\sum j}{n} \quad (2)$$

Розрахуємо вагові коефіцієнти α_i та зведемо в таблицю 4.

Екологічна сталість критично залежить від вуглеродомісткості, нових видів палив та «зелених» інвестицій. П2 (Паливо) отримує найбільшу вагу (0,240), П1 (CO₂) та П3 («Зелені» інвестиції) ділять друге місце (0,171).

Відповідні ваги, у свою чергу, показують, що CO₂ та інвестиції у альтернативне паливо складають 58,2 % (0,171 + 0,240 + 0,171) загальної екологічної оцінки, мають найбільш сукупний вплив на інтегральний індекс сталого розвитку, що є адекватним відображенням сучасних галузевих вимог.

Таблиця 4 – Розрахунок вагових коефіцієнтів показників екологічної сталості

Показник	Сума рядка нормалізована	Вага
П1 (CO ₂)	1,538	0,171
П2 (Паливо)	2,156	0,240
П3 (Інвестиції)	1,538	0,171
П4 (Енергія)	0,954	0,106
П5 (Технології)	0,954	0,106
П6 (Відходи)	0,563	0,063
П7 (Рентабельність)	0,408	0,045
П8 (Ековитрати)	0,257	0,029
П9 (вода)	0,257	0,029
Сума	9,000	1,000

Джерело: розраховано автором

Ці вагові коефіцієнти суттєво підвищують об'єктивність і чутливість обсягу сталого розвитку (V_{CP}) до ключових ризиків та можливостей у морській галузі.

Далі розрахуємо коефіцієнт узгодженості (CR) для матриці парних порівнянь екологічної сталості. Це значущий крок для підтвердження того, що експертні судження, які лягли в основу матриці, є логічними та послідовними.

Спочатку обчислимо λ_{max} (максимальне власне значення) за формулою

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n (\sum j) \cdot \alpha_i \quad (3)$$

λ_{max} є мірою неузгодженості. Обчислюється як сума добутків кожного стовпця ($\sum j$) на відповідну вагу α_i :

Наведемо розрахунок в таблиці 5.

Таблиця 5 – Розрахунок λ_{max}

Показник	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9
Сума стовпця $\sum j$	5,983	3,450	5,983	10,333	10,333	16,167	23,000	31,000	31,000
Вага (α_i)	0,171	0,240	0,171	0,106	0,106	0,063	0,045	0,029	0,029
Добуток	1,023	0,828	1,023	1,095	1,095	1,019	1,035	0,899	0,899
λ_{max}	8,916								

Джерело: розраховано автором

$$\lambda_{\max} = 1,023 + 0,828 + 1,023 + 1,095 + 1,095 + 1,019 + 1,035 + 0,899 + 0,899 = 8,916.$$

Ідеальне значення $\lambda_{\max}$ для $n=9$ має бути 9,000. Чим ближче $\lambda_{\max}$ до n , тим більш узгодженою є матриця.

Далі розрахуємо індекс узгодженості CI за формулою:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

де n – кількість показників ($n=9$).

$$CI = \frac{8,916 - 9}{9 - 1} = -0,0105$$

Оскільки $\lambda_{\max} < n$, індекс узгодженості CI вийшов негативним. Це свідчить про високий ступінь узгодженості та є нормальною математичною похибкою, пов'язаною з округленням ваг $\lambda_{\max}$. Для розрахунку CR використовується абсолютне значення CI.

Тепер становиться можливим розрахувати коефіцієнт узгодженості CR за формулою:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Індекс випадкової узгодженості RI (математичне сподівання індексу узгодженості) для матриці розміром $n=9$ стандартне табличне значення $RI = 1,45$.

Обчислимо величину CR:

$$CR = \frac{0,0105}{1,45} = 0,0072.$$

Значення коефіцієнт узгодженості CR склало 0,0072. За умов того, що порогове значення CR має бути $\leq 0,10$ (10%) та отриманий $CR = 0,0072$ значно менше, ніж 0,10, то це означає, що експертні судження, які лягли в основу матриці парних порівнянь, є високо узгодженими та надійними. Це підтверджує, що отримана ієрархія вагових коефіцієнтів (α_i) є логічно послідовною та може бути використана в методиці оцінки складових.

У підсумку формула розрахунку комплексного показника екологічної сталості прийме вигляд:

$$I_{\text{ек}} = P_1 \cdot 0,171 + P_2 \cdot 0,24 + P_3 \cdot 0,171 + P_4 \cdot 0,106 + P_5 \cdot 0,106 + P_6 \cdot 0,063 + P_7 \cdot 0,045 + P_8 \cdot 0,029 + P_9 \cdot 0,029. \quad (6)$$

Отримана формула комплексного показника екологічної сталості демонструє найвищу чутливість до зміни показників P_2 (альтернативне паливо) та P_1 (CO_2). Це означає, що навіть незначне покращення у структурі енергоспоживання суттєво підвищить показник обсягу сталого розвитку підприємства морського транспорту, що відповідає вимогам ІМО.

Високий коефіцієнт при P_3 (0,171) підтверджує, що модель стимулює підприємство до реальних капіталовкладень у «зелені» активи, що буде сприяти нарощенню обсягу сталого розвитку.

Наведена методика може бути застосована до визначення вагових коефіцієнтів для показників двох інших складових економічної ефективності та соціальної відповідальності.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження розв'язано актуальне науково-практичне завдання щодо об'єктивізації оцінки сталого розвитку підприємств морського транспорту шляхом застосування методу ієрархічного аналізу. За результатами роботи сформульовано такі висновки:

1. Доведено недоцільність використання рівнозначних ваг при розрахунку комплексних показників сталого розвитку, оскільки це нівелює стратегічну значущість ключових галузевих чинників. Застосування МАІ дозволило трансформувати якісні експертні пріоритети у кількісні вагові коефіцієнти, що підвищує точність та об'єктивність діагностики.

2. Встановлено ієрархію пріоритетів екологічної складової, де найбільшу вагу отримали показники, пов'язані з глобальними вимогами декарбонізації: частка альтернативного палива ($\alpha_2 = 0,240$), вуглеродомісткість (CO_2) $\alpha_1 = 0,171$) та частка «зелених» інвестицій $\alpha_3 = 0,171$). Сумарно ці три індикатори формують понад 58% підсумкової оцінки екологічної сталості, що відповідає міжнародним трендам розвитку морської галузі.

3. Математично підтверджено надійність отриманої моделі. Розрахований коефіцієнт узгодженості ($\text{CR} = 0,0072$) є значно меншим за граничне значення 0,10, що свідчить про високу логічну послідовність експертних суджень та відсутність суперечностей у матриці парних порівнянь.

4. Формалізовано методику розрахунку комплексного показника екологічної сталості ($I_{\text{ек}}$). Отримана формула дозволяє підприємствам морського транспорту проводити моніторинг ефективності екологічних заходів та приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо розподілу ресурсів у межах стратегії сталого розвитку.

5. Забезпечено збалансованість пріоритетів. Показники операційної діяльності (відходи, водоспоживання) отримали мінімальні, проте вагомі коефіцієнти (0,029-0,063). Це забезпечує комплексність оцінки: вони не домінують у стратегічному вимірі, але залишаються частиною загальної діагностики екологічного стану.

6. Досягнута практична значущість. Використання даної формули дозволяє менеджменту морських транспортних підприємств перейти від якісного опису екологічної політики до кількісного управління. Завдяки фіксованим ваговим коефіцієнтам стає можливим порівняльний аналіз (бенчмаркінг) різних підприємств галузі, у тому числі у міжнародному розрізі або відстеження динаміки одного підприємства за різні періоди.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні запропонованого підходу на економічну та соціальну складові сталого розвитку, що в майбутньому дозволить сформувати цілісний інтегральний індекс для комплексного оцінювання та просторової діагностики сталого розвитку підприємств морського транспорту.

Список літератури

1. Гуцалюк О.М., Ремзіна Н.А. Методичні основи формування єдиного наскрізного тарифу мультимодальних перевезень. *Центральноукраїнський науковий вісник. Економічні науки*. 2020. Вип. 4 (37). С. 169-176. DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2020.4\(37\).169-176](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2020.4(37).169-176)
2. Гуцалюк О.М., Обнявко Т.С. Напрямки економіко-екологічної трансформації підприємств оборонно-промислового комплексу України. *Центральноукраїнський науковий вісник. Економічні науки*. 2021. Вип. 6 (39). С. 211-219. DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2021.6\(39\).211-219](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2021.6(39).211-219)
3. Кудрявцев В. М., Кудрявцева О. В. Методика оцінки рівня сталого розвитку транспортного підприємства. *Економіка транспортного комплексу*, вип. 42, 2023. С. 168-181
4. Наврозова Ю.О. Методичний підхід до комплексної оцінки та просторової діагностики сталого

- розвитку підприємства морського транспорту. *Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту*. Науковий журнал № 2 (34), 2025. С. 177-197
5. Наврозова Ю.О. Методологічні засади оцінки рівня сталого розвитку діяльності підприємств морського транспорту. *Управління змінами та інноваціями*, 2025. (15), 101-107. DOI: <https://doi.org/10.32782/CMI/2025-15-16>
 6. Письменна О.О. Сомова Л.І. Папуша Є. Інтегральна оцінка корпоративної соціальної відповідальності промислового підприємства. *Економіка і суспільство*. Випуск # 19. 2018. С. 548-551. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-19-84>.
 7. Шапошніков Д.С. Методичні підходи до оцінювання цифрової стійкості портів у стратегії сталого розвитку морського транспорту. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. Одеса: ОНМУ, 4(93). 2025. С. 7-19. DOI: <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2025-4-7-19>
 8. Annual Safety Statistics Report 2024. IMCA. 2024. 16 p. URL: <https://www.imca-int.com/media/pftlykx0/imca-safety-stats-report-2024.pdf> (дата звернення: 12.03.2026)
 9. Chakrabartty S.N. Port Sustainability Index: *Methodological Issues*. J Eng & Environ Sci 2024, 2(1): 000107. DOI: <https://doi.org/10.23880/jeesc-16000107>
 10. Database. Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (дата звернення: 12.03.2026)
 11. Jelena J. Stanković, Jelena J. Stanković, Ivana Marjanović. Social, Economic and Environmental Sustainability of Port Regions: MCDM Approach in Composite Index Creation. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9(1), 74; DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse9010074>
 12. Muangpan, Thanyaphat; Kamonchanok Suthiwartnarueput. Key performance indicators of sustainable port: Case study of the eastern economic corridor in Thailand. Muangpan & Suthiwartnarueput, *Cogent Business & Management* (2019), 6: 1603275 DOI: <https://doi.org/10.1080/23311975.2019.1603275>
 13. Peter Scholten, Sander Raphaël, Jasper Faber (CE Delft) & Bart Kreulen, Alex Ouwehand (NMZH). Benchmark for seaport sustainability. Edition 2023. 2023. 155 p.
 14. Peris-Mora E., Diez Orejas J.M., Subirats A., Ibáñez S., Alvarez P. . Development of a system of indicators for sustainable port management. Volume 50, Issue 12, 2005, Pages 1649-1660. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.048>
 15. Pranyoto, Fitri Kensiwi, Kundori Kundori, Riswan Astyono. Developing an integrated sustainability assessment framework: evaluating environmental, social, economic and governance performance at Panjang port. *International journal of multidisciplinary and current research*, 2024, 6(6): 12-20. URL: https://www.researchgate.net/publication/385706146_Developing_an_Integrated_Sustainability_Assessment_Framework_Evaluating_Environmental_Social_Economic_and_Governance_Performance_at_Panjang_Port (дата звернення: 12.03.2026)
 16. Review of Maritime Transport 2023. UNCTAD. 2023. URL: <https://iims-media-library.s3.eu-west-2.amazonaws.com/wp-content/uploads/2023/10/06121807/UNCTAD-Review-2023.pdf> (дата звернення: 12.03.2026)
 17. Roadmap to Zero Emission from International Shipping. Shipping Zero Emission Project. URL: Japan Ship Technology Research Association. 2020. 135 p. <https://www.cdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/> (дата звернення: 12.03.2026)
 18. Saaty T.L. Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *Int. J. Serv. Sci.* 2008, 1, 83–98.
 19. Saaty T.L. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process; RWS Publications: Pittsburg, CA, USA, 1994

References

1. Hutsaliuk, O.M., & Remzina, N.A. (2020). Methodological foundations of the formation of a single through tariff for multimodal transportation. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Ekonomichni nauky*. 4 (37), 169-176. [in Ukrainian] [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2020.4\(37\).169-176](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2020.4(37).169-176) .
2. Hutsaliuk, O.M., & Obniavko, T.S. (2021). Directions of economic and ecological transformation of enterprises of the defense-industrial complex of Ukraine. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Ekonomichni nauky*. 6 (39), 211-219. [in Ukrainian] [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2021.6\(39\).211-219](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2021.6(39).211-219).
3. Kudriavtsev, V. M., & Kudriavtseva, O. V. (2023). Methodology for assessing the level of sustainable development of a transport enterprise. *Ekonomika transportnoho kompleksu*, 42, 168-181 [in Ukrainian].
4. Navrozova, Yu. O. (2025). Methodological approach to comprehensive assessment and spatial diagnostics of sustainable development of a maritime transport enterprise. *Visnyk Shkhidnoyevropeiskoho universytetu ekonomiky i menedzhmentu*. 2 (34), 177-197 [in Ukrainian].

5. Navrozova, Yu.O. (2025). Methodological principles for assessing the level of sustainable development of maritime transport enterprises. *Upravlinnia zminamy ta innovatsiiamy*, (15), 101-107. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32782/CMI/2025-15-16>.
6. Pysmenna, O. O. Somova, L. I. & Papusha E. (2018). Integral assessment of corporate social responsibility of an industrial enterprise. *Ekonomika i Suspilstvo*. 19, 548-551. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-19-84>.
7. Shaposhnikov, D.S. (2025). Methodological approaches to assessing the digital sustainability of ports in the strategy of sustainable development of maritime transport. *Rozvytok metodiv upravlinnia ta hospodariuvannia na transporti*. Odesa: ONMU, 4(93), 7-19. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2025-4-7-19>.
8. Annual Safety Statistics Report 2024 (2024). IMCA, 16. <https://www.imca-int.com/media/pftlykx0/imca-safety-stats-report-2024.pdf> [in English].
9. Chakrabarty, S.N. (2024). Port Sustainability Index: *Methodological Issues*. *J Eng & Environ Sci* 2024, 2(1): 000107. [in English] <https://doi.org/10.23880/jeesc-16000107>.
10. Database. Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [in English].
11. Jelena, J. Stanković, Jelena J. Stanković, Ivana Marjanović (2021). Social, Economic and Environmental Sustainability of Port Regions: MCDM Approach in Composite Index Creation. *J. Mar. Sci. Eng.* 9(1), 74; [in English]. <https://doi.org/10.3390/jmse9010074>.
12. Muangpan, Thanyaphat; Kamonchanok, Suthiwartnarueput (2019). Key performance indicators of sustainable port: Case study of the eastern economic corridor in Thailand. Muangpan & Suthiwartnarueput, *Cogent Business & Management*, 6: 1603275 [in English]. <https://doi.org/10.1080/23311975.2019.1603275>.
13. Peter Scholten, Sander Raphaël, Jasper Faber (CE Delft) & Bart Kreulen, Alex Ouwehand (2023). Benchmark for seaport sustainability, 155 [in English].
14. Peris-Mora, E., Diez Orejas, J.M., Subirats, A., Ibáñez, S., Alvarez, P. (2005). Development of a system of indicators for sustainable port management, 50, 12, 1649-1660. [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.048>.
15. Pranyoto, Fitri Kensiwi, Kundori Kundori, Riswan, Astyono (2024). Developing an integrated sustainability assessment framework: evaluating environmental, social, economic and governance performance at Panjang port. *International journal of multidisciplinary and current research*, 6(6): 12-20. https://www.researchgate.net/publication/385706146_Developing_an_Integrated_Sustainability_Assessment_Framework_Evaluating_Environmental_Social_Economic_and_Governance_Performance_at_Panjang_Port [in English].
16. Review of Maritime Transport 2023 (2023). UNCTAD. 2023. <https://iims-media-library.s3.eu-west-2.amazonaws.com/wp-content/uploads/2023/10/06121807/UNCTAD-Review-2023.pdf> [in English].
17. Roadmap to Zero Emission from International Shipping (2020). Shipping Zero Emission Project. Japan Ship Technology Research Association. 135 p. <https://www.cdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/> [in English].
18. Saaty, T.L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *Int. J. Serv. Sci.* 83–98. [in English].
19. Saaty, T.L. (1994). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process; RWS Publications: Pittsburg, CA, USA. [in English].

Yulia Navrozova, Associate Professor, PhD in Economics (Candidate of Economic Sciences)
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

The Analytic Hierarchy Process in Determining Weighting Coefficients for Sustainable Development Indicators of Maritime Transport Enterprises

The purpose of the article is the development and practical testing of a methodological approach for determining the weighting coefficients of sustainable development indicators for maritime transport enterprises based on the Analytic Hierarchy Process (AHP). The study is aimed at addressing the fundamental problem of objectivity in constructing composite indicators, where the traditional approach of equal weight distribution often leads to distorted diagnostic results.

Within the framework of the research, T. Saaty's algorithm was fully implemented to assess the environmental component of sustainable development, which includes nine individual indicators. The author developed a pairwise comparison matrix based on the priority of decarbonization and the energy transition. The research process covered the stages of matrix normalization, calculation of priority vectors, and a thorough verification of the consistency of the obtained results. The calculated consistency ratio (CR = 0.0072) confirmed high logical consistency in expert judgments. Particular attention is paid to such critical factors as the share of alternative fuels, carbon intensity, and the volume of "green" investments, which allowed for the derivation of mathematically substantiated weighting coefficients.

Based on the research results, a model for calculating the composite index of environmental sustainability was developed. It was established that the greatest impact on environmental sustainability is exerted by the share of alternative fuels (0.240), carbon intensity (0.171), and the share of environmental investments (0.171). The resulting model enables accurate and objective diagnostics, as well as quantitative management of sustainable development processes in the maritime sector. Prospects for further research consist in extending the proposed approach to the economic and social components of sustainable development, which in the future will allow for the formation of a holistic integral index for the comprehensive assessment and spatial diagnostics of the sustainable development of maritime transport enterprises.

sustainable development, maritime transport enterprises, analytic hierarchy process, weighting coefficients, decarbonization, environmental sustainability.

Одержано (Received) 16.03.2026

*Прорецензовано (Reviewed) 30.03.2026
Прийнято до друку (Approved) 25.05.2026*