

УДК 656.6:616-036  
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.3.2/34>

**Гільдєєв Д.О.**

<https://orcid.org/0009-0003-9173-6602>  
Одеський національний морський університет

**Онищенко С.П.**

<https://orcid.org/0000-0002-7528-4939>  
Одеський національний морський університет

## КОНЦЕПЦІЯ ВРАХУВАННЯ ВИКИДІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

*Метою даного дослідження є розробка концепції врахування викидів при формуванні та оптимізації систем доставки вантажів. Основна ідея полягає в тому, що при виборі варіанта системи доставки пропонується розглядати додатковий критерій – показник «сумарних викидів», який дозволяв би оцінити альтернативні варіанти системи доставки, яка відповідає певним експортним (імпортним) постачанням, що передбачають різні комбінації видів транспорту. Кожен рівень системи доставки та кожен її компонент впливає на величину викидів. Тобто йдеться про оцінку транспортуючих систем, що забезпечують доставку вантажів у межах певного проміжку часу, і є відносно постійною структурою. Розроблено концепцію врахування викидів при формуванні та оптимізації систем доставки вантажів. Згідно даній концепції варіювання технологією перевезень, географією пунктів (портів) перевалювання, складом транспортних та перевантажувальних засобів дозволить варіювати загальною величиною викидів при транспортуванні певної партії вантажу протягом певного періоду. Це дозволить формувати рішення щодо доставки в умовах досягнення балансу «витрати – викиди», що відповідає сучасним ідеологіям зеленої логістики та сталого розвитку. Запропонована концепція у подальшому має бути застосована при математичному моделюванні процесів формування та оптимізації систем доставки вантажів, складаючи відповідне теоретичне підґрунтя. На базі прогнозів щодо обсягів постачання для даної системи транспортування можуть бути зроблені оцінки за певний період, що дасть змогу побачити перспективу використання конкретного варіанту транспортування з точки зору впливу на довкілля та проаналізувати варіанти його мінімізації.*

**Ключові слова:** викиди, сталий розвиток, зелена логістики, морські перевезення, контейнерні перевезення, технологія транспортування.

**Постановка проблеми.** Останні десятиліття відбуваються стрімкі зміни в усіх галузях економіки, зокрема, і на транспорті. Трансформація сучасної системи поглядів на бізнес та технології відображає концепція сталого розвитку [1,2], яка у частині екологічної складовій перетинається з концепцією зеленої логістики. Тому сучасні тренди, у тому числі й у технологічних рішеннях на транспорті, спрямовані на зниження шкоди зовнішньому середовищу. Таким чином, зусилля сучасного прогресивного людства, що відображаються в глобальних трендах, спрямовані на поступову мінімізацію шкоди навколишньому середовищу від технологій у всіх сферах життєдіяльності людини.

Слід зазначити, що на міжнародному рівні в рамках відповідних організацій розробляються документи, що регламентують ті чи інші умови функціонування різних виробничих/технологічних об'єктів з погляду шкоди навколишньому середовищу. Зокрема, ІМО за останні десятиліття розробило значну кількість нормативних документів щодо мінімізації викидів, пов'язаних з морським транспортом. Але будь-який транспортний засіб, що відповідає всім сучасним вимогам з погляду шкоди зовнішньому середовищу, працює у певній системі, і, як правило, значна частка транспортувань здійснюється з використанням комбінації різних видів транспорту. Безумовно, це на 100% відноситься до морського



та річкового транспорту, які завжди працюють у системі доставки, щонайменше передбачає використання двох сухопутних ділянок – до порту і від порту – або автомобільним, або залізничним транспортом. Деякі системи транспортування, що пов'язані з експортом продукції, можуть включати не лише сухопутні ділянки, а й комбінації «морське перевезення» плюс «річкове перевезення». Таким прикладом може бути доставка експортного зерна з України з використанням транспортування «автоперевезення»/«залізничне перевезення» – «річкове перевезення по Дніпру» – «морське перевезення»-«автоперевезення»/«залізничне перевезення». Як правило, основним критерієм при формуванні зазначених систем транспортування є сумарні витрати, мінімізація яких сприяє максимізації прибутку експортерів та виробників. Але, у відповідності до сучасних глобальних трендів, слід оцінювати дані системи транспортування також і з точки зору впливу на навколишнє середовище. Таким чином, виникає проблема оцінки та оптимізації негативного впливу на довкілля систем доставки вантажів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Якщо раніше важливим аспектом транспортування була його вартість, то, з урахуванням розвитку ідей логістики, з'явилися комплексні вимоги – час, вартість, надійність. Тому вантажовласники формували вже систему умов при виборі варіанта доставки з багатьох альтернатив, балансуючи в рамках залежності «час – надійність–вартість» [3,4]. Сьогодні, в умовах поширення ідеології сталого розвитку та усвідомленого ставлення бізнесу до навколишнього середовища, транспортування отримує новий критерій, який доповнює існуючу систему, а саме, «CO<sub>2</sub> викиди».

У сучасних публікаціях значну увагу присвячено питанням мінімізації викидів CO<sub>2</sub> у транспортній сфері, але, як правило, йдеться безпосередньо, про транспортні засоби – морські судна, наприклад, або автотранспорт. У відповідності до концепцій зеленої логістики та зеленого судноплавства в сучасних публікаціях розглядаються різні технологічні рішення для мінімізації негативного впливу транспортного засобу на довкілля [5,6].

Проте лише незначна частина сучасних досліджень присвячена питанням врахування викидів CO<sub>2</sub> при доставці вантажів з погляду вантажовласника або організатора доставки на усю систему, що передбачає оцінку негативного впливу на довкілля всіх елементів доставки – транспорт-

них та перевантажувальних засобів, задіяних у транспортному процесі. Винятками є публікації [7,8]. Наприклад, в [7] досліджується визначення розташування розподільчого складу для торгової мережі таким чином, щоб викиди CO<sub>2</sub> автотранспорту, задіяного в обслуговуванні даної системи розподілу, були мінімальними. Таким чином, можна простежити зміщення акцентів у дослідженнях, пов'язаних з питаннями транспорту та логістики, – від мінімізації витрат та відстаней – до мінімізації негативного впливу на довкілля. Отже, залишаються відкритими питання дослідження негативного впливу та викидів CO<sub>2</sub> в рамках систем доставки, що передбачають, наприклад, інтермодальне або змішане перевезення. Якщо в системах доставки, пов'язаних тільки з автотранспортом, що, власне, і розглядалося в окремих дослідженнях, основний акцент робиться на маршрутизації та оптимізації швидкості для мінімізації викидів (наприклад, у [8]), то для змішаних та інтермодальних перевезень виникає варіативність не тільки в маршрутах, але і в схемах доставки (з урахуванням варіації портів перевалки), кількості морських ділянок у видах транспорту (автотранспорт – залізничний транспорт) на сухопутній ділянці. У роботах [3,4] розглядалися питання оптимізації подібних систем доставки з урахуванням часу, витрат та надійності. Класичним підходом у таких задачах є вибір одного з критеріїв як головного, який і відіграє роль критерію оптимізації, а інші критерії використовуються як обмеження. У [3] крім варіації схемами доставки та видами транспорту, також розглядалися альтернативні варіанти перевізників на кожній ділянці схем, що дозволяло комплексно оптимізувати різні структури, які пов'язані з системою доставки, – топологією доставки (набором географічних ділянок доставки), видами транспортних засобів, складом учасників. Слід зазначити, що роботи [3,4] пов'язані з мультимодальною доставкою, але це передбачає відсутність варіації технологією перевезення, оскільки априорі використовується контейнерна транспортно-технологічна система. Однак, при вирішенні подібних питань з іншими категоріями вантажів (наприклад, зерна чи металу), у деяких ситуаціях виникає і можливість варіації технологічними рішеннями. Зокрема, у [9] представлена система можливих рішень в рамках варіації технологіями перевезення з використанням водного транспорту.

Таким чином, на базі аналізу сучасних практичних викликів транспортного ринку та теоретичної бази оптимізації систем доставки вантажів,

виявлено певне протиріччя, що обґрунтовує необхідність усунення цієї суперечності шляхом дослідження питань оптимізації систем доставки вантажів з урахуванням їхнього негативного впливу на навколишнє середовище у комплексі від традиційними критеріями до транспортуючих систем.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розробка концепції врахування викидів при формуванні та оптимізації систем доставки вантажів для забезпечення її відповідності сучасним вимогам та глобальному тренду сталого розвитку.

**Виклад основного матеріалу.** Основна ідея цього дослідження полягає в тому, що при виборі варіанта системи доставки пропонується розглядати додатковий критерій – показник «сумарних викидів», який дозволяв би оцінити альтернативні варіанти системи доставки, яка відповідає певним експортним (імпортним) постачанням, що передбачають різні комбінації видів транспорту. Тобто йдеться про оцінку транспортуючих систем, що забезпечують доставку вантажів у межах певного проміжку часу, і є відносно постійною структурою, як це зазначено у [10]. Таким чином, при прийнятті рішень щодо вибору найбільш ефективного варіанта системи доставки виникає можливість урахування не тільки економічних факторів, а й впливу цього варіанту на навколишнє середовище, а це дає можливість приймати рішення, забезпечуючи баланс «ефективність економічна» – «ефективність екологічна». Такий підхід відповідає концепції зеленої логістики [11].

Сумарні викиди системи доставки є інтегральним показником, який враховує всі технологічні ланцюжки та всі транспортні та перевантажувальні засоби, що задіяні у транспортуванні цієї системою заданої партії вантажу  $Q$  (т). Більше того, на базі прогнозів щодо постачання  $Q$  для даної системи транспортування можуть бути зроблені оцінки за певний період (наприклад, п'ять і більше років), що дасть змогу побачити перспективу використання конкретного варіанту транспортування з точки зору впливу на довкілля та проаналізувати варіанти його мінімізації.

Слід зазначити, що з усього різноманіття шкідливих викидів саме  $\text{CO}_2$  слід прийняти в якості критерію, з урахуванням того, що більшість нормативних документів національного та міжнародного рівнів пов'язані саме з ними. Надалі, не обмежуючи загальності, розглядатимемо варіант одного виду викидів, що при необхідності може бути поширене на будь-яку множину шкідливих речовин. Отже, позначимо сумарні викиди  $\text{CO}_2$  системи доставки:

$$E(Q), \quad (1)$$

де  $Q$  – обсяг постачань в рамках заданого часового періоду (в тоннах або в TEU).

Слід зазначити, що система доставки характеризується [10]:

1) географічним розташуванням пунктів відправлення, призначення та перевалки – топологія системи;

2) операціями транспортно-технологічного процесу відповідно до обраної технології транспортування;

3) складом транспортних та перевантажувальних засобів відповідно до операцій транспортно-технологічного процесу;

4) складом конкретних учасників, тобто підприємств, які здійснюють операції транспортно-технологічного процесу.

Кожен рівень системи доставки та кожен її компонент впливає на величину викидів. Наприклад, дистанція перевезення між пунктами визначає необхідний час перевезення, що впливає на кількість викидів на цій ділянці. Транспортний засіб конкретного перевізника має певну специфіку в контексті викидів, наприклад, однакового дедвейту та спеціалізації судна можуть використовувати різні види палива, відповідно, рівень їх викидів відрізняється.

Інший важливий аспект для системи доставки – її межі. У [3] для різних систем доставок з використанням водного транспорту представлені варіанти меж системи залежно від транспортних умов контракту. Наприклад, якщо йдеться про експортні поставки на умовах CIF, то межі системи включають морське перевезення, якщо на умовах FOB – то система закінчується в портах відправлення. Звичайно, в ідеальному варіанті для оптимізації викидів системи доставки, пов'язаної з певними постачаннями, слід розглядати повну систему – від пунктів зародження постачання до кінцевого споживача – ланцюга постачання в цілому. Але, зазвичай, така всеохоплююча система доставки пов'язана з кількома незалежними суб'єктами, кожен із яких відповідає і контролює лише власну частину і не може впливати на рішення інших учасників (рис.1).

Таким чином, для систем транспортування, що відповідають ланцюгам постачань, кількість пунктів відправлення, перевантаження та призначення значно більша, з урахуванням специфіки ланцюгів поставки. Системи транспортування, що відповідають експортним (імпортним) постачанням, по суті є частиною подібних систем для ланцюгів постачання. Різниця фор-

мується за рахунок «меж», що розглядаються. Наприклад, можна розглянути всю логістику зерна – доставка врожаю до польових елеваторів, далі портових зернових терміналів, і далі перевезення морем до порту країни-імпортера. Також можна розглянути варіант «менших» меж – від польових елеваторів.

Варіант розгляду залежить від меж відповідальності – мається на увазі відповідальність конкретного суб'єкта, який приймає рішення: якщо йдеться про експортера, який купує зерно у виробника – для нього «межі» системи, що розглядається, менше; якщо йдеться про виробника, який і є експортером – для нього «кордони» ширші та охоплюють усю представлену вище систему.

На рис.2 межі експортних поставок починаються з річкового порту і закінчуються морським перевезенням, межі ланцюгів поставок починаються від складів у пунктах зародження вантажів. Природно, що дан є лише одним із узагальнених варіантів для демонстрації висловлених ідей.

Як відомо, кожен транспортний засіб викидає в навколишнє середовище цілий спектр шкідливих речовин. Для кожного виду транспорту та типу транспортного засобу існують відповідні розрахункові формули для встановлення розміру

(обсягів) цих викидів. Крім того, аналогічні формули розглядаються і для перевантажувального обладнання, зокрема, [12] проведені порівняльні дослідження викиду CO<sub>2</sub> для різного обладнання контейнерних терміналів.

Існуючі формули оцінки викидів транспортних засобів і перевантажувального обладнання враховують основні параметри, що впливають, і, перш за все, тип двигуна (його потужність). Для морських суден відповідна формула складніша і враховує три компоненти – основний двигун, допоміжний та бойлер, а також співвідношення експлуатаційної та паспортної (максимальної) швидкості [7]. У будь-якому випадку, для кожного задіяного транспортного та технологічного (перевантажувального) елемента в системі транспортування, залежно від конкретного типу та моделі (для автомобілів), а також «середньостатистичного» режиму роботи (з точки зору швидкості, наприклад), можуть бути встановлені обсяги викидів в одиницю часу. Час роботи кожного елемента залежить від обсягу поставок  $Q$ , а також відстань перевезень (для транспортних засобів).

Отже, розглянемо найбільш загальні параметри, що впливають –  $Q$  обсяг поставок і від-

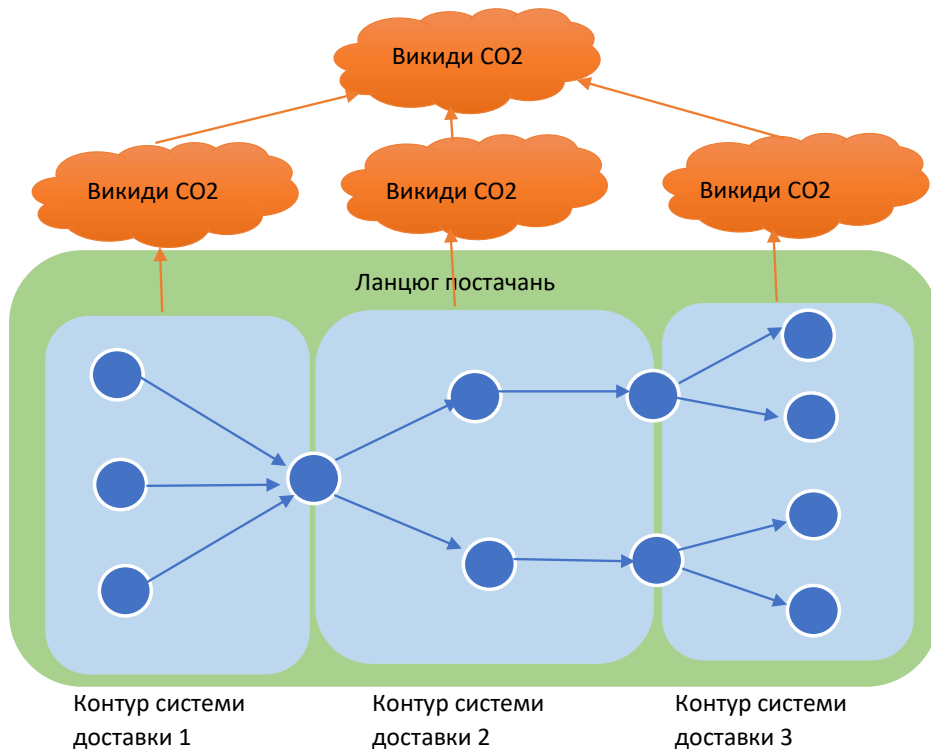


Рис. 1. Системи доставки, що пов'язані з ланцюгом поставчань

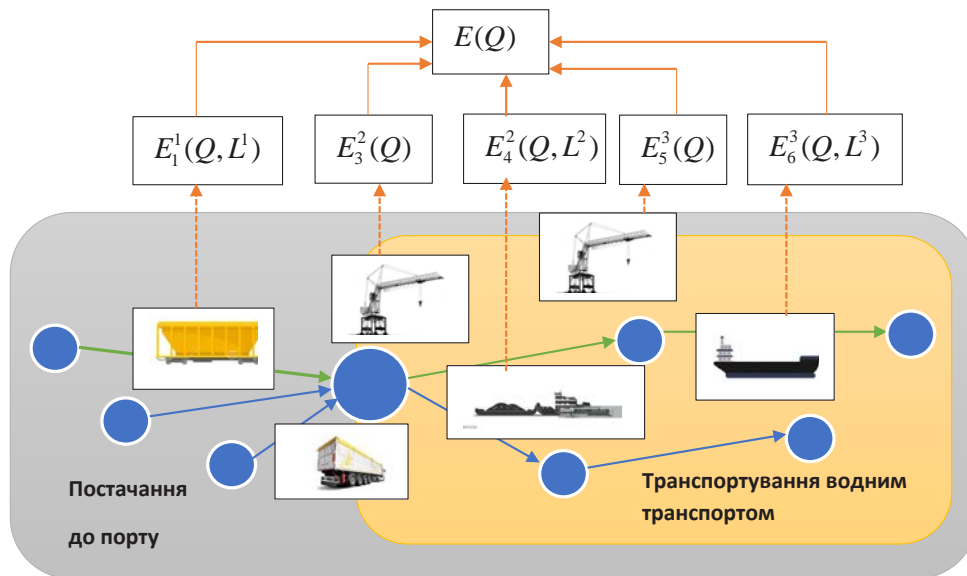


Рис. 2. Приклад системи доставки з використанням водного транспорту, яка відповідає експортним постачання

стані перевезення  $L$ , яке враховується, природно, тільки для транспортних засобів.

Таким чином, кожному транспортному засобу системи доставки відповідає обсяг викидів:

$$E_k^j(Q, L^j), j = \overline{1, m}, k \in \Omega_j; \quad (2)$$

перевантажувальному обладнанню відповідає обсяг викидів:

$$E_g^j(Q), j = \overline{1, m}, g \in \Psi_j \quad (3)$$

де  $m$  - кількість ділянок у системі,  $\Omega_j$  - множина транспортних засобів,  $\Psi_j$  - множина перевантажувальних засобів, що у технологічному процесі ділянки  $j = \overline{1, m}$ ,  $L^j$  - відстань перевезення на ділянці.

Формули оцінки викидів, що традиційно використовуються, з урахуванням усередненої швидкості та відстані перевезення для транспортних засобів, можуть бути трансформовані у вигляді (3). Для перевантажувального обладнання аналогічна трансформація у вигляді (4) може бути здійснена з урахуванням продуктивності та кількості вантажу.

На рис.2 для однієї гілки ланцюгів поставок представлені відповідні викиди кожного задіяного елемента на трьох ділянках – залізничного та автомобільного перевезення ( $j=1$ ), річкового перевезення ( $j=2$ ), морського перевезення ( $j=3$ ). Види транспортних засобів:  $k = 1$  – вагони-зерновози,  $k = 2$  – автомобілі-зерновози,  $k = 3$  – перевантажувальне обладнання в річковому порту,  $k = 4$  – річ-

кові баржі,  $k = 5$  – перевантажувальне обладнання в морському порту,  $k = 6$  – морське судно. Сумарні викиди для системи (її частини на рис. 2) формуються як сума викидів задіяних транспортних (технологічних) елементів.

У загальному випадку сумарні викиди становлять:

$$E(Q) = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{k \in \Omega_j} E_k^j(Q, L^j) + \sum_{g \in \Psi_j} E_g^j(Q) \right). \quad (4)$$

Дана формула (4) дозволяє оцінити сумарний обсяг викидів для системи доставки будь-якої конфігурації, що надалі може бути використане для вирішення задачі оптимізації даної системи з урахуванням балансу «витрати»-«викиди».

Таким чином, в процесах формування та оптимізації систем доставки слід прийняти до увазі додатковий критерій – загальні викиди згідно (4) у відповідності до структури системи. Варіювання географічним розташуванням елементів схем доставки, які відповідають даній системі, а також технологій транспортування та транспортними засобами дозволить створити альтернативні варіанти системи доставки, які відрізняються не тільки загальними витратами, а також й загальними викидами. Отже, при побудові відповідних оптимізаційних моделей слід враховувати  $E(Q)$ .

**Висновки.** У даному дослідженні запропонована концепція врахування викидів при формуванні та оптимізації систем доставки вантажів. Згідно даній концепції варіювання технологією перевезень, географією пунктів (портів) перева-

лювання, складом транспортних та перевантажувальних засобів дозволить варіювати загальною величиною викидів прим транспортуванні певної партії вантажу протягом певного періоду. Отже, досягнення певного балансу «витрати – викиди» відповідає сучасним ідеологіям зеленої логістики та сталого розвитку, що сьогодні є необхідним

при відповідальному відношенні людства та бізнесу до навколишнього середовища.

Запропонована концепція у подальшому має бути застосована при математичному моделюванні процесів формування та оптимізації систем доставки вантажів, складаючи відповідне теоретичне підґрунтя.

#### Список літератури:

1. Zampori L., Pant, R. Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method, EUR 29682 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2019. 00654-1. DOI: 10.2760/424613.
2. Sala S., Benini L., Castellani V., Vidal Legaz B., De Laurentiis V., Pant R. Suggestions for the update of the Environmental Footprint Life Cycle Impact Assessment. Impacts due to resource use, water use, land use, and particulate matter, EUR 28636 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2019. DOI:10.2760/78072.
3. Берестенко В.В., Онищенко С.П. Ймовірнісні характеристики мультимодальної доставки. *Розвиток транспорту*. 2021. 1(12). С. 118-128. DOI:10.33082/td.2022.1-12.10
4. Berestenko V., Onyshchenko S. Defining compromise area in the processes of multimodal delivery organization within the agile approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. 1(3 (127)). P. 78–86. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298846
5. 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. P. 165-188. DOI: 10.20858/sjsutst.2025.127.10
6. Melnyk O., Onishchenko O., Onyshchenko S. Renewable Energy Concept Development and Application in Shipping Industry. *Lex Portus*. 2023. № 9(6) P. 15–24. DOI: 10.26886/2524-101X.9.6.2023.2
7. Dukkanci Okan, Kara, Bahar, Bektas, Tolga. The Green Location-Routing Problem. *Computers & Operations Research*. 2019. 105. DOI: 10.1016/j.cor.2019.01.011.
8. Wang Ying, Duan Jicong, Sun Jiajun, Zhang Qin, Ye Taofeng. A Green Vehicle Routing Problem with Time-Varying Speeds and Joint Distribution. *Sustainability*. 2025. 17. 7515. DOI: 10.3390/su17167515.
9. Rusanova S., Onyshchenko S. Development of Transport and Technological Process Options' Concept for Goods Delivery with Participation of Maritime Transport. *Technology audit and production reserves*. 2020. 1 (2 (51)), 24-29. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.198373
10. Берестенко В.В., Онищенко С.П. Структура й характеристики мультимодальної доставки з позиції цифровізації. *Розвиток транспорту*. 2022. (4(11)). 82-93. DOI: 10.33082/td.2021.4-11.08
11. Букреева Д., Коваленко Т., Манукян А. «Зелені» стратегії для сталого розвитку підприємства та підвищення ефективності його діяльності. *Економіка та суспільство*. 2023. № 56. DOI: 10.32782/2524-0072/2023-56-121
12. Budiyanto M.A., Huzaiifi, M.H., Sirait, S.J. et al. Evaluation of CO2 emissions and energy use with different container terminal layouts. *Scientific Reports*. 2021. 5476 DOI: 10.1038/s41598-021-84958-4

#### Gildev D.O., Onyshchenko S.P. CONCEPT OF THE CARGO DELIVERY SYSTEMS FORMATION AND OPTIMIZATION TAKING INTO ACCOUNT EMISSIONS

*The purpose of this study is to develop a concept for taking emissions into account when forming and optimizing cargo delivery systems. The main idea is that when choosing a delivery system option, it is proposed to consider an additional criterion – the "total emissions" indicator, which would allow evaluating alternative delivery system options that correspond to certain export (import) deliveries that involve different combinations of transport modes. Each level of the delivery system and each of its components affects the amount of emissions. That is, we are talking about an assessment of transportation systems that ensure the delivery of goods within a certain period of time and are a relatively constant structure. A concept for taking emissions into account when forming and optimizing cargo delivery systems has been developed. According to this concept, varying transportation technology, geography of transfer points (ports), composition of transport and transshipment vehicles will allow varying the total amount of emissions when transporting a certain batch of cargo during a certain period. This will allow to form decisions on delivery in the conditions of achieving a balance of "costs – emissions", which corresponds to modern ideologies of green logistics and sustainable development. The proposed concept should be further applied in mathematical modelling of the processes of formation and optimization of cargo delivery systems, forming an appropriate theoretical basis. Based on forecasts of supply volumes for a given transportation system, estimates can be made for a certain period, which will allow to see the prospects of using a specific transportation option from the point of view of environmental impact and to analyse options for its minimization.*

**Keywords:** emissions, sustainable development, green logistics, maritime transportation, transportation technology, container transportation.

Дата першого надходження статті до видання: 25.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 19.05.2026