

UDC 595.143:612.112:616-001.17

DOI: 10.58407/bht.1.26.14



Copyright (c) 2026 Volodymyr Cherkudinov, Yuliia Zelenko

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Володимир Черкудінов, Юлія Зеленько

ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НАФТОПРОДУКТІВ ЗА ЕКОЛОГІЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ



Volodymyr Cherkudinov, Yuliia Zelenko

OPTIMIZATION OF ROAD TRANSPORTATION OF PETROLEUM PRODUCTS ACCORDING TO ENVIRONMENTAL CRITERIA

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Вирішення задачі розподілу об'ємів вантажу та знаходження найбільш екологічних маршрутів, враховуючи пропускну спроможність залізничних станцій відвантаження, мінімальні потреби в кожному з населених пунктів призначення. Приймались до уваги ризики воєнного стану, коли необхідно виключити або мінімізувати накопичення нафтопродуктів на проміжних етапах транспортування. Вантаж транспортування – бензин моторний.

Методологія. Дослідження ґрунтується на системному підході до еколого-енергетичного аналізу процесів автомобільного перевезення небезпечних вантажів, поєднує математичне моделювання та оптимізаційні методи. У роботі використано модель транспортної задачі лінійного програмування, що дозволяє оптимізувати розподіл вантажопотоків між пунктами відправлення та призначення за критерієм мінімізації викидів шкідливих речовин. Розрахунки виконано з використанням програмних засобів інженерних розрахунків, що забезпечує відтворюваність результатів і можливість адаптації моделі до різних умов експлуатації автомобільного транспорту.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні підходу до оцінювання екологічності автомобільних перевезень небезпечних вантажів шляхом урахування питомих енерговитрат для конкретного маршруту транспортування, а не усереднених показників за напрямками або типами перевезень. Запропонована модель поставки нафтопродуктів дозволяє комплексно оцінювати вплив автомобільного транспорту на довкілля з урахуванням особливостей ризиків воєнного стану в Україні. На відміну від існуючих підходів, модель орієнтована на практичне використання при плануванні реальних транспортно-логістичних операцій та може бути адаптована до різних видів небезпечних вантажів і умов перевезення.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що оцінювання екологічності автомобільних перевезень доцільно здійснювати на основі питомих енерговитрат за повним маршрутом транспортування, що дозволяє отримати більш об'єктивні результати порівняно з використанням середньостатистичних показників. Запропонована модель дає змогу визначати екологічно доцільні маршрути автомобільних перевезень небезпечних вантажів з урахуванням реальних умов експлуатації транспортних засобів. Практичне застосування розробленого підходу сприяє зниженню негативного впливу автомобільного транспорту на довкілля за рахунок оптимізації транспортно-логістичних рішень. Отримані результати можуть бути використані у подальших наукових дослідженнях, спрямованих на підвищення екологічної безпеки транспортних систем.

Ключові слова: автомобільні перевезення, нафтопродукти, екологічна ефективність, забруднюючі речовини, логістичні маршрути, небезпечні вантажі

ABSTRACT

Purpose of the work. The study addresses the problem of cargo volume allocation and the identification of the most environmentally efficient routes, taking into account the throughput capacity of railway loading stations and the minimum demand of each destination settlement. The risks associated with martial law conditions were considered, particularly the need to eliminate or minimize the accumulation of petroleum products at intermediate stages of transportation. The transported cargo is motor gasoline.

Methodology. The research is based on a systemic approach to the environmental and energy analysis of hazardous goods transportation by road and combines mathematical modeling with optimization methods. A linear

programming transportation problem model is applied, enabling the optimization of cargo flow distribution between origin and destination points according to the criterion of minimizing pollutant emissions. The calculations were performed using engineering computation software, ensuring the reproducibility of results and allowing the model to be adapted to various operating conditions of road transport.

Scientific novelty. The scientific novelty of the study lies in improving the approach to assessing the environmental performance of hazardous goods transportation by road through the consideration of specific energy consumption for a particular transportation route, rather than using averaged indicators by direction or transport type. The proposed petroleum products supply model allows for a comprehensive assessment of the environmental impact of road transport while accounting for the specific risks associated with martial law conditions in Ukraine. Unlike existing approaches, the model is oriented toward practical application in planning real transport and logistics operations and can be adapted to different types of hazardous cargo and transportation conditions.

Conclusions. The results of the study demonstrate that the assessment of the environmental performance of road transportation should be based on specific energy consumption along the entire transportation route, which provides more objective results compared to the use of average statistical indicators. The proposed model makes it possible to identify environmentally justified routes for hazardous goods transportation by road, taking into account real vehicle operating conditions. Practical implementation of the developed approach contributes to reducing the negative environmental impact of road transport through the optimization of transport and logistics decisions. The obtained results can be used in further scientific research aimed at improving the environmental safety of transport systems.

Key words: road transportation, petroleum products, environmental efficiency, pollutants, logistics routes, hazardous goods

Вступ

В умовах воєнного стану, коли вітчизняні нафтопереробні потужності зазнають значних втрат унаслідок ракетно-дронових атак, забезпечення споживачів паливно-мастильними матеріалами в Україні набуває критичного значення. За відсутності стабільного внутрішнього виробництва основним шляхом покриття потреб є імпорт нафтопродуктів через кордони з країнами Європейського Союзу, де ключову роль у внутрішньому розподілі відіграє автомобільний транспорт. Водночас саме автомобільні перевезення формують підвищене екологічне навантаження, пов'язане з викидами діоксиду вуглецю (CO_2), оксидів азоту (NO_x) та вуглеводнів (CH).

В умовах обмеженої пропускної спроможності транспортної інфраструктури та підвищених ризиків воєнного часу особливо актуальним є мінімізування накопичення небезпечних вантажів у проміжних логістичних вузлах. Застосування безскладських схем постачання дозволяє скоротити обсяги перевантажувальних операцій, зменшити технологічні втрати пального та знизити ризик аварійних ситуацій, що супроводжуються локальними викидами забруднюючих речовин у довкілля.

Автомобільний транспорт у таких схемах забезпечує високу оперативність і маршрутну гнучкість, однак потребує

екологічно обґрунтованого планування. Неоптимальний вибір маршрутів і обсягів перевезення призводить до зростання питомих енерговитрат, а відповідно – до підвищення питомих викидів CO_2 , CH та NO_x на одиницю перевезеного вантажу. У зв'язку з цим екологічна ефективність автомобільних перевезень повинна оцінюватися не за середньостатистичними показниками, а з урахуванням реальних умов руху, довжини маршруту, режимів роботи двигуна та рівня завантаження транспортних засобів.

Оптимізація автомобільних маршрутів доставки нафтопродуктів з урахуванням питомих викидів забруднюючих речовин дозволяє одночасно знизити енергоємність перевезень і негативний вплив на атмосферне повітря. Такий підхід сприяє зменшенню сумарних викидів CO_2 , CH та NO_x , що є особливо важливим у контексті екологічної безпеки регіонів, через які проходять основні транспортні коридори.

У роботі (Zelenko & Kalimbet, 2024) авторами здійснено ймовірнісну оцінку екологічних та техногенних ризиків, пов'язаних із транспортуванням небезпечних вантажів. На основі аналізу розроблено моделі прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій та ідентифіковано потенційні джерела екологічної небезпеки під час перевезень. Водночас у дослідженні не враховано показники екологічної ефективності транспортних процесів, зокрема рівень

шкідливих викидів, енерговитрати та оптимізацію розподілу вантажопотоків з позицій мінімізації впливу на довкілля.

У роботі (Zelenko & Kalimbet, 2022) проведено аналіз заходів із підвищення ефективності перевезень та реалізації принципів ресурсозбереження у випадках аварійних розливів небезпечних вантажів на залізничному транспорті. Показано, що застосування спеціалізованих типів вагонів для транспортування універсальних абсорбуючих матеріалів у складі вантажних поїздів дозволяє суттєво зменшити негативні екологічні наслідки аварій. Разом із тим дослідження обмежується лише аварійними сценаріями та не містить оцінки енергоефективності перевезень і рівня викидів забруднюючих речовин у штатних умовах експлуатації.

У дослідженні (Sakhno & Khrutba, 2025) розглянуто сучасний стан перевезень небезпечних вантажів в Україні, проведено оцінку ризиків та визначено основні проблеми організації транспортування небезпечних речовин. Автори проаналізували фактори, що впливають на безпеку та ефективність перевезень, а також запропонували напрями вдосконалення системи управління ризиками під час транспортування таких вантажів. В роботі недостатньо уваги приділено оптимізації маршрутів перевезення та оцінці екологічних наслідків транспортування небезпечних вантажів.

У науковій роботі (Demchenko et al., 2025) проаналізовано використання сучасних інформаційних систем на ринку вантажних перевезень України. Автори проаналізували роль цифрових технологій у підвищенні ефективності логістичних процесів. Недоліком дослідження є відсутність детального аналізу впливу транспортних процесів на довкілля та недостатня увага до екологічної оптимізації перевезень.

У роботі (Hermanyuk & Palenyuk, 2024) досліджено логістичні витрати при перевезенні вантажів автомобільним та залізничним транспортом. Автори виконали порівняльний аналіз витрат транспортних операцій, визначили фактори, що впливають на ефективність транспортних схем перевезення, а також запропонували підходи до оптимізації логістичних витрат. Але

розглядають переважно економічні показники перевезень і не враховують екологічні критерії, такі як рівень шкідливих викидів під час транспортування.

Матеріали та методи дослідження

Метою дослідження є обґрунтування екологічно доцільної схеми перевезення нафтовантажу між пунктами відправлення та пунктами призначення, що забезпечує мінімізацію шкідливих викидів в атмосферу при повному задоволенні потреб споживачів у вантажі.

Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що оптимізація автомобільних перевезень вантажів, зокрема раціональний розподіл обсягів нафтопродуктів між пунктами відправлення та кінцевими споживачами, дає змогу зменшити негативний вплив автотранспорту на довкілля за рахунок скорочення пробігу, витрат пального і викидів забруднюючих речовин.

За моделлю дослідження (Cherkudinov et al., 2025), вантаж транспортується від прикордонних залізничних станцій Чоп, Мостиська-2, Вадул-Сірет, Дяково та Ягодин до населених пунктів Самар, Павлоград, Синельниково, Царичанка, Верхньодніпровськ, Магдалинівка та Кринички.

Перед виконанням оптимізаційних розрахунків прийнято такі припущення:

- об'єктом перевезення є бензин моторний (№ ООН 1203, клас безпеки 3); увесь обсяг вантажу вважається однорідним, без урахування температурних впливів і втрат під час навантажувально-розвантажувальних операцій;

- перевезення здійснюються виключно автомобільним транспортом із використанням автоцистерн ADR Kaessbohrer K.STB E 39/5–11/24 (Німеччина) (власність перевізника, вантажопідйомність 20 т, місткість 36 м³);

- викиди шкідливих речовин при перевезенні вимірюються у грамах на 20 т перевезеного вантажу, г/ 20 т вантажу (таблиця 1-3);

- транспортна задача розглядається як замкнута система, у якій сумарний обсяг перевезень відповідає загальному попиту пунктів призначення;

- необхідний обсяг нафтовантажу в містах призначення прийнято пропорційним

кількості автозаправних станцій у кожному населеному пункті, при цьому добові та сезонні коливання попиту не враховуються.

Для формування раціональних напрямків руху, прийнято наступні позначення станцій відправлення:

A1 – Мостиська-2, об'єм відвантаження 240 т;

A2 – Ягодин, об'єм відвантаження 180 т;

A3 – Чоп, об'єм відвантаження 360 т;

A4 – Дяково, об'єм відвантаження 100 т;

A5 – Вадул-Сірет, об'єм відвантаження 120 т.

Умовні позначення міст вивантаження:

B1 – Самар, затребуваний об'єм вантажу 300 т;

B2 – Верхньодніпровськ, затребуваний об'єм вантажу 60 т;

B3 – Царичанка, затребуваний об'єм вантажу 100 т;

B4 – Павлоград, затребуваний об'єм вантажу 300 т;

B5 – Синельникове, затребуваний об'єм вантажу 140 т;

B6 – Магдалинівка, затребуваний об'єм вантажу 60 т;

B7 – Кринички, затребуваний об'єм вантажу 40 т.

Оптимізація моделі перевезення здійснюється за допомогою цільової функції транспортної задачі з урахуванням шкідливих викидів. Було використане програмне забезпечення для інженерних розрахунків MATHCAD, вбудована функція minimize з категорії «Вирішення рівняння», яка повертає значення змінних, що задовольняють обмеження у блоці рішення і пропонують найменше значення функції (в даному випадку, найменші викиди шкідливих речовин від роботи двигуна).

Функція описує залежність сумарного екологічного навантаження від обсягів автомобільних перевезень між постачальниками та споживачами. У загальному вигляді має вигляд

$$f(x_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де x_{ij} – кількість вантажу, що перевозиться від постачальника i до споживача j (кількість автоцистерн по 20 т);

c_{ij} – рівень викидів шкідливих речовин при перевезенні одиниці вантажу від від постачальника i до споживача j (г/20 т вантажу);

m – кількість постачальників, 5;

n – кількість споживачів, 7.

Обсяги перевезень задаються в умовних одиницях, а саме в кількості автоцистерн вантажопідйомністю 20 т.

Для кожного постачальника визначені обмеження постачання, що не перевищує доступний умовний обсяг:

Мостиська-2

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} = 12;$$

Ягодин

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} = 9;$$

Чоп

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} = 18;$$

Дякове

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} = 5;$$

Вадул-Сірет

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{57} = 6.$$

Для кожного споживача визначені обмеження споживання, що не перевищує необхідний умовний обсяг:

Самар

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} = 15;$$

Верхньодніпровськ

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} = 3;$$

Царичанка

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} = 5;$$

Павлоград

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} = 15;$$

Синельникове

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} = 7;$$

Магдалинівка

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} = 3;$$

Кринички

$$x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} = 2.$$

Додаткові умови – усі перевезення повинні бути невід'ємні $x_{ij} \geq 0, \forall i, j$.

Таблиця 1

Питомі викиди діоксиду вуглецю (CO₂) від станції відправлення до кінцевого пункту (г/20 т вантажу)

Призначення Відправлення	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	2700	2550	2700	2850	2700	2700	2550
A2	2550	2550	2550	2700	2700	2400	2400
A3	3000	2850	2850	3150	3150	3150	2850
A4	3000	2850	3000	3150	3150	3000	2850
A5	2400	2250	2250	2550	2400	2400	2100

Таблиця 2

Питомі викиди оксидів азоту (NO_x) від станції відправлення до кінцевого пункту (г/20 т вантажу)

Призначення Відправлення	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	3600	3400	3600	3800	3600	3600	3400
A2	3400	3000	3000	3600	3600	3200	3200
A3	4000	3800	3800	4200	4200	4200	3800
A4	4000	3800	4000	4200	4200	4000	3800
A5	3200	3000	3000	3400	3200	3200	2800

Таблиця 3

Питомі викиди вуглеводнів (CH) від станції відправлення до кінцевого пункту (г/20 т вантажу)

Призначення Відправлення	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	828	782	828	874	828	828	782
A2	782	690	690	828	828	736	736
A3	920	874	874	966	966	966	874
A4	920	874	920	966	966	920	874
A5	736	690	690	782	736	736	644

Отже, при перевезенні в автоцистернах цільова функція розрахунку викидів оксидів вуглецю (CO) має вигляд

$$f(x_{ij}) = 2700 \cdot x_{11} + 2550 \cdot x_{12} + 2700 \cdot x_{13} + 2850 \cdot x_{14} + 2700 \cdot x_{15} + 2700 \cdot x_{16} + 2550 \cdot x_{17} + 2550 \cdot x_{21} + 2550 \cdot x_{22} + 2550 \cdot x_{23} + 2700 \cdot x_{24} + 2700 \cdot x_{25} + 2400 \cdot x_{26} + 2400 \cdot x_{27} + 3000 \cdot x_{31} + 2850 \cdot x_{32} + 2850 \cdot x_{33} + 3150 \cdot x_{34} + 3150 \cdot x_{35} + 3150 \cdot x_{36} + 2850 \cdot x_{37} + 3000 \cdot x_{41} + 2850 \cdot x_{42} + 3000 \cdot x_{43} + 3150 \cdot x_{44} + 3150 \cdot x_{45} + 3000 \cdot x_{46} + 2850 \cdot$$

$$x_{47} + 2400 \cdot x_{51} + 2250 \cdot x_{52} + 2250 \cdot x_{53} + 2250 \cdot x_{54} + 2400 \cdot x_{55} + 2400 \cdot x_{56} + 2100 \cdot x_{57};$$

цільова функція розрахунку викидів оксидів азоту (NO_x) має вигляд

$$f(x_{ij}) = 3600 \cdot x_{11} + 3400 \cdot x_{12} + 3600 \cdot x_{13} + 3800 \cdot x_{14} + 3600 \cdot x_{15} + 3600 \cdot x_{16} + 3400 \cdot x_{17} + 3400 \cdot x_{21} + 3000 \cdot x_{22} + 3000 \cdot x_{23} + 3600 \cdot x_{24} + 3600 \cdot x_{25} + 3200 \cdot x_{26} + 3200 \cdot x_{27} + 4000 \cdot x_{31} + 3800 \cdot x_{32} + 3800 \cdot x_{33} +$$

$$4200 \cdot x_{34} + 4200 \cdot x_{35} + 4200 \cdot x_{36} + 3800 \cdot x_{37} + 4000 \cdot x_{41} + 3800 \cdot x_{42} + 4000 \cdot x_{43} + 4200 \cdot x_{44} + 4200 \cdot x_{45} + 4000 \cdot x_{46} + 3800 \cdot x_{47} + 3200 \cdot x_{51} + 3000 \cdot x_{52} + 3000 \cdot x_{53} + 3400 \cdot x_{54} + 3200 \cdot x_{55} + 3200 \cdot x_{56} + 2800 \cdot x_{57};$$

цільова функція розрахунку викидів вуглеводнів (CH) має вигляд

$$f(x_{ij}) = 828 \cdot x_{11} + 782 \cdot x_{12} + 828 \cdot x_{13} + 874 \cdot x_{14} + 828 \cdot x_{15} + 828 \cdot x_{16} + 782 \cdot x_{17} + 782 \cdot x_{21} + 690 \cdot x_{22} + 690 \cdot x_{23} + 828 \cdot x_{24} + 828 \cdot x_{25} + 736 \cdot x_{26} + 736 \cdot x_{27} + 920 \cdot x_{31} + 874 \cdot x_{32} + 874 \cdot x_{33} + 966 \cdot x_{34} + 966 \cdot x_{35} + 966 \cdot x_{36} + 874 \cdot x_{37} + 920 \cdot x_{41} + 874 \cdot x_{42} + 920 \cdot x_{43} + 966 \cdot x_{44} + 966 \cdot x_{45} + 920 \cdot x_{46} +$$

$$874 \cdot x_{47} + 736 \cdot x_{51} + 690 \cdot x_{52} + 690 \cdot x_{53} + 782 \cdot x_{54} + 736 \cdot x_{55} + 736 \cdot x_{56} + 644 \cdot x_{57}.$$

Матриця розподілу між постачальниками та споживачами, з урахуванням мінімальних викидів оксидів вуглецю (CO) та вуглеводнів (CH), використовуючи схему перевезення в автоцистернах, від початкової станції до міст призначення

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} & X_{15} & X_{16} & X_{17} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{24} & X_{25} & X_{26} & X_{27} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & X_{34} & X_{35} & X_{36} & X_{37} \\ X_{41} & X_{42} & X_{43} & X_{44} & X_{45} & X_{46} & X_{47} \\ X_{51} & X_{52} & X_{53} & X_{54} & X_{55} & X_{56} & X_{57} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 5 & 7 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 9 & 3 & 5 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Пояснення щодо результатів розрахунку зведено до таблиці 4.

Таблиця 4

Розподіл об'єму нафтопродуктів між постачальниками та споживачами з урахуванням мінімальних викидів оксидів вуглецю (CO) та вуглеводнів (CH), (т)

Призначення Відправлення	Призначення						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	-	-	-	100	140	-	-
A2	120	-	-	-	-	60	-
A3	180	60	100	20	-	-	-
A4	-	-	-	60	-	-	40
A5	-	-	-	120	-	-	-

Зі станції Мостиська-2 із загальним обсягом відвантаження 240 т перевезення здійснюються до міста Павлоград у кількості 100 т та Синельникове у кількості 140 т.

Зі станції Ягодин із загальним обсягом 180 т пальне постачається м. Самар у обсязі 120 т та м. Магдалинівка у обсязі 60 т.

Станція Чоп є найбільшим постачальником з обсягом 360 т і забезпечує одразу кілька споживачів: м. Самар – 180 т; м. Верхньодніпровськ – 60 т; м. Царичанка – 100 т; м. Павлоград – 20 т.

Зі станції Дяково з обсягом відвантаження 100 т здійснюється

постачання м. Павлоград у кількості 60 т та м. Кринички у кількості 40 т.

Зі станції Вадул-Сірет з наявним обсягом 120 т перевезення виконуються виключно до м. Павлоград у кількості 120 т.

Матриця розподілу між постачальниками та споживачами, з урахуванням мінімальних викидів оксидів азоту (NO_x).

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} & X_{15} & X_{16} & X_{17} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{24} & X_{25} & X_{26} & X_{27} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & X_{34} & X_{35} & X_{36} & X_{37} \\ X_{41} & X_{42} & X_{43} & X_{44} & X_{45} & X_{46} & X_{47} \\ X_{51} & X_{52} & X_{53} & X_{54} & X_{55} & X_{56} & X_{57} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 9 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 5 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 15 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Розподіл об'єму нафтопродуктів між постачальниками та споживачами з урахуванням мінімальних викидів оксидів азоту (NO_x) показана в таблиці 5.

Таблиця 5

Розподіл об'єму нафтопродуктів між постачальниками та споживачами з урахуванням мінімальних викидів оксидів азоту (NO_x), (т)

Призначення Відправлення	Відправлення						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	-	-	-	180	60	-	-
A2	-	20	100	-	-	60	-
A3	300	40	-	20	-	-	-
A4	-	-	-	100	-	-	-
A5	-	-	-	-	80	-	40

Зі станції Мостиська-2 із загальним обсягом відвантаження 240 т перевезення здійснюються до міста Павлоград у кількості 180 т та Синельникове у кількості 60 т.

Зі станції Ягодин із загальним обсягом 180 т пальне постачається м. Верхньодніпровськ у обсязі 20 т, м. Царичанка – 100 т та м. Магдалинівка у обсязі 60 т.

Станція Чоп з обсягом 360 т забезпечує одразу кілька споживачів: м. Самар – 300 т; м. Верхньодніпровськ – 40 т; м. Царичанка – 20 т.

Зі станції Дяково з обсягом відвантаження 100 т здійснюється постачання м. Павлоград у кількості 100 т.

Зі станції Вадул-Сірет з наявним обсягом 120 т перевезення виконуються до м. Синельникове у кількості 80 т та м. Кринички – 40 т.

Результати дослідження та обговорення

Отримані результати є наслідком оптимізації транспортної задачі на основі питомих показників, наведених у табл. 1–3, що характеризують екологічні параметри перевезень. Оптимізація здійснювалася із застосуванням відомої транспортної моделі з лінійною цільовою функцією, яка мінімізує сумарні витрати або екологічні навантаження за умови виконання балансових

обмежень між пунктами відправлення та призначення.

Алгоритм оптимізації, відповідно до цільової функції (1), забезпечували вибір маршрутів із мінімальними обсягами викидів забруднюючих речовин (CO , NO_x , CH), пов'язаних із перевезенням одиниці вантажу.

Отриманий розподіл вантажопотоків також зумовлений відмінностями у технологічних можливостях вантажобробки на станціях відправлення.

Станції Мостиська-2, Ягодин та Чоп характеризуються наявністю розвинутої інфраструктури для оперативного зливу, наливу та перевантаження нафтовантажів, що дає змогу скоротити тривалість простоїв рухомого складу та зменшити кількість допоміжних маневрових операцій. Це, у свою чергу, сприяє зниженню непрямих викидів CO , NO_x та CH , пов'язаних з роботою двигунів автомобілів у режимах холостого ходу та часткових навантажень.

Вирішення цільової функції показало, що використовуючи схему перевезення в автоцистернах, від прикордонних станцій до міст призначення, при транспортуванні нафтовантажу об'ємом 1000 тон, можливо досягти мінімальної кількості викидів оксидів вуглецю (CO) – 136900 г, оксидів азоту (NO_x) – 183800 г, вуглеводнів (CH) – 42270 г.

Серед основних обмежень дослідження слід відзначити використання одного критерію оптимізації, що базується на питомих викидах, які лише опосередковано відображають екологічні наслідки перевезень. Подальший розвиток роботи доцільно пов'язати з переходом до багатокритеріальної оптимізації, що дозволить одночасно враховувати втрати нафтопродуктів під час перевантаження, рівень ризику та прямі обсяги викидів забруднюючих речовин (CO, NO_x, CH₄).

Висновки

У ході дослідження підтверджено доцільність застосування оптимізаційних підходів для формування екологічно ефективної схеми автомобільного перевезення нафтовантажів.

Встановлено, що раціональний розподіл обсягів нафтопродуктів між пунктами відправлення та кінцевими споживачами дозволяє суттєво скоротити сумарний пробіг автомобільного транспорту, що безпосередньо впливає на зменшення витрат пального та рівнів викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

Використано модель штучного інтелекту ChatGPT-5.1 в розділах «Вступ», «Результати дослідження та обговорення», проводились перевірка граматики, орфографії, пунктуації, пошук джерел за ключовими словами та критеріями, удосконалення оригінального тексту

Аналіз результатів оптимізації показав, що концентрація вантажопотоків на екологічно більш ефективних маршрутах дає змогу мінімізувати питомі та сумарні викиди CO, NO_x та CH₄, особливо при перевезенні значних обсягів вантажу на середні та великі відстані.

Вибір пунктів відправлення з розвиненішими можливостями вантажообробки та безперервною організацією логістичних процесів сприяє зниженню непрямих викидів, пов'язаних із простим транспортом засобів та роботою двигунів у неефективних режимах.

Отримані результати підтверджують основну гіпотезу дослідження про те, що оптимізація автомобільних перевезень нафтовантажів є ефективним інструментом зменшення негативного впливу автотранспорту на довкілля без зниження рівня забезпечення споживачів паливом.

Запропонований підхід може бути використаний як науково обґрунтована основа для прийняття управлінських рішень у сфері логістики пального, спрямованих на підвищення екологічної безпеки перевезень та зниження антропогенного навантаження на атмосферу.

створеного авторами, порівняння результату з емпіричними даними, співставлення з інформацією на авторитетних пошукових ресурсах наукових робіт. Результати використання штучного інтелекту не вплинули на наукову новизну. Після використання цього інструменту автори ретельно переглянули та відредагували вміст за потреби та несуть повну відповідальність за остаточну опубліковану версію. / The ChatGPT-5.1 artificial intelligence model was used in the sections "Introduction", "Results of the study and discussion", grammar, spelling, punctuation were checked, sources were searched for by keywords and criteria, the original text created by the authors was improved, the result was compared with empirical data, and information was compared with information on authoritative search resources of scientific works. The results of using artificial intelligence did not affect scientific novelty. After using this tool, the authors carefully reviewed and edited the content as necessary and take full responsibility for the final published version.

References

Cherkudinov, V., Zelenko, Yu., & Bezovska, M. (2025). Methodology for determining environmental indicators of oil products transportation during wartime. *SWorldJournal*, 1(33-01), 254–262. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-33-01-094> (in Ukrainian)

Черкудінов В. Е., Зеленко Ю. В., Безовська М. С. Методологія визначення екологічних показників транспортування нафтопродуктів у воєнний час. *SWorldJournal*. 2025. №1(33-01). С. 254–262. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-33-01-094>

Demchenko, E., Dorosh, A., & Skovron, I. (2022). Modern information systems in the freight market of Ukraine. *Transport systems and transportation technologies*, (23), 79–88. <https://doi.org/10.15802/tsst2022/261660> (in Ukrainian)

Демченко Є. Б., Дорош А. С., Скворон І. Я. (2022). Сучасні інформаційні системи на ринку вантажних перевезень України. *Транспортні системи та технології перевезень*. Вип. 23. С. 79–88. <https://doi.org/10.15802/tsst2022/261660>

Hermanyuk, Yu., & Palenyk, I. (2024). Research on logistics costs for transporting agricultural goods by road and rail. *Transport systems and transportation technologies*, (27), 71–82. <https://doi.org/10.15802/tsst2024/307370> (in Ukrainian)

Германюк Ю. М., Паленик І. О. Дослідження логістичних витрат при перевезенні вантажів аграрної групи автомобільним і залізничним видами транспорту. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2024. Вип. 27. С. 71–82. <https://doi.org/10.15802/tsst2024/307370>

Sakhno, S., Khrutba, Y. (2025). The state of transportation of dangerous goods in Ukraine in modern conditions. *Management of the development of complex systems*. (61), 113–120. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.61.113-120> (in Ukrainian)

Сахно С., Хрутьба Ю. Стан перевезення небезпечних вантажів в Україні в сучасних умовах. *Управління розвитком складних систем*. 2025. Вип. 61. С. 113–120. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.61.113-120>

Zelenko, Yu. V., Kalimbet, M. V. (2024). Risk assessment of emergencies during transportation of dangerous goods by rail. *Transport Means: Proceedings of the International Conference*, October 2024, 592–597. <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P592-597>

Zelenko, Yu., Kalimbet, N. (2022). Improving a method for eliminating the spill of hazardous substances by using universal absorbent cloth. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10–118), 30–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263583>

Received: 10.02.2026. Accepted: 10.03.2026. Published: 06.04.2026.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Черкудінов В., Зеленько Ю. Оптимізація автомобільних перевезень нафтопродуктів за екологічними критеріями. *Biota. Human. Technology*. 2026. № 1. С. 159-168. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.1.26.14>

Cite this article in APA style as:

Cherkudinov, V., & Zelenko, Yu. (2026). Optymizatsiia avtomobilnykh perevezen naftoproduktiv za ekolohichnymy kryteriiamy [Optimization of road transportation of petroleum products according to environmental criteria]. *Biota. Human. Technology*, (1), 159-168. <https://doi.org/10.58407/bht.1.26.14> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Cherkudinov V. [*in Ukrainian: Черкудінов В.*] ¹, PhD Student, email: volodymyrcherkudinov@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3164-0329
Department of Environmental and Civil Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies
2, Lazaryana, Dnipro, 49010, Ukraine

Zelenko Yu. [*in Ukrainian: Зеленько Ю.*] ², Doctor of technical sciences, professor, email: j.v.zelenko@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5551-0305
Department of Environmental and Civil Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies
2, Lazaryana, Dnipro, 49010, Ukraine

¹ Statistical analysis, manuscript preparation.

² Study design, data collection.