



УДК 656.025.4

METHODOLOGY FOR DETERMINING ENVIRONMENTAL INDICATORS OF OIL PRODUCTS TRANSPORTATION DURING WARTIME

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ ПІД ЧАС ДІЇ ВОЄННОГО СТАНУ

Cherkudinov V. E. / Черкудінов В. Е.

ORCID: 0000-0003-3164-0329

*Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryana, 2, 49000**Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000***Zelenko Yu. V. / Зеленько Ю. В.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-5551-0305

*Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryana, 2, 49000**Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000***Bezovska M. S. / Безовська М. С.***Ph.D., assoc. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-9565-5293

*Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryana, 2, 49000**Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000*

Анотація. У роботі здійснено оцінювання рівнів викидів забруднюючих речовин від залізничного та автомобільного транспорту з метою визначення їх екологічної безпеки під час перевезення вантажів. Основну увагу приділено порівнянню питомих і абсолютних викидів оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x) та вуглеводнів (CH), що утворюються під час роботи маневрового тепловоза та вантажного автомобіля. Для тепловоза проведено розрахунок середньоексплуатаційних питомих викидів на різних режимах навантаження. Для автомобіля оцінено відповідність питомих викидів встановленим екологічним нормам. Визначено погодинні та покілометрові обсяги викидів основних шкідливих речовин, а також враховано вплив маневрових операцій і швидкісних режимів руху на загальне екологічне навантаження.

Ключові слова: тепловоз, автомобільний транспорт, викиди, оксид вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні, екологічна безпека, нормативи.

Вступ.

Сучасний розвиток транспортно-логістичних систем супроводжується зростанням обсягів перевезень вантажів, що обумовлює підвищене антропогенне навантаження на довкілля. Одним із головних джерел забруднення атмосфери під час експлуатації залізничного та автомобільного транспорту є двигуни внутрішнього згоряння, які викидають значні обсяги оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x) та вуглеводнів (CH). У воєнних умовах питання оптимізації логістики транспортування нафтопродуктів поєднується з необхідністю забезпечення екологічної безпеки та дотримання нормативних обмежень щодо



зменшення ризиків втрати вантажу внаслідок ракетно-дронових атак на об'єкти інфраструктури.

Основний текст.

У науковій літературі [1], [2] наведені методики визначення питомих викидів транспортних засобів різних типів, які дозволяють здійснювати порівняння залізничного й автомобільного транспорту. Залізничний транспорт має вищу енергоефективність на великі відстані, але при цьому тепловози старого парку (наприклад, ЧМЕ-3м) характеризуються значними викидами NO_x і CO . Автомобільний транспорт, у свою чергу, є більш гнучким у логістичному плані, проте загальна кількість викидів при великих пробігах і масових перевезеннях зростає у геометричній прогресії [4].

Теоретичні підходи до оцінки екологічності транспортних схем базуються на таких принципах:

- питомий розрахунок викидів у г/год або г/км для різних видів транспорту;
- моделювання логістичного ланцюга з урахуванням тривалості перевезення, кількості задіяних транспортних засобів та кількості перевалок [5];
- комплексне порівняння альтернативних варіантів перевезень з урахуванням витрат палива, часу, безпеки та екологічних наслідків;
- зменшення негативного впливу на довкілля за рахунок оптимізації маршрутів і мінімізації простоїв транспортних засобів.

З огляду на умови воєнного стану важливим є не лише економічне обґрунтування вибору схеми доставки, а й зниження ризиків екологічного навантаження на довкілля. Прямі перевезення без накопичення транспортних засобів у вузлових точках дозволяють мінімізувати час роботи двигунів на холостому ходу, а отже – скоротити викиди CO , NO_x та CH . Таким чином, теоретична база дослідження доводить необхідність поєднання екологічних, економічних та безпекових факторів під час організації логістики постачання нафтопродуктів.

Метою статті є обґрунтування методології визначення тарифних та логістичних параметрів перевезення нафтопродуктів з урахуванням екологічних



аспектів, зокрема рівня викидів шкідливих речовин при використанні різних видів транспорту. Дослідження спрямоване на порівняльний аналіз залізничних та автомобільних схем доставки нафтовантажів, визначення їх ефективності, безпеки та екологічності в умовах воєнного стану, а також на пошук шляхів мінімізації негативного впливу транспортної діяльності на довкілля.

Для досягнення поставленої мети у статті визначено низку завдань, а саме:

- розробити методичні підходи до розрахунку параметрів перевезень із врахуванням екологічних показників;
- виконання розрахунків питомих викидів шкідливих речовин (CO, NO_x, CH) для різних видів транспорту;
- здійснити порівняльний аналіз обсягів викидів при використанні різних схем транспортування: у залізничних цистернах, контейнер-цистернах та автомобільних цистернах.

Питомі викиди дизельного маневрового тепловоза ЧМЕ-3м з двигуном K6S310DR потужністю 970 кВт, згідно галузевого стандарту [3], враховують у п'яти режимах навантаження [1], інформація приведена в таблиці 1.

Таблиця 1 - Питомі викиди шкідливих речовин тепловоза на різних режимах навантаження, г/(кВт·год)

Режим	CO	NO _x	CH
0%	43,095	91,110	3,644
25%	0,9115	11,828	0,215
50%	1,4767	8,074	0,228
75%	0,353	8,588	0,277
100%	0,2453	9,165	0,259

На основі даних з таблиці 1 та джерела [1] визначені середньоексплуатаційні питомі викиди

$$E = \frac{e_{i100}P_{e100}\tau_{100} + e_{i75}P_{e75}\tau_{75} + e_{i50}P_{e50}\tau_{50} + e_{i25}P_{e25}\tau_{25} + e_{ixx}P_{exx}\tau_{xx}}{P_{e100}\tau_{100} + P_{e75}\tau_{75} + P_{e50}\tau_{50} + P_{e25}\tau_{25} + P_{exx}\tau_{xx}}, \quad (1)$$



де P_{e100} – режим номінальної потужності при максимальному навантаженні, кВт;

$P_{e75} = 0,75 P_{e100} \pm 5 \%$ - режим номінальної потужності при навантаженні двигуна на 75%, кВт;

$P_{e50} = 0,5 P_{e100} \pm 5 \%$ - режим номінальної потужності при навантаженні двигуна на 50%, кВт;

$P_{e25} = 0,25 P_{e100} \pm 5 \%$ - режим номінальної потужності при навантаженні двигуна на 25%, кВт;

$P_{exx} = P_{\text{доп.мех.}}$ – режим холостого ходу, кВт,

де $P_{\text{доп.мех.}}$ – сумарна потужність допоміжного обладнання та механізмів тепловозу, кВт.

Середні питомі викиди маневрового тепловоза ЧМЕ-3м складають:

$E_{CO} = 1,3 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$; $E_{NO_x} = 10,8 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$; $E_{CH} = 0,2 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$.

Вантажний автомобіль Volvo FH 420 з дизельним двигуном потужністю 200 кВт, що відповідає стандарту Euro V.

Питомі викиди автомобіля згідно норм [53] не повинні перевищувати:

$E_{CO} = 1,5 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$, $E_{NO_x} = 2 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$, $E_{CH} = 0,46 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$.

Нижче наведено об'єми питомих викидів забруднюючих речовин у для маневрового тепловоза потужністю 970 кВт:

- середнє навантаження - 50%;
- середня швидкість – 40 км/год;
- питомі викиди оксиду вуглецю $E_{CO} = 1,3 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$;
- питомі викиди оксидів азоту $E_{NO_x} = 10,8 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$;
- питомі викиди вуглеводнів $E_{CH} = 0,2 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$.

Питомі викиди забруднюючих речовин для автомобіля потужністю 200 кВт:

- середнє навантаження - 50%;
- середня швидкість – 60 км/год;
- питомі викиди оксиду вуглецю $E_{CO} = 1,5 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$;
- питомі викиди оксидів азоту $E_{NO_x} = 2 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$;



- питомі викиди вуглеводнів $E_{CH} = 0,46$ г/(кВт·год).

Викиди оксиду вуглецю за 1 годину роботи

$$M_{CO\text{ год}} = E_{CO} \cdot P \cdot K_H, \quad (2)$$

де E_{CO} – питомі викиди оксиду вуглецю, г/кВт·год,

P – номінальна потужність, кВт,

K_H – середній коефіцієнт навантаження за годину (0,5).

Викиди оксидів азоту за одну годину роботи

$$M_{NO_x\text{ год}} = E_{NO_x} \cdot P \cdot K_H, \quad (3)$$

де E_{NO_x} – питомі викиди оксидів азоту, г/кВт·год.

Викиди вуглеводнів за 1 годину роботи

$$M_{CH\text{ год}} = E_{CH} \cdot P \cdot K_H, \quad (4)$$

де E_{CH} – питомі викиди оксидів азоту, г/кВт·год.

Адаптація результатів розрахунків погодинних викидів до викидів за 1 км руху маневрового тепловоза ЧМЕ-3м та автомобіля Volvo FH 420.

Викиди оксиду вуглецю за 1 км руху

$$M_{CO\text{ км}} = \frac{M_{CO\text{ год}}}{v}, \quad (5)$$

де v – середня швидкість, км/год.

Викиди оксидів азоту за 1 км руху

$$M_{NO_x\text{ км}} = \frac{M_{NO_x\text{ год}}}{v}. \quad (6)$$

Викиди вуглеводнів за 1 км руху

$$M_{CH\text{ км}} = \frac{M_{CH\text{ год}}}{v}. \quad (7)$$

Результати розрахунку викидів шкідливих речовин за одну годину роботи двигуна зведені до таблиці 2.

**Таблиця 2 - Питомі викиди шкідливих речовин
за одну годину роботи, г/год**

Речовина	Тепловоз ЧМЕ-3м	Автомобіль Volvo FH 420
CO	633	150
NO _x	5 232	200
CH	119	46



Результати розрахунку кількості викидів шкідливих речовин за один кілометр руху автомобіля та тепловоза зведені до таблиці 3.

Таблиця 3 - Питомі викиди шкідливих речовин за один кілометр руху, г/км

Речовина	Тепловоз ЧМЕ-3М	Автомобіль Volvo FH 420
NO _x	130,8	3,33
CO	15,83	2,50
CH	2,98	0,77

Результати розрахунку кількості викидів шкідливих речовин при перевезенні нафтовантажу загальною масою 200 т залізничними цистернами та залізничними фітинговими платформами до ст. Запоріжжя-Кам'янське від роботи маневрового тепловоза показані в таблиці 4.

Таблиця 4 - Кількості викидів від маневрового тепловоза при перевезенні нафтовантажу залізничними цистернами та залізничними фітинговими платформами до ст. Запоріжжя-Кам'янське

Ст.виправлення Параметр	Мостиська 2	Ягодин	Чоп	Дяково	Вадул-Сірег
t , год	1				
n	1				
$M_{CO \text{ год}}$, г/год	633				
$M_{NO_x \text{ год}}$, г/год	5232				
$M_{CH \text{ год}}$, г/год	119				
M_{CO} , г	633				
M_{NO_x} , г	5232				
M_{CH} , г	119				

Результати розрахунку кількості викидів шкідливих речовин при перевезенні нафтовантажу загальною масою 200 т в автоцистернах та напівпричепом-контейнеровозом в контейнер-цистернах від ст. Запоріжжя-Кам'янське до пунктів призначення показано в таблиці 5.



Таблиця 5 - Кількість викидів шкідливих речовин в автоцистернах та напівпричепом-контейнеровозом в контейнер-цистернах від ст. Запоріжжя-Кам'янське

Пункт призначення Параметр	Самар	Верхньодніпровськ	Царичанка	Павлоград	Синельникове	Магдалинівка	Кринички
t , год	2	1	2	2	2	2	1
n	10						
M_{CO} год, г/год	150						
M_{NO_x} год, г/год	200						
M_{CH} год, г/год	46						
M_{CO} , г	3000	1500	3000	3000	3000	3000	1500
M_{NO_x} , г	4000	2000	4000	4000	4000	4000	2000
M_{CH} , г	920	460	920	920	920	920	460

Розрахунки виконано на основі усереднених питомих показників та припущень. Уточнення реальних режимів експлуатації може змінити абсолютні величини.

Модель не враховує атмосферну дисперсію, локальну концентрацію шкідливих речовин у населених пунктах та вторинні ефекти (осідання, утворення сумішей NO_2 і т. п.). Рекомендується подальший аналіз з використанням розривно-просторових моделей переносу забруднень.

Не враховано технічний стан парку перевезення (старі двигуни дають вищі питомі викиди) та вплив погодних умов — ці фактори доцільно включити в подальші моделі.



Висновки.

Схема транспортування «залізниця + автомобіль» (контейнер-цистерни/напівпричепа) є кращим компромісом між гнучкістю доставки та екологічністю. Маневрові операції та час транспортування суттєво впливають на сумарні викиди: тривалі маневри і великі пробіги автомобілів значно підвищують загальні емісії.

За результатами розрахунку виділено наступні практичні рекомендації:

- за можливості віддавати перевагу залізничним перевезенням на дальніх ділянках і мінімізувати автомобільні пробіги для остаточної доставки, це значно знижує NO_x і CO ;

- використовувати автомобілі з вищими екостандартами (Euro V і вище) та оптимізувати завантаження/маршрути для зменшення кількості рейсів;

- за доцільності, електрифікація маневрових операцій або застосування локальних засобів перевантаження з електроприводом для зниження викидів на станціях.

Використання запропонованої методики забезпечує можливість не лише визначати тарифні та логістичні параметри перевезень, але й формалізувати транспортну задачу в умовах воєнного стану. Це дозволяє здійснювати розрахунок оптимальних ланцюгів доставки нафтопродуктів із мінімальними викидами та підвищеним рівнем екологічності. На основі отриманих даних можливо побудувати матрицю розподілу вантажопотоків між постачальниками та кінцевими споживачами, що сприяє підвищенню ефективності управління ресурсами, зменшенню ризиків накопичення транспортних засобів із нафтопродуктами та забезпеченню їх прямої доставки до споживачів.

Література.

1. Фалендиш А. П., Гатченко В. О., Клецька О. В. Аналіз підходів до розрахунку викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизелів тепловозів // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2017. – № 3 (233). – С. 228–233.

2. Kapitsa, M., Martyshevsky, M., Zelenko, Y., Boychenko, A., & Dzhus, O.



(2019). Determining the amount of harmful emissions of diesel internal combustion engines. *Transport Systems and Technologies*, 1(33), 130–145. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-33-1-12>.

3. ГСТУ 32.001–94. Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення. – Чинний від 01.01.1995 р. – К. : Мінтранс України, 1995. – 45 с.

4. Zelenko Y., Cherkudinov V. Energy-efficient means of transporting oil products to Ukraine during martial law // *MATEC Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 390. – Art. 01007. – DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439001007>.

5. Черкудінов В. Е., Зеленько Ю. В. Методологія визначення тарифних та логістичних параметрів перевезення нафтопродуктів // *Наукові вісті Давіського університету*. – 2025. – № 28. – 20 червня. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2025-28-17>

Abstract. *The article evaluates the levels of pollutant emissions from rail and road transport in order to determine their environmental safety during cargo transportation. The main attention is paid to comparing the specific and absolute emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and hydrocarbons (CH), which are formed during the operation of a shunting locomotive and a truck.*

Key words: *diesel locomotive, road transport, emissions, carbon monoxide, nitrogen oxides, hydrocarbons, environmental safety, standards*

Статтю надіслано: 20.09.2025 г.

© Черкудінов В. Е.