

УДК 656.223:502.5

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ  
ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ «ЗЕЛЕНОЇ»  
ЛОГІСТИКИ**

**FORMALIZATION TECHNOLOGY OF MULTIMODAL RAIL  
TRANSPORTATION ON THE BASIS "GREEN" LOGISTICS**

*докт. техн. наук Д.В. Ломотко<sup>1</sup>, докт. техн. наук О.М. Огар<sup>1</sup>,  
М.Д. Ломотко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків),*

*D. Sc. (Tech.). G.L. D.V. Lomotko<sup>1</sup>, D. Sc. (Tech.). O.M. Ohar<sup>1</sup>,  
M.D. Lomotko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv),*

З поданням України заявки до вступу Європейського союзу почався рух глобальних реформ в країні. Одним із цих рухів стала реформування на автомобільному та залізничному транспорті України. В даній роботі розглядається напрямок реформ у бік «зеленої» логістики, що є важливим напрямком реформування для виходу України на глобальний ринок вантажних перевезень. Але для досягнення даної мети потребується оновлення технологій перевезень вантажів з використанням нових логістичних принципів. «Зелена» логістика виконує завдання щодо зменшення забруднення навколишнього середовища від транспорту при збереженні ефективності логістичних ланцюгів за рахунок введення екологічних технологій та оптимізації витрат.

Згідно даних фахівців [1] на вантажний транспорт припадає 8% світового викиду вуглекислого газу та ще додається 3% до цієї суми на складське господарство та управління вантажоперевезенням. Тому впровадження «зеленої» логістики є важливим кроком для збереження клімату на планеті, покращення якості повітря води та гранту, зменшення шуму.

Згідно даних Держстату України [2] викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від автомобільного транспорту у 2018 році становили 1358,4 тис. т, залізничного – 27,6 тис. т, тобто відносно перевищення викидів від автотранспорту у 49 разів. Тому оптимізація ланцюгів постачання за участі автомобільного транспорту потребують втручання «зеленої» логістики.

Контейнерні та контрейлерні технології доставки вантажів є найбільш розповсюдженими при мультимодальних та унімодальних перевезень, що в свою чергу являються точками взаємодії з «зеленою»

логістики. Інтенсифікація мультимодальних та унімодальних перевезень за участю залізниць в Україні здійснюється відповідно до напрямків [3] та орієнтується на збільшенні частки залізничного транспорту в перевезеннях. Дана стратегія не суперечить Українському шляху до Євросоюзу, так як, країни ЄС прийняли стратегію Європейської Конференції Міністрів Транспорту (ЄКМТ) [4], відповідно до якої автомобільні вантажні перевезення з дальністю поїздки понад  $L_a=300$  км повинні перевестися до 2030 року на 30% до інших видів транспорту таких як залізничний, водний та повітряний.

Для оцінки значення екологічного критерію при перевезенні автотранспортом та залізницею можливо розраховувати як вартісну величину шкоди від негативного впливу двоокису вуглецю на атмосферне повітря [5].

$$B_a = m_{TEU} \eta_a \sum_{n=1}^K (L_{пр i} c_{атм i}), \quad (1)$$

де  $L_{пр i}$  – відстань прямого унімодального перевезення територією  $i$ -ї держави, км;

$K$  – кількість дільниць перевезення територією інших держав (для внутрішнього сполучення  $K=1$ );

$c_{атм i}$  – ставка екологічного податку на забруднюючі викиди  $CO_2$  територією  $i$ -ї держави, грн/т (див. додаток Г);

$m_{TEU}$  – маса вантажу, що перевозиться у контейнері (TEU), т.

Аналогічно значення екологічного критерію для мультимодального перевезення

$$B_m = m_{TEU} \left( \eta_z \sum_{n=1}^K (2L_{з i} c_{атм i} + t_{ман i} \eta_{ман}) + \eta_a [L_{a1} c_{атм 1} + L_{a2} c_{атм K}] \right), \quad (2)$$

де  $L_{з i}$  – відстань залізничної частини мультимодального перевезення територією  $i$ -ї держави, км;

$2$  – коефіцієнт, що враховує повернення рухомого складу до країни-власника;

$t_{ман i}$  – середня тривалість маневрових операцій з мультимодальною одиницею, год;

$\eta_{\text{ман}}$  – питомий середній рівень викидів CO<sub>2</sub> у атмосферу при виконанні маневрової роботи, г/год (прийнято  $\eta_{\text{ман}} = 320,50$  г/год для тепловозу ЧМЕ-3, в режимі роботи двигуна  $\eta_e = 75\%$  від повної потужності, склад маневрового складу прийнято 10 вагонів);

$L_{a1}, L_{a2}$  – середня відстань, відповідно, завезення та вивезення мультимодальної одиниці, км.

Формування моделі ланцюга постачання вантажів у контейнерах з урахуванням екологічного критерію вирішено як багатоетапну транспортну задачу цілочисельного програмування. У багатоетапних транспортних задачах контейнери від постачальників спочатку надходять на проміжні пункти (розподільчі термінали, у нашому випадку – це міждержавні пункти переходу), де, у разі потреби, вони перевантажуються або певний час зберігаються. Тобто до кінцевих споживачів продукція надходить не від постачальників, а з проміжних пунктів транспортних мереж [6].

За наведених умов і позначень доопрацьована економіко–математична модель двоетапної транспортної задачі цілочисельного програмування набирає вигляд

$$\Omega = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p (s_{ik} + B_{mi})x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n (t_{kj} + B_{mj})y_{kj} \rightarrow \min$$

(Ошибка!  
Текст  
указанного  
стиля в  
документе  
отсутствует.)  
(4)

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq a_i, \quad i = \overline{1, m}$$

$$\sum_{k=1}^p y_{kj} = b_j, \quad j = \overline{1, n} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} = \sum_{j=1}^n y_{kj} \leq c_k, \quad k = \overline{1, p} \quad (6)$$

$$x_{ik} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, p} \quad (7)$$

$$y_{kj} \geq 0, \quad k = \overline{1, p}, \quad j = \overline{1, n}$$

$$L_{akj} \leq L_a, \quad k = \overline{1, p}, \quad j = \overline{1, n} \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n b_j \leq \sum_{k=1}^p c_k \quad (9)$$

Цільова функція (Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.) відповідає пошуку найекономічнішого плану перевезень контейнерів з урахуванням екологічного критерію. Інші умови задачі означають, відповідно, що:

(4) – обсяг контейнерів, що вивозитиметься від кожного постачальника, не повинен перевищувати наявного у нього запасу;

(5) – обсяг контейнерів, що ввозитиметься кожному споживачу, має відповідати його попиту;

(6) – всі контейнери, що буде ввезено на кожний проміжний пункт від постачальників, має бути потім надісланою до споживачів, причому слід враховувати пропускні спроможності кожного проміжного пункту;

(7) – обсяги перевезень контейнерів за кожним із маршрутів мають бути невід’ємними;

(8) – відстань перевезення контейнерів від проміжних пунктів до споживачів автотранспортом не повинна перевищувати гранично допустимої з екологічної точки зору величини  $L_a$ ;

(9) - пропускні спроможності усіх проміжних пунктів достатні для опрацювання сукупного потоку продукції у транспортній мережі.

Отже, Формалізовано ланцюг постачання вантажів у контейнерах з урахуванням екологічного критерію, як удосконалену економіко–математичну модель багатоетапної транспортної задачі цілочисельного програмування. Прийняття рішень щодо впровадження «зелених» логістичних технологій перевезень вантажів та економічних маршрутів прямування можливо шляхом застосування запропонованої удосконаленої моделі. На дослідному полігоні встановлено оптимальний розподіл вантажопотоків та доведено економічну доцільність такої технології здійснення перевезень на основі вимог «зеленої» логістики.

[1] Palanivelu P., Dhawan M. Green Logistics. White Paper Tata Consulting Systems // TCS. – Available at: [https://www.academia.edu/28094615/Green\\_Logistics\\_Whitepaper](https://www.academia.edu/28094615/Green_Logistics_Whitepaper)

[2] Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря (1990-2019) / Державна служба статистики: веб-сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>. (дата звернення 01.05.2023).

[3] Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. веб-сайт. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>. (дата звернення 01.05.2023).

[4] Біла книга Європейської Комісії – план розвитку єдиного європейського транспортного простору - на шляху до конкурентоспроможної та ресурсоефективної транспортної системи. Видавничий центр Європейського Союзу в Люксембурзі 2011 – 28 с. DOI: 10.2832/30955

[5] Ломотько Д. В., Огар О. М., Козодой Д. С., Ломотько М. Д. Перспективи «зеленої» логістики при використанні контейнерних та контейнерних перевезень в Україні. Залізничний транспорт України.- 2021.- №1.-С. 11-21 DOI: 10.34029/2311-4061-2021-138-1-11-22

[6] Ломотько Д.В., Огар О.М., Ломотько М.Д. Перспективні напрямки розвитку транспортних систем залізниць на базі «зеленої логістики». Збірник тез доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції «автомобільний транспорт та інфраструктура», Київ: НУБіП, 19-21 вересня 2023 року – с.250