

**Вікович І.А.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Обшта А.Ф.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Приходько В.Е.**

Національний університет «Львівська політехніка»

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ОДНОЛАНКОВИМИ АВТОПОЇЗДАМИ В ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРАХ США

У статті розглядається задача оптимізації економічної ефективності міжнародних вантажних перевезень одноланковими автопоїздами як багатокритеріальна модель. Її ціль – мінімізувати витрати й одночасно максимізувати продуктивність, з урахуванням обмежень, що впливають із нормативних, інфраструктурних та екологічних вимог. Особливу увагу приділено умовам перевезень на території США, де маршрути ускладнені платними дорогами, висотними обмеженнями мостів і тунелів, погодними ризиками та варіативною пропускною здатністю. У таких умовах ефективне планування потребує врахування широкого кола факторів.

Міжнародні вантажні перевезення є важливою складовою ефективності логістичних систем, де одноланкові автопоїзди відіграють ключову роль завдяки своїй вантажопідйомності та маневреності. Однак економічна ефективність цих перевезень залежить не лише від витрат і часу доставки, а й від технічного стану автопоїзда, енергоспоживання, стану доріг, екологічних та нормативних вимог. Особливо складними є умови перевезень у США, де враховуються платні дороги, обмеження по висоті, змінна пропускна спроможність і погодні ризики, що вимагає комплексного підходу до планування маршрутів та оптимізації параметрів перевезень. Відсутність цілісної багатокритеріальної моделі, яка б об'єднувала техніко-експлуатаційні, енергетичні, транспортні, нормативні та інфраструктурні фактори, є суттєвою проблемою. Впровадження інтегрального підходу, що базується на аналізі роботи ключових механізмів автопоїзда, є необхідним для підвищення ефективності планування та стійкості міжнародних логістичних систем.

Запропоновано методологію визначення оптимального значення економічної ефективності, що передбачає обчислення найкращих значень критеріїв з урахуванням інтегрального показника ефективності та особливостей маршруту. Модель має практичне значення для планування міжнародних перевезень і підвищення стійкості логістичних рішень у складному середовищі транспортних систем США.

**Ключові слова:** економічна ефективність, міжнародні вантажні перевезення, одноланковий автопоїзд, маршрут, інтегральний показник ефективності, оптимізація.

**Постановка проблеми.** Міжнародні вантажні перевезення є важливою ланкою логістичних систем, де дизельні автопоїзди відіграють ключову роль завдяки своїй вантажності та маневреності. Однак економічна ефективність цих перевезень залежить не лише від витрат і часу доставки, а й від технічного стану автопоїзда, енергоспоживання, стану доріг, екологічних та нормативних вимог. Особливо складними є умови перевезень у США, де враховуються платні дороги, обмеження по

висоті, змінна пропускна спроможність і погодні ризики, що вимагає комплексного підходу до планування маршрутів та оптимізації параметрів перевезень. Відомі багатокритеріальні моделі враховують лише незначну кількість з великої множини техніко-експлуатаційних, енергетичних, транспортних, нормативних та інфраструктурних факторів, що залишає актуальною проблему достовірного визначення показників економічної ефективності перевезень вантажів автопоїз-

дами. Впровадження інтегрального підходу, що базується на аналізі роботи ключових механізмів автопоїзда, є необхідним для підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень. Запропонована методологія має практичне значення для планування міжнародних перевезень і підвищення ефективності логістичних рішень для транспортних систем США.

*Економічна ефективність міжнародних вантажних перевезень* автопоїздами є ключовим фактором конкурентоспроможності логістичних систем і залежить не тільки від витрат і часу доставки, а й від технічного стану транспортного засобу, енергоспоживання, стану дорожньої інфраструктури, екологічних вимог і нормативних обмежень. Особливо складними є умови перевезень у США, де інфраструктура включає платні дороги, обмеження по висоті, змінну пропускну здатність і погодні ризики, що потребує комплексного підходу до планування маршрутів та вибору оптимальних параметрів перевезень.

*Проблема полягає* в удосконаленні комплексної багатокритеріальної моделі, яка б оптимізувала витрати і продуктивність вантажних перевезень з урахуванням енергетичних, транспортних та дорожніх характеристик автопоїзда, нормативно-правових вимог і особливостей інфраструктури. Важливо впровадити інтегральний підхід до оцінювання техніко-експлуатаційної ефективності транспортного засобу, базований на аналізі функціонування 14 ключових механізмів автопоїзда у реальних умовах експлуатації [1, с. 134–142]. Такий підхід створить підґрунтя для раціонального планування міжнародних маршрутів і підвищення стійкості логістичних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Економічна ефективність вантажних перевезень одноланковими автопоїздами – це інтегральний показник, що враховує співвідношення результату та витрат, а також технічні, організаційні й економічні чинники. Її оцінюють за собівартістю, рентабельністю, продуктивністю та витратами на інфраструктуру [2, с. 121]. Ефективність визначає доцільність використання транспортних засобів у конкретних умовах [3, с. 63–64] і оцінюється за фінансовими та нефінансовими показниками.

У різних країнах при визначенні економічної ефективності основна увага зосереджується на дещо відмінних критеріях: у США – операційна ефективність, витрати пального, продуктивність, вплив на довкілля, методологія DEA і «rebound effect» [4, с. 64–69]. Польські дослідження орієнтовані на продуктивність автопарку, прибут-

ковість, витрати на транспортну роботу, застосування DEA [5, с. 194–195]. Німеччина приділяє увагу інфраструктурі, інноваціям, енергоефективності й екології [6, с. 8–9].

У ЄС і Великій Британії виокремлюють витрати на одиницю роботи, енергоефективність, викиди CO<sub>2</sub>, шум і цифрові рішення. В Україні основні критерії – мінімізація витрат, підвищення продуктивності, безпека, якість і сталий розвиток [7, с. 20–21].

Попри широкий спектр підходів, бракує комплексної багатокритеріальної моделі, яка враховує технічні, інфраструктурні й нормативні особливості, зокрема для маршрутів у США. Ця прогалина визначає актуальність подальших досліджень.

Сучасні багатокритеріальні методи: DEA (Data Envelopment Analysis) – безпараметричний метод оцінки ефективності з урахуванням кількох показників. Нечітка логіка (Fuzzy Logic) – для аналізу нечітких і непевних даних. Моделі оптимізації та симуляції – прогнозування результатів за різних сценаріїв. Інтегровані системи оцінки – поєднання фінансових, операційних та екологічних показників. Важливими джерелами є праці [8, 9, 10], що розвивають сучасні підходи до оцінки ефективності міжнародних вантажних перевезень. У [8, с. 70–80] запропоновано індекс GDP/GHG, що об'єднує економічні та екологічні цілі, підкреслюючи важливість сталого розвитку в транспорті. Проте залишається питання точності оцінки цих показників у реальних умовах. Джерело [9, с. 40–60] розглядає багатокритеріальні методи (MCDM) для оцінки маршрутів з урахуванням економічних, часових і екологічних факторів. Новизна – інтеграція сучасних алгоритмів оптимізації, проте точність моделей у складних системах залишається проблемою. Класична праця [10, с. 500–509] формалізувала застосування DEA для оцінки технічної, економічної та операційної ефективності автотранспорту. DEA враховує багато параметрів, але потребує якісних даних і складної інтерпретації. Інтернет-джерела HSE Network (2025) та NetworkON (2025) описують сучасне програмне забезпечення з використанням штучного інтелекту та мультикритеріального аналізу для оптимізації маршрутів, що дозволяє оперативно адаптуватися до змін трафіку та витрат. Відкриті проблеми включають: якість і репрезентативність вхідних даних для моделей (DEA, MCDM); інтеграцію екологічних і економічних критеріїв у єдину модель; урахування змінних зовнішніх факторів (інфраструктура, регіональні особливості); інтерпретацію

результатів і впровадження у практику; стандартизацію оцінок у різних регіонах. Методи MCDM, такі як АНР, TOPSIS, і інтегровані системи оцінки, широко застосовуються для багатокритеріальної оцінки економічної ефективності автопоїздів [5, с. 193–201; 9, с. 40–60; 11, с. 45–56]. Вони дозволяють поєднувати фінансові, екологічні та операційні показники, підтримують прийняття рішень в умовах складних і суперечливих факторів. У працях [12–15] описано застосування багатокритеріальних моделей у США та Канаді з урахуванням інтенсивності руху, ремонту, інфраструктурних обмежень і складних маршрутних умов. Новизна полягає у комплексному підході до вибору партнерів і оптимізації маршрутів із використанням GIS та даних трафіку.

**Постановка завдання.** Дослідження спрямоване на формування та розроблення методології розрахунку інтегрального показника економічної ефективності міжнародних перевезень на основі *методу аналітичної ієрархії* Т. Сааті [16] із урахуванням інтегрального показника енергетичної, транспортної та дорожньої ефективності автопоїзда як засобу перевезення та специфіки маршрутів у США. Вхідними даними є результати, отримані на основі використання реальних даних маршруту вантажних перевезень одноланковим автопоїздом Freightliner Cascadia 2023 з Чикаго, США, до Далласа, TX (відстань понад 1000 км), з урахуванням часу на завантаження, поїздки, обов'язкові зупинки для відпочинку, витрат на паливо, оплату водієві, платних доріг, страхування, амортизації та значення інтегрального показника енергетичної, транспортної та економічної ефективності автопоїзда. Останній розраховано на основі вдосконаленої методології визначення інтегрального показника ефективності системи «дизельний двигун – трансмісія» автопоїзда [17].

**Виклад основного матеріалу.** Формально, задача полягає в розробленні методології, яка дозволяє обчислити екстремальні значення функцій

$$f_i(\bar{x}), \bar{x} \in S, i = \overline{1,7}, \quad (1)$$

де:

- $f_1(\bar{x})$  – собівартість перевезень;
- $f_2(\bar{x})$  – час міжнародного рейсу;
- $f_3(\bar{x})$  – рентабельність перевезень;
- $f_4(\bar{x})$  – продуктивність автопоїзда;
- $f_5(\bar{x})$  – коефіцієнт використання вантажності;
- $f_6(\bar{x})$  – величина платні за пошкодження дороги;

$$f_7(\bar{x}) = E.$$

Кожна функція  $f_i(\bar{x})$  – це окремий критерій, який відповідає складовій економічної ефективності. Отже, необхідно знайти

$$\left\{ \min_{\bar{x} \in S} f_1(\bar{x}), \min_{\bar{x} \in S} f_2(\bar{x}), \min_{\bar{x} \in S} f_6(\bar{x}), \right\}, \quad (2)$$

та

$$\left\{ \max_{\bar{x} \in S} f_3(\bar{x}), \max_{\bar{x} \in S} f_4(\bar{x}), \max_{\bar{x} \in S} f_5(\bar{x}), \max_{\bar{x} \in S} f_7(\bar{x}) \right\} \quad (3)$$

вектору цільових функцій

$$(f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), f_3(\bar{x}), f_4(\bar{x}), f_5(\bar{x}), f_6(\bar{x}), f_7(\bar{x})). \quad (4)$$

Область допустимих аргументів  $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in S$ , це вектори  $\bar{x}$ , кожна компонента яких належить до множини параметрів, які визначають технічні, експлуатаційні характеристики засобів перевезення вантажів та ділянок маршрутів, законодавчі, нормативні, регуляторні та логістичні обмеження  $(A), (B), (C), (D)$ , де:

(A) Технічна справність і відповідність розмірам/вазі/екології (49 CFR, FHWA, EPA);

(B) Дозволений маршрут, дотримання графіка руху, HOS, National Network (STAA, 49 CFR Part 658);

(C) Виконання вимог FMCSA, реєстрації, платні податків, ліцензування CDL;

(D) Митні та екологічні вимоги (CBP, EPA).

**Узагальнені формули для розрахунків критеріїв економічної ефективності одноланкового автопоїзда типу Freightliner Cascadia 2023 або Volvo FM.**

**1. Собівартість одного тонно-кілометра ( $f_1(\bar{x}) = C_{tkm}$ ):**

$$f_1(\bar{x}) = C_{tkm} = \frac{C_{fixed} + C_{var} \times T}{P \times T}, \quad (5)$$

де:

$C_{fixed}$  – постійні витрати (амортизація, заробітна плата водія, страхування тощо) за рейс або за годину.

$C_{var}$  – змінні витрати (паливо, ремонт, масильні матеріали, шини) за годину або за рейс.

$T$  – загальний час виконання рейсу, год.;

$P \times T$  – загальний обсяг перевезень за рейс (тонно-кілометри).

**2. Час виконання перевезення ( $f_2(\bar{x}) = T$ ):**

$$f_2(\bar{x}) = T = L / V + T_d, \quad (6)$$

де:

$L$  – довжина маршруту, км;

$T_d$  – час простоїв (завантаження/розвантаження), год.

### 3. Рентабельність перевезень $f_3(\bar{x})$ :

$$f_3(\bar{x}) = (R_{income} - f_1(\bar{x}) \cdot V_{carry} \cdot d) / (f_1(\bar{x}) \cdot V_{carry} \cdot d), \quad (7)$$

де:

$R_{income}$  – дохід від перевезення, залежить від тарифів, відстані і вантажу;

$f_1(\bar{x}) \cdot V_{carry} \cdot d$  – загальні витрати на рейс (собівартість перевезень помножена на фактичний вантаж і довжину рейсу);

Законодавчі та митні обмеження впливають на тарифи і умови (податки, збори).

### 4. Продуктивність автопоїзда ( $f_4(\bar{x}) = P$ ):

$$f_4(\bar{x}) = P = V \times M_{load} \times \eta_{load}, \quad (8)$$

де:

$V$  – середня швидкість руху автопоїзда, км/год (для Volvo FM, залежно від дорожніх умов, зазвичай 70–85 км/год);

$M_{load}$  – максимальна вантажопідйомність автопоїзда, т (для Volvo FM з причепом – до 40 т і більше, залежно від модифікації);

$\eta_{load}$  – коефіцієнт використання вантажопідйомності (0–1);

### 5. Коефіцієнт використання вантажопідйомності $f_5(\bar{x})$ :

$$f_5(\bar{x}) = U_{load} = (C_{fact} / C_{load}) \leq 1, \quad (9)$$

де:

$C_{fact}$  – фактичний вантаж – маса вантажу, який реально перевозиться (тонн);

$C_{load}$  – максимально допустима вантажопідйомність автопоїзда (тонн);

$U_{load}$  – коефіцієнт, який не може перевищувати 1 згідно з конструктивними обмеженнями;

обмеження  $N_{gv}$  (нормативи габаритно-вагові) регламентують максимальну вантажопідйомність і вагу автопоїзда.

Обмеженнями є конструктивна вантажопідйомність і нормативи щодо ваги та габаритів за  $N_{gv}$ .

### 6. Витрати на відшкодування збитків дорожньому покриттю $f_6(\bar{x})$ :

$$f_6(\bar{x}) = k_{road} \cdot \sum_{i=1}^{n_{ax}} \left( \frac{W_i}{W_{max,i}} \right)^4 \cdot d_i, \quad (10)$$

$W_i$  – навантаження на  $i$ -ту вісь (тонн);

$W_{max,i}$  – нормативне максимальне навантаження на вісь (тонн);

$d_i$  – довжина ділянки маршруту з таким обмеженням (км);

$k_{road}$  – коефіцієнт вартості ремонту/штрафів за пошкодження (грн/км).

7. Інтегральний показник  $E$  енергетичної, транспортної та дорожньої ефективності Freightliner Cascadia 2023, який розраховується за формулою:

$$f_7(\bar{x}) = E, \text{ де:}$$

$$\begin{aligned} E = & 0.178322 \cdot \frac{T}{m} + 0.073298 \cdot \frac{\eta \cdot \omega}{I} - 0.031179 \cdot \alpha + \\ & + 0.178322 \cdot \eta_{tr} - 0.085879 \cdot L_{tr} + \\ & + 0.12624 \cdot P_v - 0.05786 \cdot m_k + 0.04471 \cdot J_p - \\ & - 0.02367 \cdot f + 0.01052 \cdot R_t + \\ & + 0.04655 \cdot K_{ss} + 0.03724 \cdot H_{st} + \\ & + 0.02926 \cdot D_k + 0.01995 \cdot C_a, \end{aligned} \quad (11)$$

де:  $T$  – крутний момент двигуна (Н·м);  $m$  – маса двигуна (кг);  $I$  – момент інерції двигуна (кг·м<sup>2</sup>);  $\omega$  – кутова швидкість двигуна (рад/с);  $\alpha$  – кутове пришвидження двигуна (рад/с<sup>2</sup>);  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії двигуна (безрозмірний);  $\eta_{tr}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії (безрозмірний);  $L_{tr}$  – сумарні втрати потужності в трансмісії (Вт або безрозмірна величина, що відображає відносні втрати),  $P_v$  – вантажність (макс. маса вантажу);  $m_k$  – маса порожнього кузова;  $J_p$  – жорсткість рами;  $f$  – коефіцієнт опору коченню;  $R_t$  – ресурс шини (англ.: tyre);  $K_{ss}$  – жорсткість підвіски (англ.: stiffness of the suspension);  $H_{st}$  – хід підвіски (англ.: suspension travel);  $D_k$  – діаметр колеса;  $C_a$  – коефіцієнт зчеплення (англ.: adhesion coefficient).

При обчисленні інтегрального показника кожен параметр нормалізований до безрозмірного вигляду. За основу для обчислення інтегрального показника економічної ефективності використані дані реального перевезення за маршрутом Чикаго (IL) → Даллас (TX):

- Відстань:  $1,000 \text{ миль} \times 1.609 = 1,609 \text{ км}$ ;
- Час у дорозі:  $\sim 15 \text{ год.}$ ;
- Зупинка: *Speedco (Little Rock, AR)*;
- Пальне:  $120 \text{ галонів} \times \$3.549 = \$425.88 \rightarrow \$17,386$ ;
- Оплата водію:  $1,000 \times \$0.62 = \$620 \rightarrow \$25,296$ ;
- 1 миля = 1.609 км;
- \$1 = 40.80 грн;
- \$0.62 = ставка платні за кожен подолану милю (25,30 грн), тобто = 25.30 грн за милю =  $25.30 \text{ грн} \div 1.60934 \approx 15.72 \text{ грн за 1 км}$ .

Розрахунок витрат на IFTA та платні дороги (toll roads):

- IFTA (International Fuel Tax Agreement):
  - о Приблизно \$0.04 – \$0.06 на милю, залежно від штатів, для розрахунку беремо \$0.05/милі.

Таблиця 1

Підсумкова таблиця

| Маршрут         | Дохід (\$) | Дохід(€)   | Витрати: Пальне + Водій | Заг. витрати (\$) | Прибуток (\$) |
|-----------------|------------|------------|-------------------------|-------------------|---------------|
| Чикаго → Даллас | 2,600      | 106,080.00 | 425.88 + 620            | 1,045.88          | 1,554.12      |

Таблиця 2

Таблиця з урахуванням IFTA та платних доріг (курс \$1 = €40.80)

| Маршрут         | Дохід (€) | Пальне (€) | Водій (€) | IFTA (€) | Tolls (€) | Витрати загалом (€) | Прибуток (€) |
|-----------------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|---------------------|--------------|
| Чикаго → Даллас | €106,080  | €17,377    | €25,296   | €2,040   | €2,856    | €47,569             | €58,511      |

• Платні дороги (toll roads):  
 о Вартість залежить від маршруту, беремо середні реальні суми за конкретними напрямками.

Отже, остаточно: подано детально розрахований маршрут вантажних перевезень у США з Чикаго до Далласу, TX (відстань понад 1000 км), з урахуванням часу на завантаження, поїздки, обов'язкові зупинки для відпочинку, витрати на пальне та оплату водієві, платних доріг, страхівки, амортизації автопоїзда.

**Висновки.** 1. Метод АНР (Analytic Hierarchy Process) Т. Сааті продемонстрував високу ефективність у розв'язанні багатокритеріальної задачі визначення економічної ефективності міжнародних вантажних перевезень автопоїздами. Використання інтегрального індексу, який об'єднує енергетичну, транспортну та дорожню ефективність, дає змогу отримати комплексну оцінку, що враховує різнопланові параметри техніко-експлуатаційних характеристик автопоїзда та особливостей маршрутів.

2. Результати аналізу підтверджують коректність розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації: значення коефіцієнта узгодженості (CR) становить приблизно  $-0,013$ , що значно нижче допустимого порогу  $0,10$ . Це свідчить про високу внутрішню узгодженість оцінок і обґрунтованість прийнятих рішень.

3. Запропонована методологія на основі схеми Т. Сааті дає змогу враховувати велику кількість критеріїв різної природи – економічних, технічних, екологічних та експлуатаційних, що робить

її універсальним інструментом для оптимізації параметрів вантажних перевезень.

4. Особливості експлуатації автопоїздів і логістичних маршрутів у складних умовах США, з платними дорогами, інфраструктурними обмеженнями і погодними ризиками, вимагають розширення критеріїв оцінки економічної ефективності, що підкреслює потребу в подальших дослідженнях. Подальші дослідження інтегральних показників ефективності перевезень та оптимізації показників економічної ефективності ми плануємо виконувати, взявши за основу працю [21] та статистичні дані перевезень вантажів автопоїздами на великих підприємствах (понад 500 автопоїздів).

5. Розроблена модель може бути використана для управління міжнародними вантажними перевезеннями, зокрема у транспортних коридорах Україна – ЄС, сприяючи підвищенню ефективності, зниженню витрат і підвищенню екологічної безпеки.

6. Задача, розглянута в цьому дослідженні має: 7 цільових функцій; як мінімізовані, так і максимізовані критерії; комплексні обмеження (технічні, нормативні, екологічні). Тож у подальших дослідженнях доцільно буде застосувати комбінований підхід – скаляризацію через ваги та метод ідеальної точки, агрегаційно-ітеративні методи розв'язування нелінійних операторних рівнянь та генетичні алгоритми або еволюційний багатокритеріальний алгоритм (наприклад, NSGA-II).

### Список літератури:

1. Хабутдінов Р. А., Хабутдінов А. Р. Концептуальна схема структурно-параметричної організації транспортної системи і технологічна ресурсосінергія в ній // Вісник Національного транспортного університету. 2008. № 17. С 134–142.
2. Лозова Г.М., Клименко В.В., Джерж Ю.А., Єрошенко О.Р. Економічні аспекти організації доставки негабаритних вантажів транспортними підприємствами України // Економічний вісник ДДХТУ. 2024. № 2. С. 115–124.
3. Строкович В.Ф., Шапаренко Н.В. Аналіз ефективності логістичної діяльності у транспорті. Харків: Харківський національний економічний університет, 2018. С. 60–67.

4. Patwary A. Latif. Efficiency Studies of the US Transportation Sector. University of Tennessee, Knoxville, 2020. 124 с.
5. Baran J. The efficiency of the road transport sector in Poland and other member states of the European Union // *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Ser. Administracja i Zarządzanie*. 2014. № 103. С. 193–201.
6. Freight Transport and Logistics Masterplan / Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs (BMVBS). Berlin: BMVBS, 2008. 77 с.
7. Критерії економічної ефективності своєчасної доставки вантажів автомобільним транспортом // *Universum: економічні науки*. 2022. № 7(100). С. 19–24.
8. Giuliano G., Kang S., Hegde S. Assessment of Freight System Efficiency Measure: GDP/GHG. California Department of Transportation, 2021. 150 с. URL: <https://surl.li/vbiuxk>
9. Reinberg S., Torrado López E. Multi-Criteria Decision Making for International Freight Transportation. Uppsala University, 2024. 120 с. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1874953/FULLTEXT01.pdf>
10. Seiford L.M., Thrall R.M. Components of efficiency evaluation in data envelopment analysis // *European Journal of Operational Research*. 1994. Vol. 80, No. 3. P. 500–509. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179400131U>
11. Гаянець Ю.М. Економічне обґрунтування міжнародних перевезень вантажів: магістерська дисертація. Київ, Київський політехнічний інститут, 2019. 90 с.
12. Ergin V., Alkan M. Application of Multi-Criteria Decision Making in Freight Forwarder Selection. 2023. 25 с.
13. Kengpol A., Tuominen M. Development of Freight Transportation Methods with MCDM Approaches. 2014. 17 с.
14. Federal Highway Administration. Freight Logistics Optimization Works (FLOW). 2022. 40 с. URL: <https://www.bts.gov/flow>
15. Taherdoost H., Madanchian S. Multi-criteria decision-making methods in transportation: A comprehensive review. 2023. 24 с.
16. Saaty T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York : McGraw-Hill International Book Co., 1980. 287 p.
17. Приходько В.Е. Оцінювання енергоефективності сучасних автопоїздів для міжнародних вантажних перевезень/Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2025.– № 1(24).– С. 355–366.
18. Aggregation-iterative methods for solving differential and integral equations: a monograph/A.F. Obshta – Lviv: RASTR-7, 2024, 198 p.
19. Corne D. W., Lones M. A. Evolutionary algorithms // *Evolutionary Learning: Advances in Theories and Algorithms*. – Springer, 2018. – 376 с. 20. Liu X., Peng X., Gu M. Logistics Distribution Route Optimization Based on Genetic Algorithm // *Computational Intelligence and Neuroscience*. – 2022. – Vol. 2022. – Article ID 1271488. – 9 p.
21. Patwary, A. Latif, «Efficiency Studies of the US Transportation Sector. « Master's Thesis, University of Tennessee, 2020. URL: [https://trace.tennessee.edu/utk\\_gradthes/6269](https://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/6269).

#### **Vikovich I.A., Obshta A.F., Prykhodko V.E. ECONOMIC EFFICIENCY OF FREIGHT TRANSPORTATION BY SINGLE-TRACK TRUCKS IN US TRANSPORT CORRIDORS**

*The article addresses the problem of optimizing the economic efficiency of international freight transportation by single-link road trains as a multi-criteria model. Its objective is to minimize costs while simultaneously maximizing performance, considering the constraints arising from regulatory, infrastructural, and environmental requirements. Particular attention is paid to transportation conditions in the United States, where routes are complicated by toll roads, height restrictions of bridges and tunnels, weather-related risks, and variable throughput capacity. Under such conditions, effective planning requires consideration of a wide range of factors.*

*International freight transportation is an essential component of the efficiency of logistics systems, where single-link road trains play a key role due to their load capacity and maneuverability. However, the economic efficiency of these operations depends not only on transportation costs and delivery time but also on the technical condition of the road train, energy consumption, road conditions, environmental regulations, and compliance requirements. Transportation in the United States is particularly challenging, as toll roads, height restrictions, variable throughput capacity, and weather-related risks must all be accounted for. This necessitates a comprehensive approach to route planning and optimization of transportation parameters.*

*The lack of an integrated multi-criteria model that combines technical-operational, energy, transport, regulatory, and infrastructural factors represents a significant problem. Implementing an integral approach*

*based on the analysis of the performance of key mechanisms of the road train is essential for improving planning efficiency and the resilience of international logistics systems.*

*A methodology is proposed for determining the optimal value of economic efficiency, which involves calculating the best values of the criteria while considering the integral efficiency index and specific route characteristics. The model has practical significance for planning international transportation and enhancing the sustainability of logistics solutions in the complex environment of U.S. transport systems.*

**Key words:** *economic efficiency, international freight transportation, single-link road train, route, integral efficiency index, optimization.*

Дата надходження статті: 29.07.2025

Дата прийняття статті: 02.09.2025

Опубліковано: 27.10.2025