



**RS Global**  
Journals

**Scholarly Publisher**  
**RS Global Sp. z O.O.**  
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773  
Tel: +48 226 0 227 03  
Email: editorial\_office@rsglobal.pl

---

<b>JOURNAL</b>	European Journal of Intelligent Transportation Systems
<b>p-ISSN</b>	2657-4217
<b>e-ISSN</b>	2657-4225
<b>PUBLISHER</b>	RS Global Sp. z O.O., Poland
<b>ARTICLE TITLE</b>	ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ КОНТРЕЙЛЕРНОМУ СПОЛУЧЕННІ
<b>AUTHOR(S)</b>	Поліщук В. П., Гужевська Л. А., Денис О. В.
<b>ARTICLE INFO</b>	Polishchuk V. P., Liubov Guzhevska, Olena Denys. (2021) Economic and Mathematical Model of Cargo Transportation in International Piggyback Connection. European Journal of Intelligent Transportation Systems. 1(3). doi: 10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7371.
<b>DOI</b>	<a href="https://doi.org/10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7371">https://doi.org/10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7371</a>
<b>RECEIVED</b>	07 December 2020
<b>ACCEPTED</b>	25 January 2021
<b>PUBLISHED</b>	30 January 2021
<b>LICENSE</b>	 This work is licensed under a <b>Creative Commons Attribution 4.0 International License</b> .

---

© The author(s) 2021. This publication is an open access article.

# ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ КОНТРЕЙЛЕРНОМУ СПОЛУЧЕННІ

*Поліщук В. П., Д.т.н., професор, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3145-7225>,*

*Гужевська Л. А., К.т.н., доцент, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7719-1330>*

*Денис О. В., аспірантка, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5786-9119>*

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ejits/30032021/7371](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7371)

---

## ARTICLE INFO

**Received** 07 December 2020

**Accepted** 25 January 2021

**Published** 30 January 2021

## KEYWORDS

piggyback, semitrailer, route, container, modeling, effective use of piggyback, auto trains, equivalent delivery distance, cost criterion, time criterion, placement of shipper and consignee.

## ABSTRACT

It is established that with the help of mathematical modeling it is possible to estimate functional links between different parameters that influence the delivery time in international communication. The model of the choice of the type of connection according to the time criterion, which has practical value, can be used to make a decision when choosing a variant of the combination (automotive or piggyback). The ease of use of the developed models has advantages over all previously proposed because it allows you to calculate the economic feasibility of using the type of combination not only as an area of effective use, but also for each individual case to determine the efficiency of choosing the type of connection. The use of models gives the opportunity to economically justify the choice of the type of connection and will allow the motor transport company to reduce transportation costs by 10-15%.

---

**Citation:** Polishchuk V. P., Liubov Guzhevska, Olena Denys. (2021) Economic and Mathematical Model of Cargo Transportation in International Piggyback Connection. *European Journal of Intelligent Transportation Systems*. 1(3). doi: 10.31435/rsglobal\_ejits/30032021/7371.

---

**Copyright:** © 2021 Polishchuk V. P., Liubov Guzhevska, Denys Olena. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

---

**Постановка проблеми.** Контейнерні перевезення є одним із перспективних напрямків взаємодії видів транспорту, адже в ньому використовуються два види транспорту: автомобільний та залізничний, очікується їх подальше зростання. Важливими чинниками на користь контейнерних перевезень є:

- значне скорочення часу проходження митного та прикордонного контролю;
- проходження митного контролю на кордоні без безпосередньої участі водія;
- суттєва економія витрат на оформлення товаросупроводжувальних документів;
- високу швидкість і гарантію доставки вантажів відповідно до графіка руху поїзда (just in time);
- безпеку перевезення за будь-яких погодних умов;
- збереження транспортного засобу та його моторесурсів;
- збереження автомобільних доріг;
- збереження навколишнього середовища;

На даний момент в Україні призупинилося функціонування даного виду комбінованих перевезень. Причиною тому є недосконалі законодавча база, а також низька освіченість перевізників з цього питання є досить низька. Контейнерні перевезення для України могли б вирішити ряд проблем:

- проблему обмеженої кількості дозволів на перевезення, у тому числі і транзитних;
- проблему зношування автошляхів;
- полегшення роботи водіїв і зменшення кількості аварій;
- ефективніше використання палива;
- зменшення рівня екологічно шкідливих викидів, вихлопних газів і шуму;
- підвищення транзитного потенціалу країни з найменшими витратами.

Потенціал України у сфері контрейлерних перевезень є досить великим. Через територію України проходять два потужних міжнародних маршрути: Київ (Україна) – Клайпеда (Литва) – Київ (Україна) – контрейлерний поїзд «Вікінг» та Київ (Україна) – Славкув (Польща) – Київ (Україна) – поїзд комбінованого транспорту «Ярослав». Питання вибору виду сполучення в сучасних реаліях набуває все більшої актуальності.

В результаті проведеного аналізу існуючих методів вирішення задачі вибору виду сполучення при здійсненні доставки вантажів у міжнародному сполученні виявлено, що математичні моделі носять, як правило, суто теоретичний характер і наближені рекомендації щодо вибору виду сполучення. Крім того, не враховано ряд факторів, які впливають на ефективність виконання перевезень вантажів у міжнародному сполученні. В результаті проведеного аналізу проблем при здійсненні міжнародних перевезень в Україні встановлено, що до головних проблем міжнародних автомобільних перевезень можна віднести: недосконале митне законодавство України; аварійність; високі витрати; незадовільний стан дорожнього комплексу (51,1 % не відповідає вимогам за рівністю, 39,2 % – за міцністю.); технічний стан автомобілів; низька кваліфікація та відповідальність водіїв; некомпетентність експедиторських груп; несвоєчасні розрахунки з перевізниками; недотримання термінів навантаження/розвантаження транспортних засобів при завантаженні продукції; великі черги на кордоні. По результатам аналізу встановлено, що спостерігається тенденція до переключення транзитних вантажних перевезень територією України із залізничної на автомобільного транспорту.

**Аналіз останніх публікацій по темі дослідження.** У роботах Сілантьєвої Ю.О. [3] визначено мінімальну відстань ефективного виконання контрейлерного перевезення, що становить 300 км. Котенко А.М. [4] для визначення доцільності використання контрейлерного сполучення наводить досить абстрактні формули, побудову графу станів та диференціальних рівнянь, розрахунок яких занадто громіздкий для пересічного перевізника. Лише в деяких опублікованих роботах з цієї тематики зустрічаються розробки, що фактично обґрунтовують доцільність використання контрейлерного або автомобільного сполучення. Наприклад, автори Зінько Р.В. і Кірпа Г.М. визначають межу використання контрейлерного сполучення, у межах до 1800-2000 км. залізничним транспортом при відстані перевезення автомобільним транспортом між пунктами відправлення і призначення до 50 кілометрів [6]. Але якщо подивитися на розглядувану проблему з іншої сторони, то стає очевидним важливість дислокації вантажовідправника та вантажоодержувача, оскільки при різних варіантах розміщення останніх, визначена дослідниками відстань ефективного виконання контрейлерного перевезення стає не актуальною. В деяких працях є початки дослідження в даному напрямку, так наприклад, Зінько Р.В. [5] пропонує графову модель контрейлерних перевезень, розраховує оптимальні умови їх ефективності для міжнародних перевезень залежно від геометрії задачі та швидкості перевезення. Але залишається невирішеною проблема відсутності комплексу математичних моделей в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень вибору варіанту організації перевезень для різних умов розміщення учасників транспортного процесу. Тому відзначаємо недостатність існуючих та необхідність розробки нових ефективних методів для проведення досліджень в цьому напрямку.

**Виклад основного матеріалу.** Рівноцінна відстань доставки – це відстань, на яку перевезення як прямим автомобільним, так і з використанням контрейлера є однаковою за показником вартості. Для визначення рівноцінної відстані доставки вантажів була прийнята гіпотеза, про те що врахування параметрів дислокації всіх учасників транспортного процесу впливає кінцевий результат. Під рівноцінною відстанню доставки в роботі розуміється відстань від ВВ до точки R, вартість перевезення в якій рівна як автомобільним так і контрейлерним сполученням.

Умовні і графічні визначення і позначення:

ЗТВ – залізничний термінал відправлення;

ЗТП – залізничний термінал призначення;

ВВ – вантажовідправник;  
 ВО – вантажоодержувач;  
 – залізнична ділянка маршруту (контрейлерне перевезення);  
 – автомобільна ділянка маршруту (автомобільне перевезення);  
 Розглянемо всі можливі схеми розміщення (дислокації) учасників транспортного процесу (рис.1):  
 а) ЗТВ співпадає з ВВ;                      ЗТП співпадає з ВО;

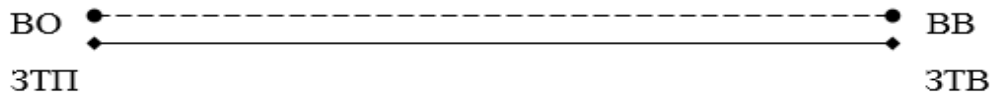


Рис. 1. Графічне зображення процесу перевезення вантажів

У цьому випадку перевезення вантажу у складі автомобіля-тягача і причепа (причіпний автопоїзд) або напівпричепа (сідельний автопоїзд) – від ВВ до ВО потрібно порівнювати з вартістю переміщення автопоїзда у складі контрейлерного потягу, тобто від ЗТВ до ЗТП з завантаженням/розвантаженням автопоїзду на/з платформи контрейлерного потягу.

Таким чином вартість доставки автопоїзда автомобільним ( $C_a$ ) і контрейлерним ( $C_k$ ) видом сполучення буде розраховуватися за наступними формулами (1-2):

$$C_a = \sum_{i=1}^m S a_i \times L_i, \tag{1}$$

$$C_k = V_{нpp_1} + \sum_{i=1}^m T k_i \times L_i + V_{нpp_m}, \tag{2}$$

де  $S a_i$  – собівартість проїзду автопоїзду по території  $i$ -ої держави на відстань в 1 км, євро/км;  
 $L_i$  – відстань проїзду автопоїзду по території  $i$ -ої держави;  
 $m$  – кількість держав, територією яких переміщується автопоїзд;  
 $V_{нpp_1}$  – вартість навантажувально-розвантажувальних робіт в Україні, євро;  
 $V_{нpp_m}$  – вартість навантажувально-розвантажувальних робіт в  $m$ -ої державі, євро;  
 $T k_i$  – залізничний тариф переміщення автопоїзду на платформі контрейлерного потягу по території  $i$ -ої держави на відстань в 1 км, євро/км.

В результаті вартість доставки вантажу ( $C^a$ ) у випадку (а), а звичайно і вид сполучення визначиться як (форм. 3):

$$C^a = \min (C_a, C_k). \tag{3}$$

У якості обмежень у цьому випадку може виступати час доставки вантажу (рис. 2).

б) ЗТВ не співпадає з ВВ;                      ЗТП співпадає з ВО;

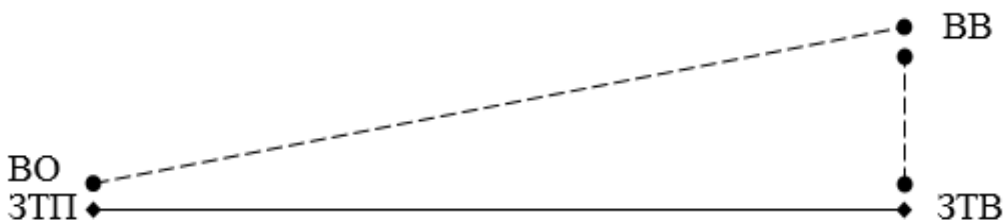


Рис. 2. Графічне зображення процесу перевезення вантажів

У цьому випадку потрібно порівнювати вартість переміщення автопоїзду від ВВ до ВО автомобільним маршрутом з вартістю переміщення автопоїзда у складі контрейлерного потягу, тобто спочатку від ВВ до ЗТВ автомобільним маршрутом, далі від ЗТВ до ЗТП залізничним маршрутом з завантаженням/розвантаженням автопоїзду на/з платформи контрейлерного потягу (форм. 4-5).

$$Ca = \sum_{i=1}^m Sa_i \times L_i, \quad (4)$$

$$Ck = Sa \cdot La + V_{нрр1} + \sum_{i=1}^m Tk_i \times L_i + V_{нррm}, \quad (5)$$

де  $Sa$  – собівартість проїзду автопоїзду на відстань в 1 км по території України, євро/км;  
 $La$  – відстань проїзду автопоїзду по території України від ВВ до ЗТВ.  
 У випадку (б) також вартість доставки вантажу  $C^b$  визначиться як (форм.6):

$$C^b = \min (Ca, Ck), \quad (6)$$

але додатковою умовою вибору виду сполучення (автомобільного, або контрейлерного) у цьому випадку виступає дислокація ВО відносно ВВ, тобто відстань ВО до ВВ.

За допомогою відповідних розрахунків знаходиться на промені від ВО до ВВ спочатку точка, в якій вартість перевезення у автомобільному і контрейлерному сполученні однакова, тобто точка рівноцінної вартості (ТРВ). Після чого знаходяться ТРВ для різних дислокацій ВВ (дислокація ВО остається не змінною) і далі за допомогою запропонованих моделей будується область ефективного використання (ОЕВ) контрейлерного сполучення. Утворена ОЕВ має вигляд розгорнутої параболи і якщо ВВ знаходиться ближче ніж ТРВ до ВО, то більш ефективним буде пряме автомобільне сполучення, якщо далі – контрейлерне. Представимо графічно ОЕВ контрейлерного сполучення (рис. 3):

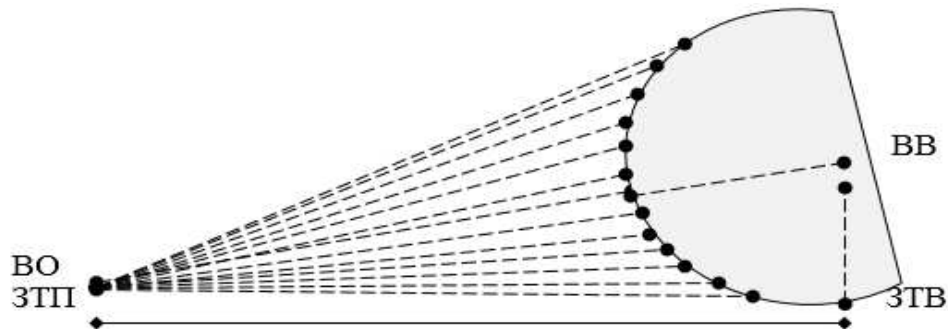


Рис. 3. Визначення ОЕВ контрейлерів

в) ЗТВ співпадає з ВВ;                      ЗТП не співпадає з ВО (рис. 4);

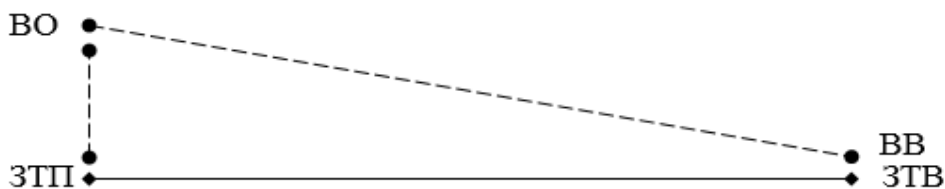


Рис. 4. Графічне зображення процесу перевезення вантажів

У цьому випадку потрібно порівнювати вартість переміщення автопоїзду від ВВ до ВО автомобільним маршрутом з вартістю переміщення автопоїзда у складі контрейлерного потягу, тобто спочатку від ЗТВ до ЗТП залізничним маршрутом з завантаженням/розвантаженням автопоїзду на/з платформи контрейлерного поїзда і далі від ЗТП до ВО автомобільним маршрутом (форм. 7-8).

$$Ca = \sum_{i=1}^m Sa_i \times L_i, \quad (7)$$

$$Ck = V_{нрр1} + \sum_{i=1}^m Tk_i \times L_i + V_{нррm} + Sa_m \cdot La_m, \quad (8)$$

де  $Sa_m$  – собівартість проїзду автопоїзду на відстань в 1 км по території  $m$ -ої держави, євро/км;  
 $La_m$  – відстань проїзду автопоїзду по території  $m$ -ої держави від ЗТП до ВО.  
 У випадку (в) також вартість доставки вантажу  $C^c$  визначається як (форм. 9):

$$C^c = \min (Ca, Ck), \quad (9)$$

але додатковою умовою вибору виду сполучення (автомобільного, або контрейлерного) у цьому випадку також виступає дислокація ВВ відносно ВО, тобто відстань від ВВ до ВО.

За допомогою відповідних розрахунків знаходиться на промені від ВВ до ВО спочатку точка, в якій вартість перевезення у автомобільному і контрейлерному сполученні однакова, тобто точка рівноцінної вартості (ТРВ). Після чого знаходяться ТРВ для різних дислокацій ВО (дислокація ВВ остається незмінною) і далі за допомогою запропонованих моделей будується ОЕВ контрейлерного сполучення. Утворена ОЕВ має вигляд розгорнутої параболи і якщо ВО знаходиться ближче ніж ТРВ до ВВ, то більш ефективним буде пряме автомобільне сполучення, якщо далі – контрейлерне. Представимо графічно ОЕВ контрейлерного сполучення (рис. 5):

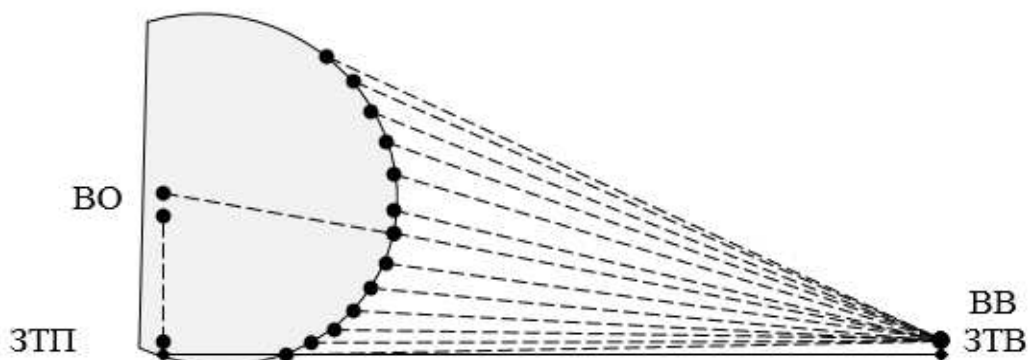


Рис.5. Визначення ОЕВ контрейлерів

г) ЗТВ не співпадає з ВВ; ЗТП не співпадає з ВО (рис. 6).

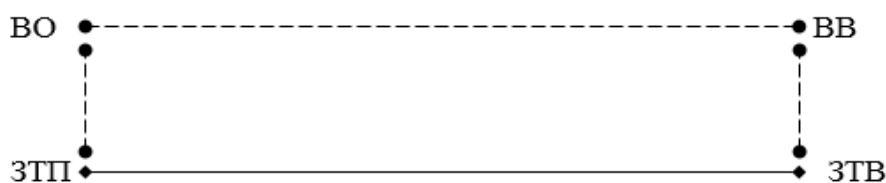


Рис.6. Графічне зображення процесу перевезення вантажів

У цьому випадку потрібно порівнювати вартість переміщення автопоїзда від ВВ до ВО автомобільним маршрутом з вартістю переміщення автопоїзда у складі контрейлерного потягу, тобто спочатку від ВВ до ЗТВ автомобільним маршрутом, далі від ЗТВ до ЗТП залізничним маршрутом з завантаженням/розвантаженням автопоїзда на/з платформи контрейлерного потягу і далі від ЗТП до ВО автомобільним маршрутом (форм. 10-11).

$$Ca = \sum_{i=1}^m Sa_i \times L_i, \quad (10)$$

$$Ck = Sa \cdot La + V_{нрр_1} + \sum_{i=1}^m Tk_i \times L_i + V_{нрр_m} + Sa_m \cdot La_m. \quad (11)$$

У випадку (г) також вартість доставки вантажу  $C^c$  визначається як (форм. 12):

$$C^c = \min (Ca, Ck), \quad (12)$$

але додатковою умовою вибору виду сполучення (автомобільного, або контрейлерного) у цьому випадку також виступає дислокація ВВ відносно ВО, тобто відстань від ВВ до ВО.

За допомогою відповідних розрахунків знаходиться на промені від ВВ до ВО спочатку точка, в якій вартість перевезення у автомобільному і контрейлерному сполученні однакова, тобто точка рівноцінної вартості (ТРВ). Після чого знаходяться ТРВ для різних дислокацій ВО (дислокація ВВ остається незмінною) і для різних дислокацій ВВ (дислокація ВО остається незмінною). Далі за допомогою запропонованих моделей будуються дві ОЕВ контрейлерного сполучення. Утворені ОЕВ мають вигляд розгорнутих парабол і якщо ВО знаходиться ближче ніж ТРВ до ВВ і в той же час ВВ знаходиться ближче ніж ТРВ до ВО, то більш ефективним буде пряме автомобільне сполучення, якщо далі – контрейлерне. Представимо графічно ОЕВ контрейлерного сполучення (рис. 7):

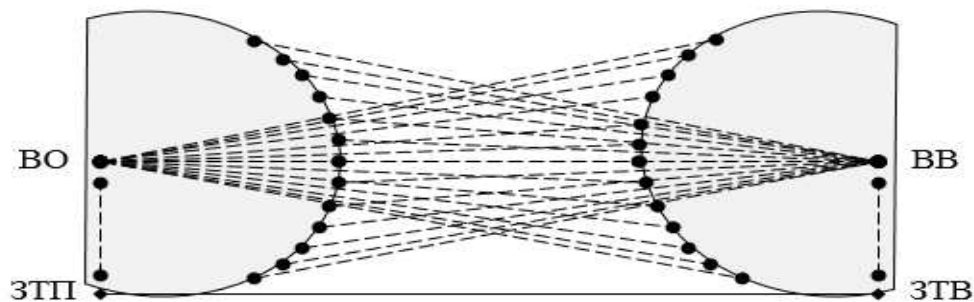


Рис. 7. Графічне зображення процесу знаходження ОЕВ для оборотного рейсу

Утворена область ефективного використання контрейлерного сполучення дає можливість вибору раціональної схеми доставки на основі лише тарифів на перевезення і дислокації вантажоодержувача. Уточнена область є не абстрактною, а підтверджується розрахунками на основі розроблених математичних моделей.

Апробація результатів дослідження була на базі Асоціації міжнародних перевізників України; а також на у Відділу розвитку та регулювання ринку автомобільних перевезень Департаменту стратегічного розвитку дорожнього ринку та автомобільних перевезень Міністерства інфраструктури України.

**Висновки.** В результаті проведеного аналізу існуючих методів вирішення задачі вибору виду сполучення при здійсненні доставки вантажів у міжнародному сполученні виявлено, що математичні моделі носять, як правило, суто теоретичний характер і наближені рекомендації щодо вибору виду сполучення.

Розроблено економіко-математичну модель визначення рівноцінної відстані доставки за критерієм вартості, коли вантажовідправник співпадає з контрейлерним терміналом відправлення. Зручність користування розробленою моделлю має переваги над усіма раніше запропонованими перш за все, тим, що дозволяє розрахувати економічну доцільність використання виду сполучення не лише як область ефективного використання, а для кожного окремого випадку визначити ефективність від вибору виду сполучення. Використання моделі дає можливість економічного обґрунтування вибору виду сполучення і дозволить автотранспортному підприємству скоротити витрати на виконання перевезень на 10-15%.

Уточнено зону ефективного використання контрейлерного сполучення при міжнародній доставці вантажів за критерієм собівартості. Графічно область ефективного використання контрейлерного сполучення має вигляд розгорнутої параболи, вершина якої знаходиться на лінії залізничного маршруту.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Нефедов Н.А., Харченко Т.В., Пономарева Н.В. Применение контрейлерных поездов при международных перевозках грузов // Сб. науч. трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – Вып. 21. – С. 90-92
2. Кирпа Г.Н. Организация контрейлерных перевозок в Украине.-Днепропетровск: Арт-Пресс, 1998. - 132 с.
3. Сілантьєва Юлія Олександрівна. Підвищення ефективності контрейлерних перевезень: Дис. канд. техн. наук: 05.22.01 / Національний транспортний ун-т. – К., 2003. – 130 арк. – Бібліогр.: арк. 112-121.
4. Котенко А.М., Шевченко В.І., Шилає П.С. Математичне моделювання руху комбінованих поїздів// Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2010, вип. 113.
5. Зінько Р.В., Маковейчук О.М., Улященко В.Г. Графова інтерпретація задачі контрейлерних перевезень // НАУКОВИЙ ВІСНИК НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць.–Львів: НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.4. – 300 с.
6. Кірка Г.М., Підвищення ефективності використання рухомого складу для інтенсифікації перевезень у міжнародному сполученні. // Праці Західного наукового центру НАУ: Проектування, виробництво та експлуатація транспортних засобів і поїздів. – 2006, № 13. – С. 40-50.
7. Гужевська Л.А. Литвин О.В. Визначення доцільності використання контрейлерних перевезень у міжнародному сполученні / Любовь Анатоліївна Гужевська, Олена Віталіївна Литвин // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ. – 2014. – Вип. 13. С. 31.
8. Гужевська Л.А., Денис О.В. Апробація моделі визначення зони ефективного використання контрейлерного сполучення при міжнародних перевезеннях вантажів / Л.А. Гужевська, О.В. Денис // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2016. - № 6. – С. 60-66.
9. Prokudin G. Logistics Approach to the Organization of Unbalanced Freight Transportation in Transport Networks /G. Prokudin, O. Chupaylenko, I. Lebid, N. Luzhanska // Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. PART I. September 30 -October 02, 2020 Online Conference -Kaunas, Lithuania. P. 22-26.