

**Мінакова Світлана Михайлівна**,  
доктор економічних наук, професор, професор  
кафедри підприємництва та маркетингу,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу

**Волобуєва Тетяна Вячеславівна**,  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри  
машинобудування, Одеська державна академія  
будівництва та архітектури

**Целікова Аліна Сергіївна**,  
кандидат технічних наук, доцент кафедри  
машинобудування, Одеська державна академія  
будівництва та архітектури

**Мінаков Віталій Михайлович**,  
кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри машинобудування,  
Одеська державна академія будівництва та  
архітектури

**Болокан Іван Георгійович**,  
старший викладач кафедри машинобудування,  
Одеська державна академія будівництва та  
архітектури

**Minakova Svitlana**, Doctor of Economics  
Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National  
Technical University of Oil and Gas,  
<https://orcid.org/0000-0002-9931-8291>

**Volobuyeva Tetyana**, Ph.D., Associate  
Professor, Odesa State Academy of  
Construction and Architecture,  
<https://orcid.org/0000-0003-0340-3326>

**Tselikova Alina**, Ph.D.,  
Odesa State Academy of Civil Engineering  
and Architecture,  
<https://orcid.org/0000-0002-1394-3986>

**Minakov Vitaly**, Candidate of Economic  
Sciences, Associate Professor, Odesa State  
Academy of Construction and Architecture,  
<https://orcid.org/0000-0002-0087-503X>

**Bolokan Ivan**, Senior Teacher, Odessa  
State Academy of Civil Engineering and  
Architecture,  
<https://orcid.org/0000-0002-8815-6346>

#### ОЦІНЮВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ EVALUATION OF THE USE OF ROAD TRANSPORT WHEN DELIVERING GOODS BY MEANS OF A MATHEMATICAL APPARATUS

Мінакова С. М., Волобуєва Т. В., Целікова А. С.,  
Мінаков В. М., Болокан І. Г. Оцінювання застосу-  
вання автомобільного транспорту при переве-  
зенні вантажів за допомогою математичного  
апарату. *Український журнал прикладної еконо-  
міки та техніки*. 2023. Том 8. № 1. С. 106 – 114.

Minakova S., Volobuyeva T., Tselikova A.,  
Minakov V., Bolokan I. Evaluation of the use of  
road transport when delivering goods by  
means of a mathematical apparatus. *Ukrainian  
Journal of Applied Economics and Technology*.  
2023. Volume 8. № 1, pp. 106 – 114.

В проведеному дослідженні вказано на особливості перевезень вантажів автомобільним транспортом в умовах нових геополітичних і військових загроз та на зростання питомої ролі цього виду транспорту в загальнодержавному вантажообігу. Встановлено, що більша надійність автомобільних перевезень вантажів призводить до зростання їх стратегічного значення в умовах новітніх загроз не тільки для сталого розвитку економіки країни, а і для національної безпеки. Розроблено математичний апарат оцінювання ефективності застосування автомобільного транспорту при перевезенні вантажів для забезпечення належного рівня управління. Розглянуто два рівня управління перевезень вантажів автомобільним транспортом – загальнодержавний рівень ефективності і рівень ефективності логістичної компанії. Вказано, що загальнодержавний рівень обумовлює необхідність, передусім, реалізації задачі надійності транспортування вантажів. В свою чергу, для оцінювання ефективності логістичної компанії необхідно аналізувати її економічні показники. Запропоновано використовувати як індикатор ефективності вантажних перевезень загальнодержавного значення збільшення кількості ненульових комірок Булевої матриці в розробленій математичній моделі. Для рівня підприємства розроблено алгоритм за використання одночасно групи інтегральних цільових функцій. Для цього реалізовано математичну модель наближення набору локальних цільових функцій до їх найліпших значень на поверхні відгуку інтегральної цільової функції в просторі параметрів. Для економічного використання обсягів обчислювальних ресурсів запропоновано виокремлення псевдостатичних варіантів транспортування вантажів, тобто таких, параметри впливу на які не значним чином змінюються в часі. Якщо зміни параметрів в часі стають значними, запропоновано запровадження розробленої динамічної моделі. Розроблена математична модель дозволяє не тільки вирішити задачу пошуку найліпших значень одночасно для декількох цільових функцій, але і провести порівняльну оцінку варіантів застосування автомобільного транспорту при

© Мінакова Світлана Михайлівна, Волобуєва Тетяна Вячеславівна, Целікова Аліна Сергіївна,  
Мінаков Віталій Михайлович, Болокан Іван Георгійович, 2023

---

перевезенні вантажів підприємством і розрахувати ранг цих варіантів у відповідності з рівнем їх наближення до найліпших значень цільових функцій.

**Ключові слова:** автомобільний транспорт, перевезення вантажів, цільова функція, оцінка, математична модель.

*The study considers the peculiarities of cargo transportation by road in the conditions of new geopolitical and military threats and indicates the increase in the specific role of this mode of transport in the national freight circulation. It is established that the greater reliability of car cargo transportation leads to an increase in their strategic importance in the conditions of the latest threats not only for the sustainable development of the country's economy, but also for national security. The mathematical apparatus of evaluating the use of road transport when cargo transportation is developed to ensure properly management levels. Two levels of cargo transportation management are considered – a national level of efficiency and the level of efficiency of a logistics company. It is stated that the national level necessitates, first of all, the realization of the problem of reliable transportation of goods. Therefore, to evaluate the effectiveness of a logistics company, it is necessary to analyze its economic indicators. It is proposed to be used as an indicator of the efficiency of freight transportation of national importance to increase the number of non-zero cells of the Boolean matrices in the developed mathematical model. The algorithm for using a group of integral target functions was developed for the enterprise level. For this purpose, a mathematical model of approaching a set of local target functions to their best values on the surface of the integral target function in the parameter space is implemented. For the economical use of the volume of calculating resources, it is proposed to distinguish pseudo static variants of transportation of goods, that is, such parameters of influence which are not significantly changed over time. If changes in time become significant, the introduction of the developed dynamic model is proposed. The developed mathematical model allows not only to solve the problem of finding the best values at the same time for several target functions, but also to evaluate comparatively the options for the use of road transport when transporting goods by the enterprise and to calculate the rank of these options in accordance with the level of their approximation to the best values of the target functions.*

**Keywords:** road transport, cargo transportation, target function, evaluation, mathematical model.

---

## Вступ

В умовах значних динамічних змін процесу транспортування вантажів, збільшення рівня загроз за широкомасштабних військових дій на території України значно змінюється вагомість автомобільного транспорту в системі транспортних сполучень країни для перевезення вантажів як з метою формування належного рівня функціонування підприємств, забезпечення населення всім необхідним, формування стратегічних державних запасів, так і для виконання гостро поставлених задач військової логістики.

Висока маневреність транспортних засобів зокрема та високі маневрені можливості управління системою автомобільних перевезень в цілому, висока оперативність виконання нагальних логістичних задач цього виду транспорту, менша вразливість в умовах ракетних ударів сприяють зростанню ролі автомобільних перевезень у порівнянні з іншими видами транспорту. Це призводить до того, що автомобільний транспорт в умовах війни набуває особливого значення не тільки як стратегічний інструмент економічної політики, а й як невід'ємний механізм формування безпеки держави. Вказане, зокрема, обумовлено тим, що за унеможливлення транспортного сполучення з іншими країнами внаслідок блокади морських портів і тим самим виключення застосування для перевезення вантажів морського транспорту – однієї з важливих заборон забезпечення економічного життя України, компенсаторна функція вантажообігу в міжнародних сполученнях і внутрішніх перевезеннях вантажів сьогодні забезпечується, переважним чином, залізничним і автомобільним транспортом.

Це збільшує вимоги до ефективного управління сферою автомобільних перевезень, що, в свою чергу, потребує значного пришвидшення цифрової трансформації транспортної галузі, зокрема впровадження новітніх методів математичного моделювання, релевантного оцінювання рівня ефективності процесу перевезення вантажів, вибору найліпших варіантів застосування автомобільного транспорту при перевезенні вантажів.

Значні динамічні зміни в організації автомобільних перевезень вантажів, впровадження новітніх методів, інструментів, технологій в транспортну сферу потребували значних обсягів наукових досліджень всіх аспектів проблеми, викликаних вказаними змінами.

В оглядах наукових праць за цією проблематикою визначаються як широкий спектр, так і основні напрями досліджень. Найперше треба зазначити ґрунтовність аналітичних оглядів Чукурна та інші [1], Izadi та інші [2], Wolff та інші [3], Chung [4], Belen та інші [5].

Також не можна обійти увагою значний внесок українських вчених у вивчення складних процесів трансформації автомобільних перевезень під впливом новітніх викликів, зокрема праць Векмагамбетов та Kochetkov [6], Prokudin та інші [7, 8], Krasnorutskiy та інші [9], Chukurna та інші [10], Duna, та Matviienko [11], Волинець [12], Roi [13], Синявська та Репіч [14], Мороз та інші [15], Medvediev та інші [16]. Значним є внесок праць іноземних вчених у формування новітніх математичних підходів до організації та управління процесом автомобільних

---

вантажних перевезень, формування методологічної бази цифрової трансформації галузі таких, як: Nitsenko та інші [17], Poliak та інші [18], Krasnyanskiy та Penshin [19], Jourquin [20], Gnarp та інші [21], Mitsakis та інші [22], Havrysh та Nitsenko [23], Cancela та інші [24], Odoki та інші [25], Льченко та інші [26], Cassiano та інші [27], Cicconi та інші [28].

Обсяг досліджень, їх ґрунтовність свідчать як про актуальність проблеми, так і підтверджують потребу продовження досліджень в умовах формування нових впливів і розроблення релевантних математичних підходів до оцінки застосування автомобільного транспорту за вказаних впливів.

### **Мета статті**

Метою статті є дослідження особливостей перевезень вантажів автомобільним транспортом в умовах нових викликів та розроблення математичного апарату оцінювання застосування автомобільного транспорту при перевезенні вантажів.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

За жорсткої транспортної кризи, викликаній блокуванням морських портів України, виявилось, що на функціонування автомобільного транспорту військові та геополітичні ризики вплинули менш негативним чином, ніж на інші види транспорту. Так, за початку широкомасштабних військових дій морські вантажні перевезення були скорочені найбільше.

Значно скороченими були також обсяги вантажоперевезень річковим транспортом, оскільки він, за технологічних умов і традицій використання, великою мірою був інтегрований у загальну систему водних перевезень країни, яка найбільше постраждала через морську блокаду.

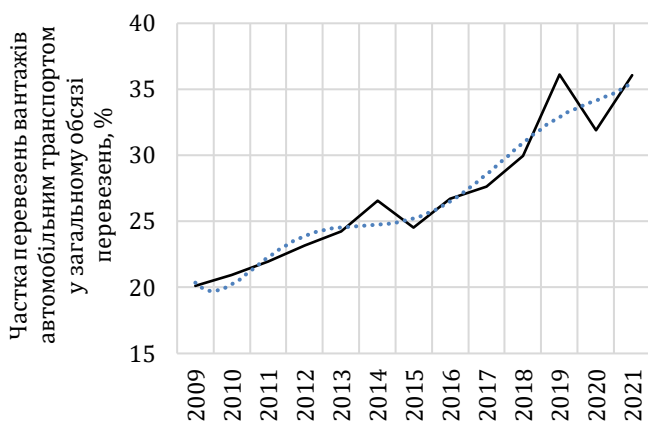
Меншим чином було скорочено обсяги вантажоперевезень залізничним транспортом. Але цей вид транспорту також постраждав через руйнування залізничних станцій, збільшення кількості аварій через стрибкоподібне перевантаження залізничних шляхів. Вказані аварії, за технологічних особливостей залізничного транспорту, мають наслідком те, що кожна з них призводить до блокування руху на тій ділянці, де сталася аварія, а це, в свою чергу, призводить до зменшення надійності перевезення вантажів цим видом транспорту.

На рух автомобільного транспорту аварії окремих одиниць рухомого складу і навіть ушкодження дороги впливають значно меншим чином. Також наявні інші фактори, які обумовлюють більш високу надійність автомобільних перевезень вантажів. Автомобільний транспорт, за технологічних умов використання, не так жорстко прив'язаний до певних транспортних вузлів, як інші види транспорту (наприклад, як морський транспорт – до портів, залізничний – до залізничних станцій), тому значно менш уразливі до повітряних ударів по місцям концентрації транспортних засобів. Розвинута мережа автомобільних доріг дає можливість, за необхідності, змінювати в реальному часі логістичні маршрути перевезення вантажів. Саме відносно більша надійність автомобільних перевезень вантажів призводить до зростання їх стратегічного значення в умовах новітніх загроз не тільки для сталого розвитку економіки країни, а і для національної безпеки. В умовах транспортної кризи вказані особливості автомобільного виду транспорту призвели до збільшення частки вантажообігу за його використання в загальнодержавному вантажообігу.

Це надає підстави для висновку про необхідність в наступні періоди інтенсивним чином розвивати інфраструктуру автомобільного транспорту – збільшувати мережу автомобільних доріг, логістичні центри, структури автосервісу – оперативного ремонту й обслуговування вантажних транспортних засобів тощо. Тим більше, що це впливає на ранг показників інфраструктури автомобільного транспорту, які є складовими Глобального індексу конкурентоспроможності (GCI) України за даними Всесвітнього економічного форуму (WEF). Так, якщо показник «Дорожнє сполучення» (англ. Road connectivity) має значення 56, то «Якість дорожньої інфраструктури» (англ. Quality of road infrastructure) – лише 114 [29].

На необхідність більшої уваги урядовців до поліпшення показника «Дорожнє сполучення» вказує, зокрема, проведене співставлення довжини автомобільних доріг в Україні за період 1980-2022 роки і виявлення скорочення довжини доріг за останні десять років у порівнянні з 1992-1998 роками на ~3000 км [30].

Для обґрунтування вказаних висновків також було досліджено динаміку частки перевезень вантажів автомобільним транспортом у загальному обсязі перевезень (див. Рис. 1). Нерівномірність тенденцій зміни цієї величини рік від року, особливо за період з 2018-ого року, вказує на неналежний рівень управління автомобільними перевезеннями.



**Рис. 1. Динаміка частки перевезень вантажів автомобільним транспортом у загальному обсязі перевезень, %**

Джерело: побудовано за використання даних [30].

$$y = 0,0004x^6 - 0,0165x^5 + 0,2818x^4 - 2,3108x^3 + 9,2779x^2 - 15,522x + 28,639 \quad (1)$$

Для забезпечення належного рівня управління потрібна оцінка ефективності застосування автомобільного транспорту [31-34]. Така оцінка має різні виміри. Розглянемо загальнодержавний рівень ефективності та рівень ефективності логістичної компанії, яка використовує для перевезення вантажів автомобільний транспорт. Загальнодержавний рівень має на меті оцінку виконання вантажних перевезень загальнодержавного значення для належного функціонування економіки країни, забезпечення військових потреб тощо. Для автомобільних перевезень військових вантажів в умовах війни питання економічної ефективності поступають питанням убезпеченості вантажів, необхідності поповнення стратегічних запасів, вирішення тактичних задач постачання тощо.

З огляду на вказані обставини функцію ефективності ( $\bar{E}$ ) застосування автомобільного транспорту для виконання вантажних перевезень загальнодержавного значення можна розглянути як результат множення двох багатовимірних матриць  $\bar{E}_1$  та  $\bar{E}_2$ , розмірності яких ( $m \times n$ ) співпадають між собою:

$$\bar{E} = \bar{E}_1 \times \bar{E}_2 \quad (2)$$

Перша з них ( $\bar{E}_1$ ) є планова матриця перевезень за обсягами, номенклатурою, часом доставки тощо. Друга ( $\bar{E}_2$ ) – Булева матриця, де виконання умови за кожною з позицій позначається одиницею, невиконання – нулем.

Тоді рівняння (2) можна представити наступним чином:

$$\bar{E} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – елементи матриць, причому кожний з елементів  $c$  пов'язаний з відповідними елементами  $a$  та  $b$  наступним чином:

$$c_{mn} = a_{mn} \times b_{mn} \quad (4)$$

У відповідності до рівнянь (3) і (4) індикатором ефективності вантажних перевезень загальнодержавного значення має виступати збільшення кількості ненульових комірок Булевої матриці ( $b_{mn} \neq 0$ ).

Оцінювання рівня ефективності логістичної компанії, яка використовує для перевезення вантажів автомобільний транспорт, потребує врахування значної кількості факторів. Зокрема, врахування технічних факторів, таких як рівень забезпечення процесу перевезення рухомим складом з необхідними характеристиками; рівень забезпечення логістичного процесу необхідним навантажувально-розвантажувальним обладнанням; належна відповідність і облаштування пунктів навантаження/розвантаження; належний стан шляхів логістичного маршруту тощо. Також потрібне врахування технологічних факторів, таких як реалізація транспортування необхідної номенклатури та обсягів партій вантажів; часу доставки; часу оборотного та порожнього переміщення транспорту логістичним маршрутом; часу простою транспортних одиниць; необхідної номенклатури вантажопідйомності рухомого складу; коефіцієнтів використання

Коефіцієнт кореляції динаміки структури ВВП за статтею «Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність» і частки перевезень вантажів автомобільним транспортом у загальному обсязі перевезень складає вагому величину – 0,704. Але величина коефіцієнту кореляції могла бути значно більшою за уникнення значних відхилень в певні періоди часу, зокрема, у 2020-ому році (див. рис. 1). Коливання частки перевезень вантажів автомобільним транспортом у загальному обсязі перевезень досягає 12,5% від усередненої лінії тренду.

Усереднена лінія тренду представлена як поліноміальне рівняння шостого ступеня:

допоміжного обладнання та ефективності вантажно-розвантажувальних операцій тощо. Потрібно враховувати й економічні фактори: тарифи на перевезення, допоміжні та складські операції; премії та штрафи за своєчасність/несвоєчасність доставки та обробки вантажів тощо.

Для рівня підприємства показниками ефективності можуть бути, зокрема, такі питомі показники діяльності, як: дохід/прибуток на одну тону перевезеного вантажу; собівартість перевезення однієї тони перевезеного вантажу; витрати/прибуток на одного працівника/водія підприємства; трудомісткість перевезення однієї тони вантажу; витрати ремонту техніки на одну тону перевезеного вантажу; фондоємність на одну тону перевезеного вантажу; витрати палива та/чи енергоносіїв на одну тону вантажу; прибуток на одну гривню капітальних/операційних витрат; частка вантажів, доставлених з порушенням договорених строків транспортування; частка uszkodжених вантажів в загальному обсязі перевезень; частка доходу/збитку через порушення умов доставки в загальному обсязі доходу/збитку тощо. Вочевидь, кожен з цих показників є корисним, але лише локальним індикатором ефективності, тобто лише фрагментом загальної картини.

Інтегральними цільовими функціями оптимізації діяльності підприємства можуть бути обрані: максимізація прибутку/мінімізація збитку перевезення; надійність транспортування вантажів; максимізація клієнтської бази, поширення географії доставки – тобто формування передумов набуття прибутку в наступні періоди тощо. Вочевидь, задача досягнення всіх цих функцій одночасно є ускладненою через певне протиріччя між ними. Наприклад, збільшення надійності транспортування вантажів може призводити до зменшення прибутку підприємства.

Для вирішення задачі досягнення найліпших можливих значень групи з вказаних цільових функцій потрібно визначити пріоритетність досягнення кожної з них і реалізувати найближче наближення кожної з цільових функцій до найліпшого значення.

Це потребує, в процесі реалізації алгоритму, розроблення варіантів доставки вантажів та порівняння вказаних варіантів у відповідності до визначених пріоритетів.

Якщо рівень наближення набору цільових функцій відповідає визначним пріоритетам, подальший пошук припиняється. Якщо ні, то інтервали наближення цільових функцій до найліпших значень кожної з них мають бути розширені чи мають бути збільшені набори параметрів пошуку, наприклад, кількість варіантів маршрутів доставки вантажів.

В такому разі математична формалізація задачі досягнення найліпших можливих значень групи з вказаних цільових функцій виглядатиме наступним чином:

$$\begin{cases} \vec{f} = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_k)^z \\ \vec{\varphi} = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_k)^z \end{cases} \quad (5)$$

де  $\vec{f}$  – інтегральна цільова функція;  $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$  – локальні цільові функції;  $z$  – кількість варіантів рішень;  $i = 1, 2, 3 \dots k$  – ранги цільових функцій за їх рівнем пріоритетності в порядку убутання;  $\vec{\varphi}$  – задані інтервальні зміни інтегральної цільової функції в просторі параметрів  $X(x_1, x_2, x_3, \dots)$ ;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_k$  – задані інтервальні зміни локальних цільових функцій в просторі параметрів.

Наближення одночасно кожної з локальних цільових функцій до їх найліпших значень на поверхні відгуку інтегральної цільової функції в просторі параметрів математичним чином може бути представлено як:

$$\begin{cases} \max D [\vec{f}(X), \vec{\varphi}(X)] \\ x_i \in R^z | x_i \leq \varepsilon_i, x_i \notin \emptyset \end{cases} \quad (6)$$

де  $D$  – рівень наближення вектору інтегральної цільової функції, яка представлена набором локальних цільових функцій, до її найліпшого значення;  $x_i$  – параметри з набору  $X$ ;  $\varepsilon_i$  – інтервальні значення кожного з  $i$ -ого параметру;  $R$  – знак відношення у відповідності до теорії множин.

Тобто максимізація наближення інтегральної цільової функції в просторі параметрів проводиться шляхом узгодження двох матриць: матриці інтервальних змін ( $\vec{\varphi}$ ) та матриці цільових функцій ( $\vec{f}$ ). Це потребує нормалізації ступеня наближення цільових функцій до найліпшого значення. Процедура нормалізації проводиться наступним чином:

$$\vec{r} = \frac{(\vec{f}_i - \vec{f}_{ipl})}{\sqrt{\sum_{j=1}^q [f_j(X) - f_{ipl}(X)]^2}} \quad (7)$$

де  $j = 1, \dots, q$  – індекс змінної набору даних для нормалізації локальної цільової функції з індексом  $i = 1, 2, 3 \dots, q$ ;  $f_{ipl}$  – найліпше значення локальної цільової функції.

Оскільки обрано групу цільових функцій, то рівень їх наближення до найліпших значень, відповідно, можна представити як набір функцій наближення до найліпших значень локальних цільових функцій:

$$D = \max [D_1(\vec{f}_1, \vec{\varphi}_1), D_2(\vec{f}_2, \vec{\varphi}_2), D_3(\vec{f}_3, \vec{\varphi}_3), \dots, D_n(\vec{f}_n, \vec{\varphi}_n)] \quad (8)$$

Але такий математичний підхід рішення доцільно запроваджувати лише для псевдостатичних варіантів транспортування вантажів, тобто таких, параметри впливу на які не значним чином змінюються в часі. Виокремлення псевдостатичних варіантів транспортування вантажів спрощує розрахунки і, відповідно, зменшує потребу використання значних обсягів обчислювальних ресурсів.

Якщо зміни параметрів у часі стають значними, алгоритм також потребує зміни. Можливість запровадження динамічного підходу потребує, на першому кроці алгоритму, перевірки значущості зміни в часі параметрів цільових функцій та їх обмежень.

Для цього потрібен розрахунок перших похідних в часі як параметрів, так і цільових функцій:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \frac{\partial x_{11}}{\partial t} & \dots & \frac{\partial x_{q1}}{\partial t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial x_{1z}}{\partial t} & \dots & \frac{\partial x_{qz}}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11}^* & \dots & x_{q1}^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1z}^* & \dots & x_{qz}^* \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{\partial f_{11}}{\partial t} & \dots & \frac{\partial f_{q1}}{\partial t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{1z}}{\partial t} & \dots & \frac{\partial f_{qz}}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11}^* & \dots & f_{q1}^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{1z}^* & \dots & f_{qz}^* \end{bmatrix} \end{cases} \quad (9)$$

де:  $x^*$  – скорочене позначення першої похідної даних в часі;  $f^*$  – скорочене позначення першої похідної обмежень в часі.

Наступним етапом є визначення перших похідних цільових функцій. Матричне представлення перших похідних цільових функцій виглядає наступним чином:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \varphi_{11}}{\partial t} & \dots & \frac{\partial \varphi_{q1}}{\partial t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \varphi_{1z}}{\partial t} & \dots & \frac{\partial \varphi_{qz}}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_{11}^* & \dots & \varphi_{q1}^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{1z}^* & \dots & \varphi_{qz}^* \end{bmatrix} \quad (10)$$

де:  $\varphi^*$  – скорочене позначення першої похідної цільових функцій в часі.

Тоді:

$$\varphi_{qz}^* = \langle x_{qz}^*, f_{qz}^*, R \rangle \quad (11)$$

де  $R$  – множина варіантів зв'язків  $x_{qz}^*, f_{qz}^*, \varphi_{qz}^*$ , яка призводить до утворення масиву відносин ( $W$ ).

За формування масиву відносин ( $W$ ) математичне представлення набуде наступного вигляду:

$$(\varphi_{qz}^*, x_{qz}^*, f_{qz}^*, R) \in W \quad (12)$$

Така математична формалізація за використання апарату відносин обумовлена тим, що  $\varphi_{qz}^*, x_{qz}^*$  та  $f_{qz}^*$  за динамічного перебору варіантів задачі мають опосередкований зв'язок в часі.

Запропонована математична модель вирішує дві проблеми.

По-перше, модель дозволяє вирішити задачу знаходження найкращих значень одночасно для декількох цільових функцій.

По-друге, за її допомогою можна провести порівняльну оцінку варіантів застосування автомобільного транспорту при перевезенні вантажів підприємством і розрахувати ранг цих варіантів у відповідності до рівня їх наближення до найліпших значень цільових функцій.

### Висновки та перспективи подальших розвідок

За результатами проведеного дослідження встановлено, що більша надійність автомобільних перевезень вантажів призводить до зростання їх стратегічного значення в умовах новітніх загроз не тільки для сталого розвитку економіки країни, а і для національної безпеки.

Встановлено, що вказані особливості автомобільних перевезень в умовах транспортної кризи призвели до збільшення частки вантажообігу автомобільного транспорту в загальнодержавному вантажообігу за використання всіх видів транспорту. Це надало підстави для висновку про необхідність в наступні періоди інтенсивним чином розвивати інфраструктуру автомобіль-

ного транспорту, тобто збільшувати мережу автомобільних доріг, логістичні центри, структури автосервісу – оперативного ремонту і обслуговування вантажних транспортних засобів тощо.

Дослідження динаміки частки перевезень вантажів автомобільним транспортом у загальному обсязі перевезень країни вказали на її значні коливання, що свідчить про неналежний рівень управління автомобільними перевезеннями. Цей висновок підтвердив необхідність релевантного оцінювання ефективності застосування автомобільного транспорту для забезпечення належного рівня управління. Розглянуто два рівня управління перевезень вантажів автомобільним транспортом – загальнодержавний рівень ефективності і рівень ефективності логістичної компанії. Вказано, що загальнодержавний рівень має на меті оцінку виконання вантажних перевезень загально-державного значення для належного функціонування економіки країни, забезпечення військових потреб тощо. Це обумовлює необхідність передусім реалізації задачі надійності транспортування вантажів. Запропоновано використовувати як індикатор ефективності вантажних перевезень загальнодержавного значення збільшення кількості ненульових комірок Булевої матриці в розробленій математичній моделі.

В свою чергу, для оцінювання ефективності логістичної компанії необхідно аналізувати її економічні показники. Вказано, що для рівня підприємства показниками ефективності можуть бути зокрема питомі показники діяльності, але вони можуть бути лише локальними індикаторами ефективності. Тому розроблено алгоритм за використання одночасно групи інтегральних цільових функцій. Для цього реалізовано математичну модель наближення набору локальних цільових функцій до їх найліпших значень на поверхні відгуку інтегральної цільової функції в просторі параметрів. Для економічного використання обсягів обчислювальних ресурсів запропоновано виокремлення оцінювання псевдостатичних варіантів транспортування вантажів, тобто таких, параметри впливу на які не значним чином змінюються в часі. Якщо зміни параметрів в часі стають значними, запропоновано запровадження розробленого динамічного підходу.

Розроблена математична модель дозволяє не тільки вирішити задачу пошуку найліпших значень для декількох цільових функцій, але і провести порівняльну оцінку варіантів застосування автомобільного транспорту при перевезенні вантажів підприємством і розрахувати ранг цих варіантів у відповідності рівню їх наближення до найліпших значень цільових функцій.

В подальших дослідженнях передбачається розроблення, бета-тестування та апробація на практиці розроблених математичних підходів.

## Список літератури

1. Shoman, W., Yeh, S., Sprei, F., Köhler, J., Plötz, P., Todorov, Y., Rantala, S., Speth, D. A Review of Big Data in Road Freight Transport Modeling: Gaps and Potentials. *Data Science for Transportation*. 2023. Т. 5. № 2. <https://doi.org/10.1007/s42421-023-00065-y>
2. Чукурна О.П., Ніценко В.С., Михайлова М.В., Одиноків Р.Д. Удосконалення системи складської логістики в контексті технологій «Індустрії 4.0». Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг. 2018. Вип. 1 (27). С. 220-232.
3. Wolff, M., Abreu, C., Caldas, M. A. F. Evaluation of road transport: a literature review. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*. 2019. Т. 16. №1. С. 96-103. URL: <https://bjopm.emnuvens.com.br/bjopm/article/view/729>
4. Chung S-H. Applications of smart technologies in logistics and transport: A review. *Transp Res Part E Logist Transp Rev*. 2021. Т. 153. 102455.
5. Belen, M., Ortega, E., Cuevas-Wizner, R., Ledda, A., De Montis, A. Assessing road network resilience: An accessibility comparative analysis. *Transportation Research Part D*. 2021. Т. 95. С. 102851.
6. Bekmagambetov, M., Kochetkov, A. Analysis of modern software of transport simulation of research, design, technology. *Journal of Automotive Engineers*. 2012. № 6(77). С. 25-34. URL: <http://www.aae-press.ru/f/77/25.pdf>.
7. Prokudin, G., Oliskevych, M., Chupaylenko, O., Maidanik, K. Optimization model of freight transportation on the routes of international transport corridors. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. 2020. № 5(1). С. 66-76. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2020.5-1.7>.
8. Prokudin, G., Chupaylenko, O., Dudnik, O. Application of information technologies for the optimization of itinerary when delivering cargo by automobile transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2/3 (92). С. 51-59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.128907>.
9. Красноручський О.О., Ніценко В.С., Захарченко О.В. Оптимізація формування та використання економічного потенціалу в сільськогосподарських підприємствах: моногр. Харків: ТОВ «Лерадрук». 2013. 211 с.
10. Chukurna O.P., Nitsenko V.S., Hanzhurenko I.V., Honcharuk N.R. Directions of Innovative Development of Transport Logistics in Ukraine. *Economic Innovations*. 2019. Vol. 21. Issue 1(70). pp. 170-181.
11. Duna, N., Matviienko, A. Prospects for the development of the Ukrainian road freight transport market: the european integration aspect. *Scientific Bulletin of Uzhgorod National University*. 2022. № 44. С. 21-29.
12. Волинець, Л. М. Лібералізація міжнародних автомобільних перевезень – новий імпульс розвитку транспортної галузі. *Економіка транспортного комплексу*. 2021. № 37. С. 161–176.
13. Roi, M.P. Method of optimization of the integrated transport process of cargo road transportation. *Scientists of Notes of TNU named Vernadsky V.I*. 2020. Т. 31 (70). № 5. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/36>

14. Синявська, О., Репіч, Т. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою системи GPS-моніторингу. *Молодий вчений*. 2020. № 2 (78). С. 356-359.
15. Мороз, М., Загорянский, В., Гайкова, Т., Кузев, І. Використання методів дослідження операцій для оптимізації автомобільних перевезень масових вантажів в агропромисловому комплексі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2022. № 1(11). С. 44–50.
16. Medvediev, I., Muzylyov, D., Shramenko, N., Eliseyev, P., Ivanov V. Design logical linguistic models to calculate necessity in trucks during agricultural cargoes logistics using fuzzy logic. *Acta Logistica*. 2020. № 7(3). С. 155–166. <https://doi.org/10.22306/al.v7i3.165>
17. Nitsenko V., Sharapa O., Burdeina N., Hanzhurenko I. Accounting and analytical information in the management system of a trading enterprise in Ukraine. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва*. Серія «Економічні науки». 2017. № 2. С. 3-18.
18. Poliak, M., Poliakova, A., Svabova, L., Zhuravleva, A., Nica, E. Competitiveness of Price in International Road Freight Transport. *Journal of Competitiveness*. 2021. № 13(2). С. 83–98. <https://doi.org/10.7441/joc.2021.02.05>
19. Krasnyanskiy, M., Penshin, N. Quality criteria when assessing competitiveness in road transport services. *Transport Problems*. 2016. №11 (4). С. 15–20. <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.4.2>
20. Jourquin, B. Estimating Elasticities for Freight Transport Using a Network Model: An Applied Methodological Framework. *Journal of Transportation Technologies*. 2019. № 9 (1). С. 1–13. <https://doi.org/10.4236/jtts.2019.91001>
21. Gnap, J., Konecny, V., Vajran, P. Research on Relationship between Freight Transport Performance and GDP in Slovakia and EU Countries. *Naše more*. 2018. Т. 65 (1). С. 32–39.
22. Mitsakis, E., Iordanopoulos, P., Aifadopoulou, G., Tyrinopoulos, Y., Chatziathanasiou, M. Deployment of Intelligent Transportation Systems in South East Europe: Current Status and Future Prospects. *Transportation Research Record*. 2015. Т. 2489 (1). С. 39–48. <https://doi.org/10.3141/2489-05>
23. Havrysh V., Nitsenko V. Alternative fuels using influence on agricultural machines' efficiency. *Zбір праць наукових «Współpraca UE-Ukraina: Zmiany gospodarcze»*. *Ekonomiczne nauki*. 2015. S. 41-46.
24. Cancela, H., Mauttone, A., Urquhart, M. E. Mathematical programming formulations for transit network design. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2015. Т. 77. С. 17-37. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.03.006>
25. Odoki, J. B., Di Graziano, A., Akena, R. A multi- -criteria methodology for optimising road investments, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport*. 2015. Т. 168. №1. С. 34–47. <https://doi.org/10.1680/tran.12.00053>
26. Мультиmodalьні та інтерmodalьні перевезення: теорія та практика державного регулювання : моногр. / С. В. Ільченко, Н.Д. Маслій, В.С. Ніценко, І.В. Ганжуренко, Ю.О. Лаврущенко, С.В. Котенко, А.В. Вардіашвілі, О.В. Розвадовська ; за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. С. В. Ільченко ; НАН України, Ін-т проблем ринку та екон.-екол. дослідж. Одеса : ПРБЕД НАНУ, 2020. 283 с. <https://doi.org/10.31520/978-966-02-9483-7>
27. Cassiano, D.R., Bertocini, B.V., de Oliveira, L.K. A Conceptual Model Based on the Activity System and Transportation System for Sustainable Urban Freight Transport. *Sustainability*. 2021. №13. С. 5642.
28. Cicconi, P., Landi, D., Germani, M. A virtual modelling of a hybrid road tractor for freight delivery. *ASME Int. Mech Eng Congr Expo Proc*. 2016. № 12. С. 1–8. <https://doi.org/10.1115/IMECE201668013>
29. IMD World Competitiveness Ranking 2021. URL: [https://cedakenticomedia.blob.core.windows.net/cedamediacontainer/kentico/media/researchcataloguedocuments/pdfs/wcy2021\\_imd-ranking\\_2021.pdf](https://cedakenticomedia.blob.core.windows.net/cedamediacontainer/kentico/media/researchcataloguedocuments/pdfs/wcy2021_imd-ranking_2021.pdf)
30. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
31. Ніценко В.С. Амортизаційні відрахування як джерело відтворення основних фондів господарств. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія «Економічні науки». 2010. Вип. 5/1 (39). С. 123-129.
32. Nitsenko V., Havrysh V. International experience of alternative motor fuels application for ground transportation. *Стійкий розвиток регіонів в умовах глобалізації. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (26-29 червня 2016 р.)*. Житомир: Вид-во «Рута», 2016. С. 105-107.
33. Nitsenko, V., Havrysh, V., Kobylianska, A., & Hanzhurenko, I. Ensuring the economic attractiveness of biofuels for vehicles. International security in the frame of modern global challenges 2019: Collection of research papers. Lithuania, Vilnius: MRU. 2019. pp. 70-72.
34. Nitsenko, V., Nyeno, I., Levinska, T. Theory and Methodology of Business-Model Formation. In: *Wielowymiarowość kategorii bezpieczeństwa. Wymiar prawny, ekonomiczno-społeczny i międzynarodowy*, red. K. Sygidus, P. Łubiński, D. Svyrydenko. Bookmarked Publishing & Editing, Olsztyn - Kraków - Kijów. 2018. pp. 93-121.

## References

1. Shoman, W., Yeh, S., Sprei, F., Köhler, J., Plötz, P., Todorov, Y., Rantala, S., Speth, D. (2023). A Review of Big Data in Road Freight Transport Modeling: Gaps and Potentials. *Data Science for Transportation*, 5, 2. <https://doi.org/10.1007/s42421-023-00065-y>
2. Chukurna, O., Nitsenko, V., Mykhailova, M., Odinkovoyu, R. (2018). «Improvement of warehouse logistics system in the context of "Industry 4.0" technologies». *Ekonomiczna stratehiia i perspektyvy rozvytku sfery torhivli ta posluh*, 1(27). pp. 220-232.
3. Wolff, M., Abreu, C., Caldas, M. A. F. (2019). Evaluation of road transport: a literature review. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 16, 1, 96-103, URL: <https://bjopm.emnuvens.com.br/bjopm/article/view/729>
4. Chung S-H (2021). Applications of smart technologies in logistics and transport: A review. *Transp Res Part E Logist Transp Rev*, 153, 102455. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102455>
5. Belen, M., Ortega, E., Cuevas-Wizner, R., Ledda, A., De Montis, A. (2021). Assessing road network resilience: An accessibility comparative analysis. *Transportation Research Part D*, 95, 102851. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102851>
6. Bekmagambetov, M., Kochetkov, A. (2012). Analysis of modern software of transport simulation of research, design, technology. *Journal of Automotive Engineers*, 6(77), 25-34. Available at: <http://www.aae-press.ru/f/77/25.pdf>
7. Prokudin, G., Olskevych, M., Chupaylenko, O., Maidanik, K. (2020). Optimization model of freight transportation on the routes of international transport corridors. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 5(1), 66-76. <https://doi.org/10.14254/jstdl.2020.5-1.7>



8. Prokudin, G., Chupaylenko, O., Dudnik, O. (2018). Application of information technologies for the optimization of itinerary when delivering cargo by automobile transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/3 (92), 51-59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.128907>.
9. Krasnorutskiy, O.O., Nitsenko, V.S., Zakharchenko, O.V. (2013). *Optymizatsiia formuvannia ta vykorystannia ekonomichnoho potentsialu v silskohospodarskykh pidpriemstvakh*. [Optimizing the formation and use of economic potential in agricultural enterprises]. TOV «Leradruk». Kharkiv. Ukraine.
10. Chukurna, O.P., Nitsenko, V.S., Hanzhurenko, I.V., Honcharuk, N.R. (2019). Directions of Innovative Development of Transport Logistics in Ukraine. *Economic Innovations*, 21, Issue 1(70), 170-181. [https://doi.org/10.31520/ei.2019.21.1\(70\).170-181](https://doi.org/10.31520/ei.2019.21.1(70).170-181).
11. Duna, N., Matviienko, A. (2022). Prospects for the development of the ukrainian road freight transport market: the european integration aspect. *Scientific Bulletin of Uzhgorod National University*, 44, 21-29. <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2022-44-4>
12. Volynets', L. M. (2021). «Liberalization of international road transport - a new impetus for the development of the transport industry». *Ekonomika transportnoho kompleksu*, 37, 161–176. <https://doi.org/10.30977/ETK.2225-2304.2021.37.161>
13. Roi, M.P. (2020). Method of optimization of the integrated transport process of cargo road transportation. *Scientists of Notes of TNU named Vernadsky V.I.*, 31 (70), 5. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/36>
14. Syniavs'ka, O., Repich, T. (2020). «Optimization of freight transportation using the GPS monitoring system». *Molody vchenyj*, 2 (78), 356-359. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-2-78-75>
15. Moroz, M., Zahorians'kyj, V., Hajkova, T., Kuziev, I. (2022). «The use of operations research methods to optimize road transportation of bulk cargo in the agro-industrial complex». *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Novi rishennia u suchasnykh tekhnolohiiakh*, 1(11), 44–50. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.01.07>
16. Medvediev, I., Muzylyov, D., Shramenko, N., Eliseyev, P., Ivanov V. (2020). Design logical linguistic models to calculate necessity in trucks during agricultural cargoes logistics using fuzzy logic. *Acta Logistica*, 7(3), 155–166. <https://doi.org/10.22306/al.v7i3.165>
17. Nitsenko, V., Sharapa, O., Burdeina, N., Hanzhurenko, I. (2017). Accounting and analytical information in the management system of a trading enterprise in Ukraine. *Visnyk KhNAU im. V.V. Dokuchaieva. Seriya «Ekonomichni nauky»*, 2, 3-18.
18. Poliak, M., Poliakova, A., Svabova, L., Zhuravleva, A., Nica, E. (2021). Competitiveness of Price in International Road Freight Transport. *Journal of Competitiveness*, 13(2), 83–98. <https://doi.org/10.7441/joc.2021.02.05>
19. Krasnyanskiy, M., Penshin, N. (2016). Quality criteria when assessing competitiveness in road transport services. *Transport Problems*, 11 (4), 15–20. <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.4.2>
20. Jourquin, B. (2019). Estimating Elasticities for Freight Transport Using a Network Model: An Applied Methodological Framework. *Journal of Transportation Technologies*, 9 (1), 1–13. <https://doi.org/10.4236/jtts.2019.91001>
21. Gnap, J., Konecny, V., Vajran, P. (2018). Research on Relationship between Freight Transport Performance and GDP in Slovakia and EU Countries. *Naše more*, 65 (1), 32–39. <https://doi.org/10.17818/NM/2018/1.5>
22. Mitsakis, E., Iordanopoulos, P., Aifadopoulos, G., Tyrinopoulos, Y., Chatziathanasiou, M. (2015). Deployment of Intelligent Transportation Systems in South East Europe: Current Status and Future Prospects. *Transportation Research Record*, 2489 (1), 39–48. <https://doi.org/10.3141/2489-05>
23. Havrysh, V., Nitsenko, V. (2015). Alternative fuels using influence on agricultural machines' efficiency. *Zbiór prac naukowych «Współpraca UE-Ukraina: Zmiany gospodarcze»*. *Ekonomiczne nauki*, 41-46.
24. Cancela, H., Mauttone, A., Urquhart, M. E. (2015). Mathematical programming formulations for transit network design. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 17-37. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.03.006>.
25. Odoki, J. B., Di Graziano, A., Akena, R. (2015), A multi- -criteria methodology for optimising road investments, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 168, 1, 34–47. <https://doi.org/10.1680/tran.12.00053>.
26. *Multymodalni ta intermodalni perevezennia: teoriia ta praktyka derzhavnoho rehulivannia*. [Multimodal and intermodal transportation: theory and practice of state regulation]. / Ilchenko, S.V., Maslii, N.D., Nitsenko, V.S., Hanzhurenko, I.V., Lavrushchenko, Yu.O., Kotenko, S.V., Vardiashvili, A.V., Rozvadovska, O.V.; in Ilchenko, S. V.; NAN Ukrainy, In-t problem rynku ta ekon.-ekol. doslidzh. Odesa: PREED NANU, 2020. <https://doi.org/10.31520/978-966-02-9483-7>.
27. Cassiano, D.R., Bertoncini, B.V., de Oliveira, L.K. (2021). A Conceptual Model Based on the Activity System and Transportation System for Sustainable Urban Freight Transport. *Sustainability*, 13, 5642. <https://doi.org/10.3390/su13105642>
28. Cicconi, P., Landi, D., Germani, M. (2016). A virtual modelling of a hybrid road tractor for freight delivery. *ASME Int. Mech Eng Congr Expo Proc*, 12, 1–8. <https://doi.org/10.1115/IMECE201668013>
29. IMD World Competitiveness Ranking 2021. URL: [https://cedakenticomedia.blob.core.windows.net/cedamediacontainer/kentico/media/researchcataloguedocuments/pdfs/wcy2021\\_imd-ranking\\_2021.pdf](https://cedakenticomedia.blob.core.windows.net/cedamediacontainer/kentico/media/researchcataloguedocuments/pdfs/wcy2021_imd-ranking_2021.pdf)
30. Ofitsijnyj sajt Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy. [Official website of the State Statistics Service of Ukraine.]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
31. Nitsenko, V.S. (2010). «Depreciation deductions as a source of reproduction of fixed assets of farms». *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ekonomichni nauky»*, 5/1 (39), 123-129.
32. Nitsenko, V., Havrysh, V. (2016). International experience of alternative motor fuels application for ground transportation. *Stiikiy rozvytok rehioniv v umovakh hlobalizatsii. Materialy Mizhnar. nauk-prakt. konf.* [Sustainable development of regions in the conditions of globalization. Materials of the International science and practice conf.]. (June 26-29, 2016). Zhytomyr: Vyd-vo «Ruta», pp. 105-107.
33. Nitsenko, V., Havrysh, V., Kobylanska, A., Hanzhurenko, I. (2019). Ensuring the economic attractiveness of biofuels for vehicles. *International security in the frame of modern global challenges 2019: Collection of research papers*. Lithuania, Vilnius: MRU, 70-72. Available at: <https://ebooks.mruni.eu/product/iinternational-security-in-frame-modern-global-challenges-2019>.
34. Nitsenko, V., Nyenno, I., Levinska, T. (2018). Theory and Methodology of Business-Model Formation. In: *Wielowymiarowość kategorii bezpieczeństwa. Wymiar prawny, ekonomiczno-społeczny i międzynarodowy*, red. K. Sygidus, P. Łubiński, D. Svyrydenko. Bookmarked Publishing & Editing, Olsztyn - Kraków - Kijów, 93-121.

Стаття надійшла до редакції 12.01.2023 р.