

**Dmytro Levkin**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalija Berezhna**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Anna Kozenok**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Inna Babych**, Senior Lecturer  
*State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine*  
*e-mail: dimalevkin23@gmail.com*

## Mathematical modeling of the process of containerized cargo handling at terminals

The article proposes a mathematical model of terminal cargo handling based on a probabilistic approach that takes into account the arrival of cargo at the terminal. The supplier-terminal-destination systems are systems with distributed parameters, which means that the optimization of the time spent by goods at the terminal and the quality of their material condition is ensured by the methods of vector parameter optimization. The authors reduce the dimensionality of the technical parameters of the transport system, after which they optimize the discretized parameters of the system. Using the results of the research in this article to optimize transportation and terminal cargo handling will increase the productivity of transportation and minimize economic losses due to cargo damage.

**transport systems, economic efficiency, mathematical modeling, probabilistic approach, parameter optimization**

**Formulation of the problem.** In a highly competitive transportation services market, improving the technology for accelerated processing of containerized cargo at terminals can be an important element of competitiveness. High-quality, fast and efficient cargo handling at the terminal can provide certain benefits to cargo owners; reduce overall logistics costs; contribute to increased profitability by increasing customer satisfaction and, consequently, attracting new customers; reduce inventory and increase productivity. Efficient terminal cargo handling will have a significant impact on the quality of supply chains. The speed of cargo processing affects inventory levels, delivery, and customer waiting times. If terminal cargo processing takes longer, which usually happens when productivity is low, it leads to delays in the supply chain, increased inventory, and under-fulfillment of orders. Poor quality (not on time, not in full) order fulfillment leads to increased customer dissatisfaction and a deterioration in the business's reputation.

It should also be noted that quickly and efficiently processed cargo at the terminal significantly helps cargo owners improve their cash flow and gain an advantage over their competitors. Reducing the time that cargo spends at the terminal allows cargo owners to reduce costs and increase profitability. The speed of processing will reduce the risk of deterioration of goods resulting from delays in cargo handling and/or storage.

**Analysis of the latest research.** Article [1] proposes a technology for using the RFID system to optimize the time spent on container handling and reduce the impact of the human factor. This will speed up cargo operations at the container terminal. Article [2] investigates some aspects of solving the problem of increasing the speed of cargo delivery in distribution systems. Based on the calculations performed in the article, the authors of [2] determined the optimal strategy for the delivery of goods in international traffic. In order to minimize the total cost of urban transportation, the authors of [3] improved the technology of freight forwarding services for shippers. Publications [4, 5] investigate some theoretical aspects of optimizing the route network of road transport logistics to improve the efficiency of sales activities of enterprises.

The authors of [6] proposed mathematical models (computational and applied optimization) and computational methods for finding optimal parameters in solving applied problems of geometric design of technical systems. The authors focused on the study of certain aspects of improving the quality of technical processes by increasing the accuracy of the construction and implementation of boundary value problems in optimizing the main parameters of the modeled systems. Publications [7, 8] present the basic methods for calculating and optimizing systems with distributed parameters, and propose numerical methods for implementing applied optimization models to improve the quality of functioning of certain technical systems containing thermal load sources. We note the results of publications [9, 10], where the conditions for the correctness of boundary value problems for many technical systems are defined and comprehensively substantiated.

**The purpose of the work is** to develop a mathematical model of the process of thermal processing of containerized cargo at the terminal to optimize the time and quality of the material condition of cargo during the operation of transport flows.

**Presenting main material.** The terminal cargo handling system consists of material and information flows:

$$\begin{cases} m_1 \rightarrow m_2 \rightarrow \dots \rightarrow m_i \rightarrow \dots \rightarrow m_n; \\ d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow \dots \rightarrow d_i \rightarrow \dots \rightarrow d_e, \end{cases} \quad (1)$$

where  $m_i \rightarrow$  – element of the material flow chain in the terminal,  $i = 1, \dots, n$ ;

$d_i \rightarrow$  – the volume of the document;

$\rightarrow$  – transition from one element of the chain to another.

The operation of the chain elements according to the material flow and the flow of necessary information, respectively:

$$M(t) = m_1 \xrightarrow{t_1} m_2 \xrightarrow{t_2} \dots \xrightarrow{t_n} m_n \quad (2)$$

and

$$D(t) = d_1 \xrightarrow{t_1} d_2 \xrightarrow{t_2} \dots \xrightarrow{t_e} d_e. \quad (3)$$

Cargo batch volumes  $M$  and documentation of information  $D$  are equal:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n m_i = M; \\ \sum_{j=1}^k d_j = D. \end{cases} \quad (4)$$

In general, you can use the functionality to record the status of the logistics terminal:

$$C = c\{F_{ij}; a_{ij}(t); b_{ij}(t); c_{ij}(t)\}, \quad (5)$$

where  $F_{ij}$  –  $i$ -and the phase  $j$ -of functional purpose;

$a_{ij}(t)$  – incoming material flow  $i$ -phases  $j$ -of functional purpose;

$b_{ij}(t)$  – outgoing material flow  $i$ -phases  $j$ -of functional purpose;

$C_{ij}$  – state  $i$ -phases  $j$ -of functional purpose.

The following relationships were used to account for the transition from one phase of the supply chain to another:

the application is in service mode

$$c(t_{i=1}) = I[a(t_{i=1}), c(t_i)] \quad (6)$$

one application is in the maintenance phase, and the other has left this phase

$$c(t_{i=1}) = K[a(t_{i=1}), c(t_i), b(t_{i=1})] \quad (7)$$

one application left the service terminal, and the other was not received:

$$c(t_{i=1}) = E[c(t_i), b(t_{i=1})]. \quad (8)$$

An expression for accounting for the load on the phases of the logistics chain of a transportation system:

$$\begin{cases} m_i^C = (t, m_1, m_2, \dots, m_n); \\ d_j^C = (t, d_1, d_2, \dots, d_k), \end{cases} \quad (9)$$

where  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – material flow;

$d_1, d_2, \dots, d_k$  – the flow of information.

To improve the efficiency of the transport terminal, it is necessary to rationalize the technical and economic parameters of the modeled process. This is achieved by minimizing the deviation between the maximum permissible, based on the technical characteristics of the mechanisms or expert assessment of the capabilities of terminals and vehicles, and the calculated parameters of the transport system. Fast and efficient cargo handling at the terminal can bring significant income to cargo owners and transport service market players, reduce logistics costs, and help attract new customers [11–14].

**Conclusions.** Having analyzed the state of the transport services market in Ukraine, the article proposes the necessary conditions for building and implementing applied tasks of optimizing time costs during the thermal processing of containerized cargo at service terminals in order to improve the quality of traffic flows. Taking into account the fact that the terminal consists of several interconnected phases through which the cargo passes, the authors have developed a mathematical model of the terminal's functioning during the processing of cargoes of goods. It is based on specialized methods of vector optimization, which will allow choosing more rational modes of terminal operation among the existing ones. The results of the above studies should be used to solve the main optimization problem of improving the quality of transport services for cargo owners, taking into account the restrictions on the technical and economic parameters of the modeled process in order to increase the economic income of cargo owners and transport services market participants.

## List of references

1. Лаврухін О. В., Куліш О. Ю. Удосконалення технології переробки контейнерів за допомогою систем RFID. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2022. №. 23. С. 25-25.
2. Нагорний Є. В., Орда О. О., Кондратенко Д. А. Вибір оптимальної транспортно-технологічної схеми доставки вантажів у міжнародному сполученні. *Автомобільний транспорт : зб. наук. пр. М-во освіти і науки України; ХНАДУ; редкол.: А. В. Гнатов (гол. ред.) та ін. Харків, 2020. Вип. 47. С. 44-50. <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/3704>*
3. Markevych A., Shramenko N., Moroz M. Development of technology of urban forwarding service of small consignment customers. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2021. №. 58 (1). Pp. 54–58. Сучасний стан та перспективи розвитку авіатранспортної логістики. *Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка». 2020. С. 223-224.
4. Tkachenko A., Sevastyanov R. The role of sales logistics in the management of commercial channel and physical distributions of finished goods. *Herald of Khmelnytskyi National University*. Khmelnytskyi, 2021. Issue. 1. Vol. 1. S. 188–191. DOI 10.31891/2307-5740-2021-290-1-33.
5. Голюк В., Стародуб І. Сучасний стан та перспективи розвитку авіатранспортної логістики. *Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка». 2020. С. 223-224.
6. Stoyan Y.G., Romanova T.E., Pankratov O.V., Stetsyuk P.I., Stoian Y.E. Sparse balanced layout of spherical voids in three-dimensional domains. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2021. Vol. 57. Pp. 542–551.
7. Muzylyov D., Shramenko N., Shramenko V. Integrated business-criterion to choose a rational supply chain for perishable agricultural goods at automobile transportations. *International Journal of Business Performance Management*. 2020. T. 21. №. 1-2. С. 166-183.
8. Asrorov F., Sobchuk V., Kurylko O. Finding of bounded solutions to linear impulsive systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6. No. 4 (102): Mathematics and Cybernetics - applied aspects. Pp. 14–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178635>
9. Naumov, V., Taran, I., Litvinova, Y., & Bauer, M. Optimizing Resources of Multimodal Transport Terminal for Material Flow Service. *Sustainability*. MDPI. 2020. Vol. 12(16), pages 1-13, August.
10. Mamtiyev K., Aliyeva T., Rzayeva U. Analysis of one class of optimal control problems for distributed-parameter systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 5. No. 4 (113): Mathematics and Cybernetics applied aspects. Pp. 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241232>.
11. Levkin D., Makarov O., Levkin A. Blending logistics and delivery of wood to the consumer. *Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: «Theoretical and empirical scientific research: concept and trends»*. Vol. 2. Oxford, United Kingdom, 2020. Pp. 8–9.
12. Larina T.F., Kravcov, A.G., Berezhnaja N.G., Kutiya O. V., Fenenko K.A. Implementation of logistic approaches in forming the agricultural export strategy in Ukraine. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. 2019. Vol. 4. Issue. 1. Pp. 17–24. doi:10.14254/jsdtl.2019.4-1.2.
13. Самойленко А.С. Удосконалення технології прискореної переробки тарно-штучних вантажів на терміналах в умовах ринку транспортних послуг: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к-та. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2009. 22 с.
14. Vojtov V., Berezhnaja N., Kravcov A., Volkova T. Evaluation of the Reliability of Transport Service of Logistics Chains. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. № 7(4(3)). Pp 270–274.

## References

1. Lavrukhin, O.V. & Kulish, O.Iu. (2022). Udoskonalennia tekhnologii pererobky konteineriv za dopomogoiu system RFID [J]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezen* – , No. 23. 25–28. <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261647> [in Ukrainian].
2. Nagornyi, Ye.V., Orda, O.O. & Kondratenko, D.A. (2020). Vybir optymalnoi transportno-tekhnologichnoi skhemy dostavky vantazhiv u mizhnarodnomu spoluchenni [J]. *Avtomobilnyi transport* – , Issue 47, 44–50 [in Ukrainian].

3. Markevych, A., Shramenko, N. & Moroz, M. (2021). Development of technology of urban forwarding service of small consignment customers. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. №. 58 (1). Pp. 54–58 [in English].
4. Goliuk, V., Starodub, I. (2020). Suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku aviatransportnoy logistyky [The current state and prospects for the development of air transport logistics]. Business, innovation, management: problems and prospects : *I Mizhnarodna nakovo-praktychna konferentsiia (23.04.2020)*. Kyiv: KPI im. Igoria Sikorskogo, 223–224 [in Ukrainian].
5. Tkachenko, A. & Sevastyanov, R. (2021). The role of sales logistics in the management of commercial channel and physical distributions of finished goods. *Herald of Khmelnytskyi National University. Khmelnytskyi, Issue. 1. Vol. 1*, 188–191. DOI 10.31891/2307-5740-2021-290-1-33 [in English].
6. Stoyan, Y.G., Romanova, T.E., Pankratov, O.V., Stetsyuk, P.I. & Stoian, Y.E. (2021). Sparse balanced layout of spherical voids in three-dimensional domains. *Cybernetics and Systems Analysis*. Vol. 57. Pp. 542–551 [in English].
7. Muzylyov, D., Shramenko, N. & Shramenko, V. (2020). Integrated business-criterion to choose a rational supply chain for perishable agricultural goods at automobile transportations. *International Journal of Business Performance Management*, Vol. 21. №. 1-2, 166-183 [in English].
8. Asrorov, F., Sobchuk, V. & Kurylko, O. (2019). Finding of bounded solutions to linear impulsive systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6. No. 4 (102): Mathematics and Cybernetics - applied aspects. Pp. 14–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178635> [in English].
9. Naumov, V., Taran, I., Litvinova, Y., & Bauer, M. (2020). Optimizing Resources of Multimodal Transport Terminal for Material Flow Service. Sustainability. MDPI. August 2020. vol. 12(16), pp. 1-13 [in English].
10. Mamtiyev, K., Aliyeva, T. & Rzayeva, U. (2021). Analysis of one class of optimal control problems for distributed-parameter systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5. No. 4 (113): Mathematics and Cybernetics applied aspects. Pp. 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241232> [in English].
11. Levkin, D., Makarov, O. & Levkin, A. (2020). Blending logistics and delivery of wood to the consumer. *Collection of scientific papers «ΑΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: «Theoretical and empirical scientific research: concept and trends»*. Vol. 2. Oxford, United Kingdom, Pp. 8–9 [in English].
12. Larina, T.F., Kravcov, A.G., Berezhnaja, N.G., Kutiya, O. V. & Fenenko, K.A. (2019). Implementation of logistic approaches in forming the agricultural export strategy in Ukraine. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. Vol. 4. Issue. 1. Pp. 17–24. doi:10.14254/jsdtl.2019.4-1.2 [in English].
13. Samoilenko, A.S. (2009). Udoskonalennia tekhnologii pryskorenoi pererobky tarno-shtuchnykh vantazhiv na terminalakh v umovakh rynku transportnykh poslug. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kh: KhNADU [in Ukrainian].
14. Vojtov, V., Berezhnaja, N., Kravcov, A. & Volkova, T. (2018). Evaluation of the Reliability of Transport Service of Logistics Chains. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. № 7(4(3)). Pp. 270–274 [in English].

Д.А. Левкін, доц., канд. техн. наук, Н.Г. Бережна, доц., канд. техн. наук, А.С. Козенок, доц., канд. техн. наук, І.А. Бабич, ст. викл.

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

### Математичне моделювання процесу переробки тарно-штучних вантажів на терміналах

Проблема скорочення часу перебування вантажу на терміналі та загального часу прибуття вантажу до пункту призначення є найбільш актуальною в умовах можливих виробничих ризиків національної економіки. Оптимізація технічних і економічних параметрів транспортних систем дозволить підвищити економічну ефективність для підприємців і вантажовласників. Вантажні термінали мають значення перевалочних вузлів, місць зосередження зусиль різних сервісів, де накопичуються, трансформуються та розподіляються вантажі на шляху руху товарів, а також індикаторів, які відображають обсяги перевезень, що виконуються різними видами транспорту. Тобто транспортні термінали різної потужності та спеціалізації - це не лише пункти накопичення дрібних відправлень, а також і великі вантажорозподільчі центри постачання, а, отже, і найважливіші ланки логістичної системи на багатьох підприємствах.

В основі запропонованої в статті математичної моделі термінальної переробки вантажів лежить ймовірнісний підхід, що використовується для обліку надходження вантажів товару на термінал. Системи «постачальник-термінал-пункт призначення» належать до систем з розподіленими параметрами,

а це означає, що оптимізації часу перебування товарів на терміналі та якості їх матеріального стану забезпечена методами векторної оптимізації параметрів. Автори здійснюють редукцію розмірності технічних параметрів транспортної системи, після чого виконана оптимізація дискретизованих параметрів системи.

Використання результатів досліджень цієї статті для оптимізації транспортних перевезень та термінальної переробки вантажів підвищить продуктивність транспортних перевезень і мінімізує економічні втрати через пошкодження вантажів. Це дозволить вантажовласникам отримати додаткові доходи та підвищить конкурентноспроможність товарів на ринку транспортних послуг.

**транспортні системи, економічна ефективність, математичне моделювання, ймовірнісний підхід, оптимізація параметрів**

*Одержано (Received) 02.09.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 24.09.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 30.10.2023*

УДК 656.025.2

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.201-212](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.201-212)

**С.М. Пашкевич**, ст.викл., **В.М. Никончук**, доц., д-р екон. наук, **М.Є. Кристопчук**, доц., канд. техн. наук

*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна*

## Оцінка пропускної спроможності міської дорожньої мережі з урахуванням пропозиції паркування

Щоб покращити оцінку пропускної спроможності мережі для певної міської дорожньої системи, передбачається, що в моделі оцінки пропускної здатності мережі слід враховувати вплив стратегій управління паркуванням у місцях призначення. У цьому дослідженні представлена розширена модель пропускної спроможності дорожньої мережі, яка враховує як кількість паркувальних місць, так і тарифи на паркування в кожній зоні руху. Модель пропускної здатності мережі сформульована як дворівнева проблема програмування з максимізацією загальної генерації поїздок на верхньому рівні та проблемою комбінованого розподілу поїздок і призначення трафіку (STDTA) на нижньому рівні. Щоб обґрунтовано охарактеризувати вплив ціноутворення на паркування та затримки паркування через ефект заторів, у моделі STDTA бере участь два класи попиту на подорожі. Надано ефективний і практичний алгоритм розв'язку дворівневої моделі потужності мережі. Чисельні експерименти показують переваги запропонованої моделі, а також демонструють вплив пропозиції та ціноутворення паркувальних місць на результати оцінки пропускної здатності дорожньої мережі.

**пропускна здатність, транспортна мережа, парковка, показники міської маршрутної системи**

**Постановка проблеми.** Швидке зростання попиту на пересування автомобілем у містах призводить до збільшення заторів і дефіциту паркувальних місць. Отже, правильно оцінити пропускну здатність міської дорожньої мережі довгий час було важливою метою транспортного проекту планування та оцінювання інфраструктури. У літературі для дослідження проблеми пропускної спроможності більшість дослідницьких мереж вимірюють лише враховуючи обмеження пропускної спроможності міського транспорту [1, 2]. Однак, деякі дослідження вказують на використання в аналізі дорожньої мережі залучення стратегій управління паркуванням [3, 4], яке матиме значення для належної координації ресурсів паркування та попиту на автомобільні перевезення на рівні дорожньої мережі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Концепція пропускної спроможності мережі визначається як максимальний попит на пересування, який може бути