

УДК 656.225

ЗБІЛЬШЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗДІЙСНЕННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА РАХУНОК ЇХНЬОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Кандидати техн. наук А. Л. Кравець, А. М. Кравець, О. О. Шапатіна

INCREASING THE SPEED OF FREIGHT TRANSPORTATION BY MEANS OF OPTIMIZATION

PhD (Tech.) Anna Kravets, Andrii Kravets, Olga Shapatina

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.202.2022.273666>



Анотація. У роботі розглянуто питання збільшення швидкості доставки вантажів на базі існуючих потужностей, інфраструктури та ресурсів. Запропоновано математичне вирішення завдання оптимізації – досягнення певного рівня обслуговування при мінімальних витратах.

Запропоновані дослідження дозволять зробити висновок про переваги або недоліки перевезень швидкісними вантажними поїздами порівняно зі звичайними вантажними поїздами та доцільність їх впровадження на певних ділянках.

Ключові слова: доставка вантажів, швидкісний рух, швидкісний вантажний поїзд, контейнерні перевезення.

Abstract. The article considers increasing the speed of freight delivery by rail using the existing capacity, infrastructure and resources. Possible options and technologies to speed up the delivery of freight are analyzed on the basis of experience of other countries. A mathematical solution to the optimization problem is proposed – achieving a certain level of service with minimal costs associated with the downtime of handling facilities.

The purpose of the study is to determine to what extent such characteristics as transit time, queueing time for loading of goods, etc., can change during the transition from conventional freight transportation to high-speed one.

Mathematical simulation methods were used to estimate the change in the characteristics of freight transportation when the speed increases. Freight transportation was considered as a

mathematical queuing system (QS). Accordingly, the characteristics of two Qs with the same intensity of the order workflow and different intensities of the service workflow at a service are compared. That is, the characteristics of movement of freight trains in the transition from regular traffic to high-speed traffic are compared.

The formulas proposed in the paper will allow to study the dependence of the number of freight trains and the downtime of handling facilities on the intensity of the service workflow, i.e. on the speed of movement. It will also allow to determine intensity of a service workflow which is necessary to achieve the given average time which an order stays in system, i.e. to find the speed of freight traffic required to achieve the given average trip time.

Conducting this research will allow to conclude about advantages or disadvantages of transportation by high-speed freight trains in comparison with conventional freight trains and expediency of their introduction on certain sites.

Keywords: *freight delivery, high-speed traffic, high-speed freight train, container transportation.*

Вступ. Швидкісний рух – це рух, що дозволяє здійснювати перевезення пасажирів і вантажів зі швидкістю 140-200 км/год по модернізованих існуючих лініях.

Українська залізниця має розвинену мережу магістралей, по яких курсують як вантажні, так і пасажирські поїзди. Розведення цих видів руху на відокремлені лінії – це дуже дорогий проєкт. Тому розвиток швидкісного руху необхідно розглядати, по-перше, в умовах поєднання перевезень вантажів і пасажирів; по-друге, в умовах збереження звичайного вантажного руху.

Отже, консолідація перевезень вантажів має зберігати технологію виконання перевезення в цілому, але містити технологію, що передбачає швидку обробку та доставку окремих груп вантажів (вантажних одиниць).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У Європі широко розвинена система організації контейнерних поїздів місцевого значення, що курсують за розкладом. Відправлення поїзда відбувається в строго запланований час, незалежно від його завантаження. Одним із прикладів є челночний поїзд RailXpress, розроблений швейцарською компанією, InnovaTrain AG. Метою таких поїздів є максимально швидке перевезення невеликої кількості контейнерів і знімних

стандартних вантажних одиниць за встановленим розкладом при певному автомобільно-залізничному сполученні. Крім того, такі поїзди мають можливість переміщатися по неелектрифікованих залізничних коліях, оскільки їхні локомотиви працюють на дизельному паливі та електроенергії. Це дозволяє подавати вагони під завантаження-вивантаження на колії незагального користування. Особливістю вагонів поїзда RailXpress є оснащення спеціальним обладнанням, що дає змогу здійснювати горизонтальне перевантаження контейнерів з вагона на автомобіль без використання кранів [1].

У Західній Європі ключову роль в організації вантажопотоків відіграють консолідаційні склади і рух товарів між складськими комплексами і одержувачами.

Впровадження в Німеччині логістичних технологій у пакувальне виробництво в поєднанні з контейнеризацією і зменшенням запасів забезпечило у 2021 році зниження витрат на 50%. Одночасно покращено обслуговування замовників за рахунок організації поставок «точно в строк» [5].

Створенню і використанню нових видів підйомно-транспортного обладнання в логістиці приділяється велика увага. Фірма GE Energy Power Conversion обладнала контейнерні крани (STS)

подвійним вантажозахоплювальним спреїдерним пристроєм, що дає змогу одночасно працювати з чотирма контейнерами різної маси. Спреїдер виконує автоматичне зчеплення і розчеплення з контейнером. Спеціальний пристрій у реальному часі розраховує умови захоплення контейнерів різної маси та в автоматичному режимі забезпечує їх реалізацію [3, 6].

Територією України на регулярній основі курсує 36 контейнерних поїздів, організованих АТ «Укрзалізниця», а контейнерні перевезення складають 2,3 % загального обсягу перевезень вантажів залізничним транспортом України. З 8 червня 2020 року територією чотирьох країн почали курсувати прямі контейнерні поїзди з Китаю до України. І відповідно до спільного меморандуму АТ «Укрзалізниця» та міжнародна логістична компанія DHL Global Forwarding планують розвивати контейнерні залізничні перевезення Китай – Європа [2, 7].

Однак однією з головних причин низького рівня контейнерних перевезень є нестача перевантажувальних потужностей. Адже їхня головна особливість полягає в тому, що перша і «остання миля», тобто доставка безпосередньо замовнику, завжди залишається за автотранспортом. Тому для перевантаження необхідна широка мережа спеціально обладнаних терміналів [4, 8].

Отже, перехід до швидкісних вантажних контейнерних перевезень є перспективним, однак і високовитратним проектом. Підготовка до його реалізації потребує детального економічного аналізу. Але економічний аналіз неможливий без оцінювання змін транспортних характеристик вантажоперевезень, викликаних переходом до швидкісного руху. При цьому необхідно оцінити не тільки характеристики, що прямо впливають з технічних характеристик швидкісних вантажних поїздів, таких як середня швидкість составів, а й похідні характеристики. Наприклад, при

впровадженні швидкісних перевезень на деякому маршруті зі сталим вантажопотоком необхідно розрахувати, на скільки зміняться такі похідні, як середня кількість вантажів в очікуванні перевезення, середній час у дорозі, включаючи очікування завантаження, середній рівень завантаження состава і таке інші. Розуміння залежності цих характеристик від швидкості руху допоможе приймати правильні рішення щодо доцільності впровадження швидкісних перевезень.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є вивчення того, наскільки такі характеристики, як час знаходження вантажів у дорозі, час очікування навантаження вантажів та інше, можуть змінитися при переході від звичайних вантажних перевезень до швидкісних. Для досягнення поставленої мети необхідно розробити методику вирішення завдань оцінювання основних виробничих показників вантажних перевезень, що виникають при переході від звичайних до швидкісних перевезень, серед яких найбільш визначальними є середня швидкість пересування вантажів у дорозі, середній час очікування навантаження, середня кількість поїздів, що простоюють, тощо.

Основна частина дослідження. Для оцінювання зміни характеристик вантажних перевезень при збільшенні швидкості руху пропонується використовувати методи математичного моделювання. Як математичний метод використовується теорія масового обслуговування, оскільки за її допомогою можна вирішити завдання оптимізації, як саме досягти певного рівня обслуговування при мінімальних витратах, пов'язаних з простоям обслуговуючих пристроїв.

Вантажні перевезення будемо розглядати як математичну систему масового обслуговування (СМО). У математиці СМО складається з декількох

паралельно працюючих сервісів, що обслуговують заявки. Заявки можуть перебувати як на обслуговуванні, так і в очікуванні обслуговування.

Сервісами є швидкісні або звичайні вантажні поїзди, а заявками - «партії вантажів» (сукупності вантажів, що наповнюють один такий вантажний поїзд).

Математична постановка задач:

1) порівняти характеристики двох СМО типу $M/M/c/\infty$ з однією і тією самою інтенсивністю потоку заявок і різними інтенсивностями потоку обслуговування одним сервісом, тобто порівняти характеристики руху вантажних поїздів при переході від звичайного руху до швидкісного;

2) на підставі отриманих формул вивчити залежність кількості вантажних поїздів і тривалості простою засобів обслуговування від інтенсивності потоку обслуговувань, тобто швидкості руху;

3) вивчити інтенсивність потоку обслуговування, необхідного для досягнення заздалегідь заданої середньої тривалості перебування заявки в СМО, тобто знайти швидкість вантажного руху, необхідну для досягнення заздалегідь заданого середнього часу перебування вантажів у процесі перевезення.

Пропонована методологія вирішення поставлених завдань:

1) порівняння характеристик двох СМО типу $M/M/c/\infty$ з однією і тією самою інтенсивністю потоку заявок і різними інтенсивностями потоку обслуговування одним сервісом, тобто порівняння характеристик руху вантажних поїздів при переході від звичайного вантажного руху до швидкісного.

Нехай у системі є c вантажних поїздів (швидкісних або звичайних). Вантажі надходять на станцію обслуговування партіями з однаковою інтенсивністю, що дорівнює μ партій на добу. Інтенсивність потоку обслуговування (завантаження-доставка-розвантаження-повернення назад) звичайним вантажним поїздом складає $\mu_{шв}$

партії на один вантажний поїзд за добу, а швидкісним вантажним поїздом – $\mu_{шв}$ партії на один поїзд за добу.

Потрібно розрахувати всі основні характеристики СМО за допомогою стандартних формул теорії масового обслуговування для СМО такого типу.

Щоб простежити закономірність зміни основних характеристик СМО від інтенсивності потоку обслуговувань, будемо змінювати її від $\mu_{шв}$ партії за добу до $\mu_{шв}$ партії за добу з кроком $\Delta\mu$ партії за добу;

2) вивчення залежності кількості вантажних поїздів і відсотка простою засобів обслуговування від інтенсивності потоку обслуговувань, тобто швидкості руху.

Припустимо, що потрібно визначити кількість вантажних поїздів, необхідну для того, щоб знизити тривалість перебування заявки в СМО до T діб. На підставі цього дослідження можна дійти висновку про переваги чи недоліки перевезень зі швидкісними вантажними поїздами порівняно з перевезеннями зі звичайними вантажними поїздами.

При вирішенні завдань подібного роду необхідно враховувати, що при збільшенні кількості сервісів (у нашому випадку поїздів) буде збільшуватись також кількість сервісів (поїздів), не зайнятих роботою. Ця кількість характеризується так званим відсотком простою сервісів (відсотком простою засобів обслуговування) X . Його можна обчислити так. Позначимо через \bar{c} середню кількість сервісів, що працюють. Тоді відсоток простою засобів обслуговування можна розрахувати за формулою

$$X = \frac{c - \bar{c}}{c} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Середню кількість сервісів, що працюють, визначимо як різницю між середньою кількістю заявок, що

знаходяться в системі, L_s і середньою кількістю заявок у черзі L_q , тобто

$$\bar{c} = L_s - L_q. \quad (2)$$

Середня кількість заявок, що знаходяться в системі, L_s розраховується за формулою

$$L_s = L_q + \rho, \text{ де } \rho = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (3)$$

Отже, отримуємо формулу для обчислення відсотка простою засобів обслуговування

$$X = \left(1 - \frac{\lambda}{c\mu}\right) \cdot 100\%. \quad (4)$$

Відповідно до цієї формули будемо проводити обчислення відсотка простою засобів обслуговування X .

Для вирішення поставленого завдання будемо варіювати кількість поїздів c в системі;

3) вивчення інтенсивності потоку обслуговування, необхідного для досягнення заздалегідь заданої середньої тривалості перебування заявки в СМО, тобто вивчення швидкості вантажного руху, необхідної для досягнення заздалегідь заданого середнього часу перебування вантажів при перевезенні.

Знов припустимо, що ми хочемо зменшити середню тривалість перебування заявки в СМО до T діб. Визначимо, якою має бути інтенсивність потоку обслуговувань μ для досягнення цієї мети.

Будемо вирішувати це завдання шляхом варіювання інтенсивності потоку обслуговувань μ за допомогою декількох ітерацій. Обчислення проводяться на основі формули для середньої тривалості перебування заявки в СМО

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda}, \quad (5)$$

де L_s - середня кількість заявок, що знаходяться в системі,

$$L_s = L_q + \rho, \text{ де } \rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (6)$$

де L_q - середня кількість заявок у черзі,

$$L_q = \frac{\rho^{c+1}}{(c-1)!(c-\rho)^2} p_0, \quad (7)$$

де p_0 - імовірність того, що в СМО знаходиться 0 заявок,

$$p_0 = \left(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!} \left(\frac{1}{1 - \frac{\rho}{c}} \right) \right)^{-1}. \quad (8)$$

Вирішення завдання оптимізації вантажних перевезень за цією методикою дозволить зробити висновок про переваги або недоліки перевезень швидкісними вантажними поїздами порівняно зі звичайними вантажними поїздами.

У подальших дослідженнях планується вирішення поставлених математичних задач на конкретних значеннях для отримання залежностей і характеру змін показників при певних умовах.

Висновки. Аналіз зарубіжних методів обслуговування вантажних перевезень показав, що для підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту, якості послуг з доставки вантажів необхідно:

1. Розвивати транспортну інфраструктуру з будівництвом сучасних автоматизованих і механізованих вантажних терміналів для узгодженої взаємодії видів транспорту, а також

вантажно-розвантажувальні потужності з новітнім обладнанням.

2. Розвивати контейнерні перевезення та удосконалювати доставку «точно в строк» і «від дверей до дверей», що сприяє скороченню строків доставки контейнерів; розширювати номенклатуру вантажів, що перевозяться в контейнерах.

3. Організувати рух вантажних поїздів за розкладом; підвищення рівня маршрутизації дозволить прискорити доставку вагонів.

4. Впроваджувати нові типи рухомого складу, у тому числі такі, що здатні здійснювати перевезення з пасажирською швидкістю.

Запропоновано методику вирішення завдань оцінювання основних виробничих показників вантажних перевезень, що виникають при переході від звичайних до швидкісних перевезень, таких як середня швидкість руху вантажу в дорозі, середній час очікування навантаження, середня кількість поїздів, що простоюють, і таке

інше. Основним математичним інструментом побудованої методики є методи математичної теорії масового обслуговування.

Розглянута методика дає змогу:

- проводити порівняння змін характеристик обслуговування вантажних перевезень при переході від звичайних до швидкісних вантажних перевезень;

- вивчати залежність кількості вантажних поїздів і відсотка простою засобів обслуговування від швидкості руху і визначати кількість вантажних поїздів, необхідну для досягнення середнього часу перевезення вантажів;

- вивчати залежність швидкості руху, необхідної для досягнення заздалегідь заданого відсотка простою вантажних поїздів.

Отже, з вирішенням завдання оптимізації вантажних перевезень за цією методикою можна дійти висновку про переваги або недоліки перевезень швидкісними вантажними поїздами порівняно зі звичайними вантажними поїздами.

Список використаних джерел

1. Payne Robert. Frankfurt Airport pioneering intermodal air-rail development. *Japan railway and transport review*. 19, March, 1999. P. 31-35. URL: http://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr19/pdf/F31_Payne.pdf (дата звернення: 14.09.22 р.).

2. Укрзалізниця та міжнародна логістична компанія DHL Global Forwarding розвиватимуть контейнерні залізничні перевезення з Китаю до Європи / Укрінформ: Мультимедійна платформа іномовлення України. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3144686-ukrzaliznica-ta-dhl-rozvivatimut-vantazni-perevezenna-z-kitau-do-evropi.html> (дата звернення: 20.09.2022 р.).

3. «Ліски» Едвін Берзінш – про розвиток контейнерних перевезень на УЗ та нові транзитні напрямки. URL: <https://mintrans.news/zhd/kerivnik-liski-edvin-berzinsh-pro-rozvitok-konteinernikh-perevezen-na-uz-ta-novi-tranzitni-napryamki> (дата звернення: 12.11.22 р.).

4. Контейнерні перевезення та ринок термінальних послуг на залізниці України – що має змінитися? URL: <https://railexpoua.com/novyyny/pro-rynok-terminalnykh-posluh-na-zaliznytsi-ukrainy/> (дата звернення: 14.11.22 р.).

5. Railways role in intermodality and the digitalization of transport documents. URL: https://unece.org/DAM/trans/main/wp24/ECE_TRANS_262_E_Web_Optimized.pdf (дата звернення: 15.10.22 р.).

6. Dongping Song. A Literature Review, Container Shipping Supply Chain: Planning Problems and Research Opportunities. *Logistics*. 2021. 5 (2). P. 41-41. URL: https://livrepository.liverpool.ac.uk/3127602/1/Logistics-2021_05-00041_CSSC_literature_review.pdf (дата звернення: 15.10.22 р.).

7. Ying Xie, Dong-Ping Song. Optimal planning for container prestaging, discharging, and loading processes at seaport rail terminals with uncertainty. *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review*. November 2018. P. 88-109. URL: <https://daneshyari.com/article/preview/11011933.pdf> (дата звернення: 14.11.22 р.).

8. Dong C., Akram A., Andersson D., Arnäs P.-O., Stefansson G. The impact of emerging and disruptive technologies on freight transportation in the digital era: current state and future trends. *International Journal of Logistics Management*. 2. 2021. P. 386-412. URL: <https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2020-0043> (дата звернення: 19.11.22 р.).

Кравець Анна Леонідівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (098) 2100423. E-mail: docent.kravets.uvkr@kart.edu.ua. ORCID ID: 0000-0003-1165-1960.

Кравець Андрій Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (050) 5039823. E-mail: kravets_am@ukr.net. ORCID iD: 0000-0002-3251-6576.

Шапатіна Ольга Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (066) 8124889. E-mail: shapatina.uvkr@kart.edu.ua. ORCID ID: 0000-0002-9185-6212.

Kravets Anna Leonidivna, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Management of Freight and Commercial Work, Ukrainian state university of railway transport. Тел.: +38 (098) 2100423. E-mail: docent.kravets.uvkr@kart.edu.ua. ORCID ID: 0000-0003-1165-1960.

Kravets Andrii, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. Тел.: +38 (050) 5039823. E-mail: kravets_am@ukr.net. ORCID iD: 0000-0002-3251-6576.

Shapatina Olha Oleksandrivna, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Management of Freight and Commercial Work, Ukrainian state university of railway transport. Тел.: +38 (066) 8124889. E-mail: shapatina.uvkr@kart.edu.ua. ORCID ID: 0000-0002-9185-6212.

Статтю прийнято 28.11.2022 р.