

ТРАНСПОРТ

УДК 656.6:616-036

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.3.2/22>

Берестенко В.В.

Одеський національний морський університет

КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ТА ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Мультимодальні перевезення є окремим сегментом контейнерних перевезень, маючи певну специфіку з точки зору організації та відповідальності мультимодального оператора (організатора та постачальника послуги «мультимодальне перевезення»). Це, з одного боку, визначає додаткові ризики комерційного характеру, які пов'язані з множиною учасників процесу транспортування, з іншого боку, дає оператору широкі можливості інтегральної організації множини мультимодальних перевезень у межах єдиної системи, забезпечуючи ефект синергізму.

В даному дослідженні розроблена концепція формування оптимальних маршрутів та параметрів системи мультимодальних перевезень для забезпечення їх дворівневої ефективності – на рівні конкретного перевезення та на рівні компанії-оператора. Дана концепція базується на ефекті масштабу та зменшення вартості перевезення, перевалки одного контейнера, якщо збільшується розмір партії контейнерів, що, власне, ї є можливим для компанії мультимодального оператора. Таким чином, вибір маршруту та параметрів доставки (часу, вартості, надійності) має здійснюватися в рамках інтегрованої оптимізаційної моделі, яка на рівні критерію оптимізації має враховувати ефективність для оператора – синергетичний ефект, а для вантажовідправників на рівні системи обмежень враховувати усі вимоги щодо мультимодального перевезення.

Використання запропонованого підходу забезпечить з одного боку – врахування вимог вантажовідправників, з іншого боку – комерційні інтереси мультимодального оператора.

Ключові слова: мультимодальні перевезення, морський транспорт, вантажні перевезення, організація, транспортні послуги, маршрути, синергетичний ефект, ефективність.

Постановка проблеми. Контейнерні перевезення є значним сегментом у загальному обсязі перевезень різних видів вантажів, а їхня специфіка передбачає використання широкого кола технологічних, інформаційних, комерційних та організаційних можливостей [1], які сьогодні надає сучасний транспортний ринок та транспортні технології. Мультимодальні перевезення є окремим сегментом контейнерних перевезень, маючи певну специфіку з точки зору організації та відповідальності мультимодального оператора (організатора та постачальника послуги «мультимодальне перевезення»). Це, з одного боку, визначає додаткові ризики комерційного характеру, які пов'язані з множиною учасників процесу транспортування, з іншого боку, дає оператору широкі можливості інтегральної організації множини мультимодальних перевезень у межах єдиної системи, забезпечуючи ефект синергізму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оптимізація схем і маршрутів перевезень

є класичними завданнями для транспортної науки, розв'язання яких пов'язані з так званими моделями «транспортних задач» (одно- та багатоступінчаними), а також з моделями транспортних задач у мережній постановці. Зазначимо, що результатом оптимізації є схеми/маршрути перевезення та обсяги перевезень між пунктами.

За багаторічну історію використання даних моделей їх розвиток полягав насамперед у деталізації параметрів управління (змінних), врахуванні додаткових умов як обмежень, а також у використанні нових критеріїв оптимізації. Так, класичним критерієм для транспортних завдань є «сумарні витрати» [2], проте, у деяких ситуаціях кращим критерієм є «час» [3]. Розвиток принципів логістики зумовив введення в подібні моделі в якості критеріїв або обмежень такі показники як «якість», «надійність», «ризик» [4–8]. Остання характеристика пов'язана з імовірнісною природою транспортних процесів [4], що проявляється, перш за все, у можливих відхиленнях часу доставки.

З'являються методи інтегрального оцінювання різних маршрутів доставки [9; 10] з урахуванням системи критеріїв та відповідних ваг, що використовується самостійно як метод відбору кращого варіанту, або в рамках згаданих раніше моделей в якості критерію оптимізації. Деталізація параметрів управління важлива під час розгляду контейнерних перевезень, прикладом чого може бути робота [11; 12].

У деяких практичних ситуаціях з'являється не лише альтернативність проміжних пунктів доставки вантажів, а й постачальників окремих видів послуг, що відповідають транспортно-технологічному процесу – наприклад, перевалка на різних терміналах одного порту, або перевезення різними перевізниками, що впливає на витрати та час доставки, а також якість (надійність). У [13–15] запропонована модель на вибір варіанта доставки в таких умовах. Таким чином, маршрут/схема та склад учасників формуються як система доставки в рамках однієї моделі.

Мультимодальні перевезення передбачають «маршрут доставки» як своєрідний «продукт» для вантажовласника, з конкретними характеристиками – вартість, час і т.д., що надає можливість вантажовласникам шукати компроміс за системою критеріїв залежно від конкретних умов – «пожертвувати часом» заради «вартості», або мінімізувати ризик затримки з урахуванням ухвалення вищої вартості доставки тощо. Пошук найкращих варіантів доставки базується на сучасних інформаційних технологіях, і, зокрема, у [9] розглядалися питання автоматизації вибору та коригування мультимодальних перевезень у режимі реального часу на базі інтегрального критерію, у [16] оптимізація мультимодального перевезення розглядалась для швидкопсувних вантажів.

Крім того, інтеграція вантажопотоків/контейнеропотоків дає можливість організаторам доставки (операторів) забезпечувати ефект синергізму, за рахунок чого, в результаті, встановлювати більш конкурентоспроможні ціни. Зокрема, така ідея та оцінка одержуваного синергетичного ефекту були представлені у [17], де ефект формувався з допомогою збільшення обсягу вантажу, що перевозиться, і, відповідного зниження вартості перевезення і перевалки, в [13] ця ідея була поширена на постачальників транспортних послуг у межах інтегрального розгляду множини доставок при проектно-орієнтованому розгляді, а синергетичний ефект встановлено як критерій оптимізації.

Таким чином, розвиток транспортного ринку та відповідного інформаційного транспортного

простору дають можливість інтегрального розгляду різних мультимодальних перевезень конкретного мультимодального оператора та оптимізації їх у рамках єдиної системи. Результати, які представлені в [13; 17], можуть бути узагальнені та поширені на мультимодальні перевезення з урахуванням можливих відхилень часу [4], що може розглядатися як коригування для критерію оптимізації або обмеження, а також можливості використання «області компромісів» [18], забезпечуючи баланс інтересів оператора та вантажовласників. Такий підхід дозволить розробити інструмент для роботи мультимодального оператора, спрямований на отримання синергетичного ефекту і підвищення ефективності мультимодальних перевезень.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є розробка концепції оптимізації маршрутів та параметрів системи мультимодальних перевезень для забезпечення їх дворівневої ефективності – на рівні конкретного перевезення та на рівні компанії-оператора.

Виклад основного матеріалу. Згідно з викладеним у [18], в рамках області компромісу, мультимодальний оператор має можливість «варіювати» варіантами мультимодального перевезення з метою пошуку компромісного варіанту, що забезпечує ефективність як для клієнта (відправника вантажу), так і для себе. Значимо, що «ефективність» мультимодального перевезення не обов'язково означає мінімальний за вартістю варіант. У сьогоденних умовах, «ефективність» для відправника вантажу означає, перш за все, виконання всіх вимог до перевезення, в якості яких можуть виступати набори: вартість R , час T , надійність I . Таким чином, дотримання часу доставки (як варіант оцінки «надійності») може характеризувати ефективність з погляду відправника вантажу. Для мультимодального оператора ефективність розуміється у економічному сенсі – отримання максимального прибутку. Отже, традиційно узагальнений опис моделі вибору оптимального варіанту доставки (при однокритеріальному підході):

$$R \rightarrow \min(T \rightarrow \min, I \rightarrow \max) \quad (1)$$

$$T \leq T^*, R \leq R^*, I \geq I^*,$$

де T^* , R^* , I^* – межі часу, вартості та надійності, що задаються вантажовласником.

З точки зору балансу інтересів вантажовласника та мультимодального оператора важливим є ще додаткові характеристики доставки ΔT^* , ΔR^* , ΔI^* – допустиме збільшення часу та/або

витрат на доставку, а також допустиме зменшення надійності доставки.

Таким чином, кожному вантажовідправнику відповідає набір умов:

$$G_i = \langle T_i^s, T_i^*, \Delta T_i^*, R_i^*, \Delta R_i^*, I_i^* \rangle, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де i – індекс вантажовідправника, n – загальна кількість замовлень (відправлень) в рамках певного періоду часу, T_i^s – готовність вантажу к відправленню, T_i^* , ΔT_i^* – відповідно, вимоги щодо часу доставки та можливе збільшення цього часу, R_i^* , ΔR_i^* – відповідно вимоги щодо обмеження вартості доставки та можливе її збільшення, I_i^* – якісна характеристика доставки (наприклад, надійність). Оцінювання I_i^* є окремою задачею дослідження, тому у даній роботі приймаємо це як ще одну умову (вимогу) до мультимодального перевезення без конкретизації сутності. Це може бути, наприклад, ймовірнісна характеристика, що розглядалась у [4]. Більш того, набір (2) можна розширити, додаючи ще умови. Слід зазначити, що у [13; 18] пропонувалось вимоги до перевезень (транспортування) встановлювати в рамках agile-підходу шляхом інтерактивного підходу.

На практиці більшість вантажовласників допускають збільшення і часу, і витрат, тому завданням фахівців, які обслуговують заявку, є виявити їх межі у процесі реалізації, наприклад, agile підходу в організації діяльності мультимодального оператора. Крім того, час готовності вантажу до відправлення T_i^s також може бути відкоригований на величину ΔT_i^s – наприклад, у ситуації, коли вантажовласнику пропонується такий рівень тарифу, при якому він готовий «прискорити» процес готовності вантажу до відправки. Звичайно, це не завжди є можливим. Можливість варіювання часом та вартістю доставки (моментом готовності вантажу до відправки) формує область компромісу, в якій, власне, і встановлюється баланс інтересів сторін – вантажовласника та мультимодального оператора. Отже, вантажовласник, з одного боку, висуває певні вимоги до доставки. З іншого боку, мультимодальний оператор з урахуванням попиту на перевезення, можливостями різних перевізників та їх тарифними політиками формує варіанти, які можуть не цілком «вписуватись» у задані умови. Вантажовласник, як правило, готовий відкоригувати свої початкові вимоги з урахуванням допустимих збільшення або зменшення. Наприклад, «пожертвувати» часом та надійністю доставки, але забезпечити певний рівень витрат на доставку.

Слід зазначити, що інтереси мультимодального оператора пов'язані з наявністю певної системи тарифів на перевезення. Так, перевізники надають спеціальний рівень тарифів для компаній з більшими обсягами перевезень, що дає оператору можливість забезпечувати таку вартість перевезення на конкретній ділянці, яка не є доступною для окремого вантажовласника. Таким чином, ефект масштабу, що проявляється вказаним чином, формує «інтерес» оператора до певного перевізника. Тому за «балансування» інтересів сторін цей фактор, безумовно, враховується. Наявність гнучкої цінової політики у постачальників великих компаній забезпечує ефект синергізму, який має бути основою підвищення ефективності своєї діяльності. Таким чином, мультимодальний оператор повинен оцінювати наявність цього ефекту в процесі досягнення балансу з власниками вантажу.

На рис.1 представлена схема концепції формування синергетичного ефекту для мультимодального оператора.

В основі синергізму, який формується при роботі мультимодального оператора, як уже зазначалося, гнучкість тарифної політики перевізників, а також інших задіяних у перевезенні учасників (наприклад, портових терміналів), що дозволяє забезпечити:

$$R(\sum_{i=1}^n Q_i) < \sum_{i=1}^n R(Q_i), \quad (3)$$

де $R(\sum_{i=1}^n Q_i)$ – це витрати оператора на перевезення сумарної кількості контейнерів (TEU), $R(Q_i)$ – це витрати на перевезення, які ніс би кожен вантажовласник на перевезення своєї кількості контейнерів Q_i . Різниця між двома частинами нерівності (3) і є ефектом синергізму E_{syn} :

$$E_{syn} = \sum_{i=1}^n R(Q_i) - R(\sum_{i=1}^n Q_i). \quad (4)$$

При цьому оператор, в рамках балансування інтересів з вантажовласниками, забезпечує для кожного з них виконання умов за часом, витратами, надійністю та часом готовності вантажу до перевезення з урахуванням можливостей щодо їх зміни, n – загальна кількість заявок вантажовласників, що розглядаються в поточний момент часу:

$$\begin{aligned} T_i &\leq T_i^* + \Delta T_i^*; \\ R_i &\leq R_i^* + \Delta R_i^*; \\ I_i &\geq I_i^* - \Delta I_i^*; \\ T_i^{s*} - T_i^{s*} &\leq T_i^s \leq T_i^{s*} + T_i^{s*}; \\ i &= \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (5)$$

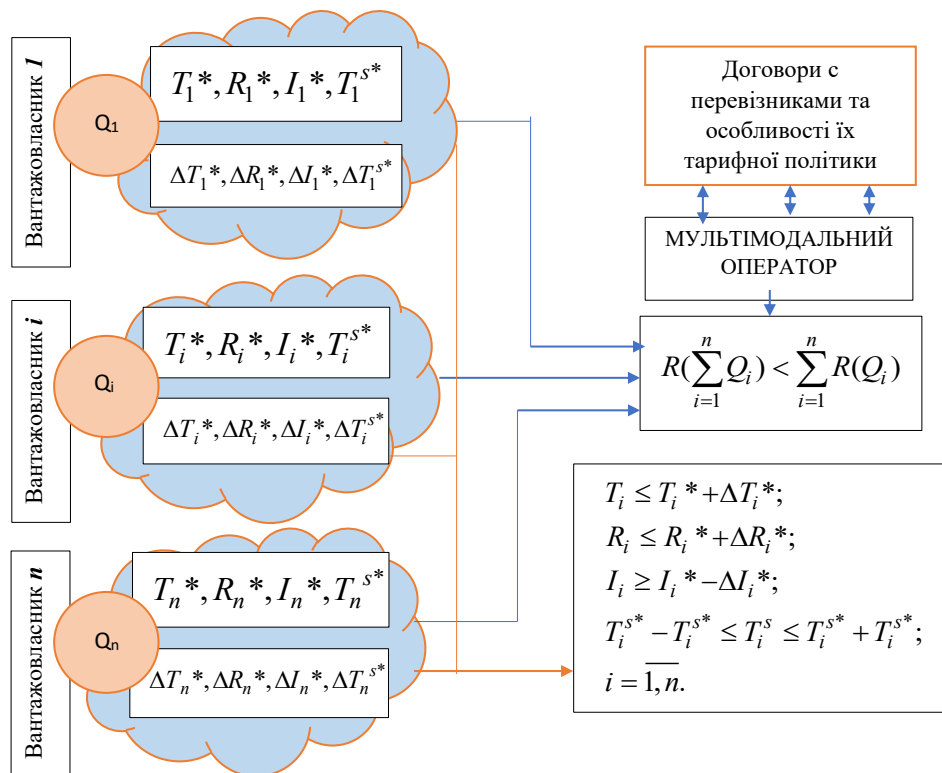


Рис. 1. Врахування синергізму на базі ефекту масштабу при балансуванні інтересів вантажовласників та мультимодального оператора

Слід зазначити, що витрати на доставку, звичайно, залежать від часу та надійності, тому фактично: $R_i(Q_i, T_i, I_i), i = \overline{1, n}$. Тому пошук компромісних рішень та балансування інтересів сторін мають здійснюватися з урахуванням такого впливу (залежності).

Концепція, що представлена, є основою для розробки відповідної математичної моделі, яка дозволить визначати маршрути та параметри мультимодальних перевезень з урахуванням формування синергетичного ефекту для мультимодального оператора. Це є продовженням даного дослідження.

Висновки. В даному дослідженні розроблена концепція формування оптимальних маршрутів та параметрів системи мультимодальних перевезень для забезпечення їх дворівневої ефективності – на рівні конкретного перевезення та на

рівні компанії-оператора. Дана концепція базується на ефекті масштабу та зменшення вартості перевезення, перевалки одного контейнера, якщо збільшується розмір партії контейнерів, що, власне, і є можливим для компанії мультимодального оператора. Таким чином, вибір маршруту та параметрів доставки (часу, вартості, надійності) має здійснюватися в рамках інтегрованої оптимізаційної моделі, яка на рівні критерію оптимізації має враховувати ефективність для оператора – синергетичний ефект, а для вантажовідправників на рівні системи обмежень враховувати усі вимоги щодо мультимодального перевезення.

Використання пропонованого підходу забезпечить з одного боку – врахування вимог вантажовідправників, з іншого боку – комерційні інтереси мультимодального оператора.

Список літератури:

1. Бондаренко Ю. А., Онищенко С. П. Структура та невизначеність контейнеропотоків у системі морських перевезень. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, Серія: Технічні науки*. 2024. Том 35 (74). № 1. С. 139–146. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.1.2/23
2. Коскіна, Ю. О. Формалізація процесу організації системи доставки вантажів. *Наукові технології*. 2020. № 45 (1). С. 111–117. DOI: 10.18372/2310-5461.45.14582
3. Онищенко, С. П., Коскіна, Ю. О. Сутність, специфіка і формування систем доставки вантажів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 3. С. 86–95. DOI: 10.31649/1997-9266-2019-144-3-86-95
4. Берестенко В., Онищенко С. Ймовірнісні характеристики мультимодальної доставки. *Розвиток транспорту*. 2021. № 1 (12). С. 118–128 DOI: 10.33082/td.2022.1-12.10

5. Rusanova S., Onyshchenko S. Development of transport and technological process options' concept for goods delivery with participation of maritime transport. *Technology audit and production reserves*. 2020. Т. 1. № 2 (51). P. 24–29. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.198373
6. Берестенко В., Онищенко С. Структура та характеристики мультимодальної доставки з позиції цифровізації. *Розвиток транспорту*. 2021. № 4 (11). С. 82–93. DOI: 10.33082/td.2021.4-11.08
7. Pavlova N., Onyshchenko, S. Development and Research of a Model for Optimizing the Composition of a Project–Oriented Forwarding Company'Suppliers. *Technology audit and production reserves*. 2021. № 1 (2). P. 57. DOI: 10.15587/2706–5448.2021.225521
8. Onyshchenko S., Vyshnevskya O., & Vyshnevskiy D. Justification of the optimal option and transportation parameters for export supplies using marine transport. *Technology Audit and Production Reserves*. 2023. Vol. 2 (2(70)). P. 34–39. DOI: 10.15587/2706-5448.2023.277804
9. Kichkina, Olena & Kichkin, Oleksiy. Automation of the construction, comparison and selection of delivery routes and schemes in the multimodal transportation system. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*. 2024. 18. 73–79. DOI: 10.31649/2413-4503-2023-18-2-73-79.
10. Шраменко Н. Ю., Орда О.О. Формування альтернативних варіантів транспортно-експедиторського обслуговування вантажовласників під час інтермодальних перевезень. *Автомобільний транспорт*. 2015. Вип. 37. С. 70–77.
11. Король В. Ю. Обґрунтування маршрутів доставки вантажів при транспортно-експедиторському обслуговуванні контейнеропотоків. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2018. Вип. 2 (55). С. 82–95.
12. Korol, V. Justification of container using in the design of cargo delivery system, *Transport systems and technologies*, 2018. № 2 (32). P. 175–187. DOI: 10.32703/2617-9040-2018-32-2-175-187.
13. Pavlova N., Onyshchenko, S. Development and Research of a Model for Optimizing the Composition of a Project-Oriented Forwarding Company'Suppliers. *Technology audit and production reserves*. 2021. № 1 (2). P. 57. DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225521
14. Pavlova, N., Onyshchenko, S., Obranova, A., Chebanova, T., Andriievskya, V. Creating the Agile Model to Manage the Activities of Project Oriented Transport Companies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. № 1 (3). P. 109. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225529
15. Павлова Н.Л., Онищенко С.П. Організація проєктно–орієнтованого управління транспортною компанією (на прикладі транспортно–експедиторської компанії). *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 42. С. 23–28. DOI: 10.32347/2412–9933.2020.42.23–28
16. Anufriyeva, T., Matsiuk, V., Shramenko, N., Ilchenko, N., Pryimuk, O., & Lebid, V. Construction of a simulation model for the transportation of perishable goods along variable routes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 122 (4). DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277948
17. Смирковська В.Ю. Методичні основи організації доставки вантажів з використанням засобів укрупнення : автореферат дис. ... к.т.н. : 05.22.01 Транспортні системи, Одеса, 2008. С. 17.
18. Berestenko, V., Onyshchenko S. Defining compromise area in the processes of multimodal delivery organization within the agile approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. № 1 (3 (127)). P. 78–86. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298846

Berestenko V.V. OPTIMIZATION CONCEPT OF ROUTES AND PARAMETERS MULTIMODAL TRANSPORTATION SYSTEM

Multimodal transportation is a separate segment of container transportation, having certain specifics from the organization and responsibility of the multimodal operator point of view (the organizer and provider of the “multimodal transportation” service). This, on the one hand, defines additional commercial nature risks, which are associated with participants in the transportation process, on the other hand, it gives the operator ample opportunities for the integrated organization of a multimodal transportations within a single system, ensuring the effect of synergy.

In this study, the concept of forming optimal routes and parameters of the multimodal transportation system was developed to ensure their two-level efficiency – at the level of specific transportation and at the level of the operator company. This concept is based on the effect of scale and reduction of the cost of transportation, transshipment of one container, if the quantity of containers increases, which is actually possible for the multimodal operator. Thus, the selection of the route and delivery parameters (time, cost, reliability) should be carried out within the framework of an integrated optimization model, which at the level of the optimization criterion should take into account the efficiency for the operator – the synergistic effect, and for the shippers at the level of the constraint system, taking into account all the requirements for multimodal transportation.

The use of the proposed approach will ensure, on the one hand, that the requirements of the shippers are taken into account, and on the other hand, the commercial interests of the multimodal operator.

Key words: *multimodal transportation, sea transport, freight transportation, organization, transport services, routes, synergistic effect, efficiency.*