

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.223:502.5

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.120

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ В УКРАЇНІ

Примаченко Г. О.¹, Шкуренко О. В.², Будник В. А.², Корнійко Я. Р.², Тарасов К. О.¹¹ Український державний університет залізничного транспорту² Державний університет інфраструктури та технологій

Анотація. У статті проаналізовано стан і причини затримок пасажирських поїздів на прикордонному переході Мостиська-2, через який прямують найбільші залізничні пасажирські потоки між Україною та країнами Європейського Союзу. На основі проведеного аналізу виявлено залежність часу затримки поїзда на прикордонній станції від кількості пасажирів у поїзді, та з метою зменшення тривалості таких затримок запропоновано вдосконалення наявної технології розрахунку часу слідування пасажирського поїзда шляхом впровадження та використання величини, яка відповідає часу затримки поїзда на прикордонній станції на одного пасажирів. Упровадження та інтеграція запропонованої технології в математичні моделі формування раціонально узгодженого графіка руху на мультимодальному пасажирському маршруті в подальшому дасть змогу значно скоротити час очікування пасажирів в пунктах пересадки, раціоналізувати місткість і населеність рухомого складу й збільшити фінансовий прибуток перевізників. Крім того, зазначена технологія може бути запроваджена для розвитку ІТ-системи мультимодальних пасажирських перевезень й для застосування технології «єдиного квитка».

Ключові слова: мультимодальні перевезення, пасажирські перевезення, логістика пасажирських перевезень, міжнародні перевезення.

Вступ

Пасажирські перевезення завжди мали важливе значення для економічного й логістичного розвитку України. Не є винятком і сучасні умови, коли через початок повномасштабного військового вторгнення до нашої країни, пасажирський транспорт взяв на себе відповідальність за вчасну евакуацію людей та їх безпечне переміщення в інші регіони країни або за кордон. Однак ефективне виконання цього завдання не є можливим без узгодженості між видами транспорту, які в цьому задіяні.

Актуальність теми

Через події після 24 лютого 2022 р. загальна транспортна система України зазнала суттєвих змін, зокрема й система організації пасажирських перевезень. Незважаючи на те, що види сполучень (міжнародне, далеке, регіональне, приміське, Intercity) залишилися такими самими, як і в довоєнний період, суттєво змінилася логістика, обсяги пасажиропотоків та особливості їх пропуску. Також залишився незмінним курс щодо надання сучасних сервісних послуг пасажирів, створення єдиного інформаційного середовища, узгодження графіка руху транспортних засобів і продаж єдиних проїзних документів.

Україна має досить складну транспортну мережу, тому неузгодженість роботи перевізників під час пересадки з одного виду транспорту на інший може створювати для пасажирів значні незручності. Оформлення проїзних документів, складність прийому багажу та його переміщення між транспортними засобами, більш ретельна перевірка документів та багажу працівниками силових структур на прикордонних переходах і в пунктах пересадки призводять до збільшення витрат часу на поїздку. З іншого боку, забезпечення попиту на деякі основні напрямки перевезення може бути лише за рахунок використання декількох видів транспорту, тому існує необхідність у покращенні наявної логістичної технології мультимодального пасажирського перевезення.

Аналіз публікацій

Удосконалення технології мультимодальних залізничних пасажирських перевезень є об'єктом вивчення для багатьох учених, зокрема вітчизняних і закордонних. Результати їхніх досліджень висвітлені в значній кількості наукових праць. Так, автори роботи [2] провели узгодження графіка здійсненого в умовах транспортно-пересадкового вузла з

використанням моделювання пасажиропотоків у процесі взаємодії різних видів транспорту.

У науковій праці [3] наведено основні шляхи застосування технологій мультимодальних пасажирських перевезень в умовах експлуатації швидкісних залізничних магістралей і виявлено основні напрями розвитку процесів пересадки пасажирів у транспортних вузлах.

Дослідження технології мультимодальних перевезень між Україною та Польщею, а також обчислення економічного ефекту від її впровадження запропоновано науковцями в роботі [4]. А публікація [5] присвячена аналізу вже наявних моделей мультимодальних залізничних перевезень в європейських країнах.

Не залишилися без уваги й зарубіжні праці, у яких описана математична модель побудови альтернативних мультимодальних перевезень з урахуванням різних видів відмов системи пасажирських перевезень у Нідерландах [6], а також запропонована модель проведення евакуації з великих мультимодальних транспортних вузлів, що є також досить актуальним в умовах воєнного стану й активних бойових дій на території нашої країни.

Проте, незважаючи на значну кількість наукових праць із зазначеної теми, не є достатньо дослідженою проблема затримок поїздів на прикордонних станціях та їх подальший вплив на систему мультимодальних пасажирських перевезень.

Мета й постановка завдання

Метою цього дослідження є вдосконалення технології мультимодальних пасажирських перевезень в умовах воєнного стану. Досягнення зазначеної мети можливе за рахунок вирішення таких завдань:

- аналіз наявних величин і причин затримок поїздів на прикордонних пунктах пропуску;
- аналіз впливу затримок поїздів на наявну систему мультимодальних пасажирських перевезень;
- формалізація результатів цього аналізу та їх інтеграція в сучасну систему організації пасажиропотоків.

Основна частина дослідження

На жаль, 2022 р. став дуже важким для України, але попри це транспортна система нашої країни зуміла вистояти й показала досить позитивні кількісні та якісні результати з

урахуванням впливу всіх зовнішніх і внутрішніх факторів.

Як уже було сказано, 2022 р. став рекордним за кількістю перевезених пасажирів до країн Євросоюзу (рис. 1), до того ж, за даними автоматизованої системи керування пасажирськими перевезеннями акціонерного товариства «Українська залізниця» (АСК ПП УЗ), основним для міжнародних перевезень став Перемишлянський напрямок.

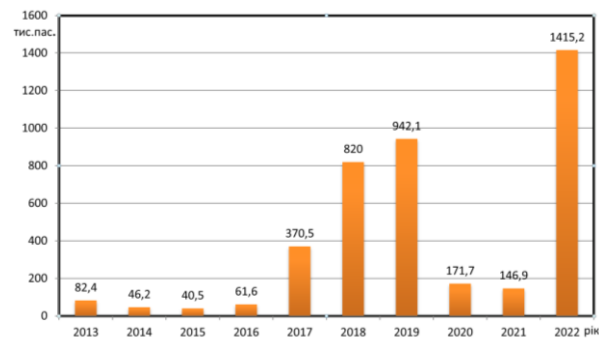


Рис. 1. Кількість перевезених пасажирів АТ «Укрзалізниця» до країн Євросоюзу за 2013–2022 рр. [1]

Станом на кінець 2022 р. загальна кількість міжнародних пасажирських поїздів формування АТ «Укрзалізниця» сягала 11 пар, з яких шість пар проходило через прикордонну станцію Мостиська-2, до того ж два з них мали категорію Intercity+. Візуалізація кількості пар міжнародних пасажирських залізничних поїздів формування АТ «Укрзалізниця» подана на рис. 2.

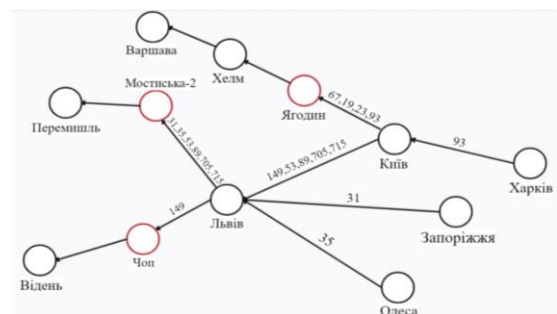


Рис. 2. Орієнтований граф напрямків формування пасажирських міжнародних поїздів формування АТ «Укрзалізниця»

Збільшення розмірів міграції населення, а відповідно й обсягів пасажирських перевезень має низку позитивних аспектів, одними з яких є безпосередньо збільшення прибутковості компанії, більш сильний поштовх до розвитку чинної системи міжнародного сполучення й впровадження новітніх технологій

для найбільшого задоволення потреб пасажирів.

Проте є й зворотний бік зазначеної тенденції. Через упровадження воєнного стану в нашій країні для забезпечення найкращого рівня безпеки значно збільшився час на оформлення документів та огляд багажу на прикордонних станціях. Наслідком цього є значні затримки поїздів, невиконання графіка руху, створення дискомфорту для пасажирів у межах збільшення тривалості поїздки й неможливості зручної пересадки на інший вид транспорту в певному транспортно-пересадковому вузлі (ТПВ).

Аналіз затримок пасажирських поїздів далекого сполучення, що належать філіям «Пасажирська компанія» (ПК) та «Українська залізнична швидкісна компанія» (УЗШК), на прикордонному переході Мостиська-2 за останні три місяці 2022 р. зображено на рис. 3–4.

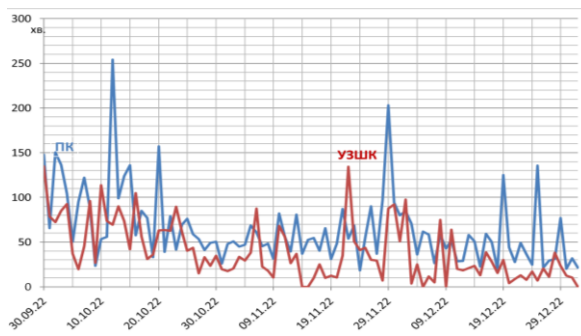


Рис. 3. Середні величини затримок поїздів на прикордонному переході Мостиська-2, що прямують з України

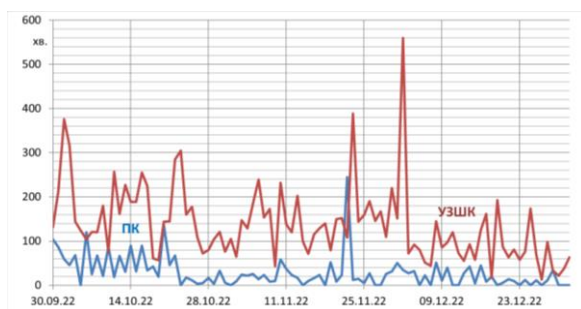


Рис. 4. Середні величини затримок поїздів, що прямують в Україну, на прикордонному переході Мостиська-2 відповідно

З рис. 3 чітко видно, що за обраний нами період майже немає днів, у які б не було жодної затримки, зокрема як для поїздів далекого сполучення, так і для поїздів категорії Intercity+. Середня величина затримок для поїздів далекого сполучення, що прямують з України, становить 65 хв, а для поїздів категорії Intercity+ – 40 хв.

У зворотному напрямку ці величини становлять відповідно 29 та 138 хв. Такі високі значення величини середньої затримки поїздів лише підтверджують наявність попередньо вказаної проблеми. Відсотковий аналіз причин затримок поїздів на прикордонній станції Мостиська-2 наведено на рис. 5.



Рис. 5. Основні причини затримок пасажирських поїздів на прикордонній станції Мостиська-2

Оскільки основною причиною затримок пасажирських поїздів на прикордонній станції є саме робота прикордонників та оформлення документів, то авторами цього дослідження зроблено припущення, що величина затримок може залежати від кількості пасажирів у поїзді. Перевірка зазначеного припущення була зроблена за допомогою графічного аналізу (рис. 6).

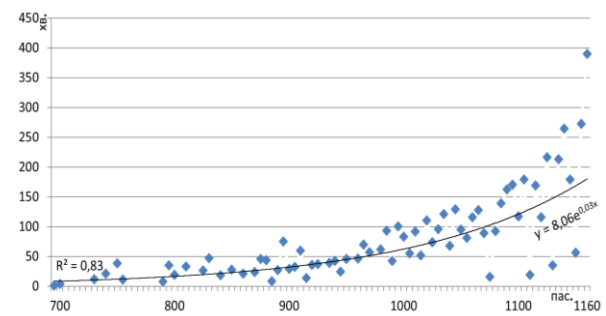


Рис. 6. Аналіз залежності часу затримки поїзда від кількості пасажирів

З отриманої діаграми досить чітко видно, що все ж таки існує залежність між часом затримки поїзда та кількістю пасажирів у ньому. Для інтерпретації цієї залежності за допомогою інструменту лінія тренду встановлено, що найбільш прийнятною є експоненційна функція, рівняння якої для заданих величин має вигляд:

$$y = 8,06e^{0,03x}. \quad (1)$$

Величина апроксимації в цьому разі становить 0,83, що свідчить про високий ступінь достовірності цієї функції.

Отже, у плануванні та організації пасажирських міжнародних мультимодальних перевезень у воєнний час для збільшення зручності слідування та пересадки пасажирів із залізничного на інший вид транспорту, варто брати до уваги отриману залежність. Тому авторами цієї статті запропоновано вдосконалення наявної технології розрахунку часу слідування пасажирського поїзда шляхом упрощення й використання величини F , що відповідає часу затримки поїзда на прикордонній станції на одного пасажирів й обчислюється за формулою:

$$F = \frac{\left(\frac{t_{\text{затр}1}}{N_1} + \frac{t_{\text{затр}2}}{N_2} + \dots + \frac{t_{\text{затр}k}}{N_k}\right)}{n_k}, \quad (2)$$

де N – кількість перевезених пасажирів за певний місяць, пас.; $t_{\text{затр}}$ – сумарний час затримок за певний місяць, пас.; n_k – кількість місяців обраних для дослідження (оскільки введення воєнного стану в країні та проведення бойових дій мають стохастичний вплив на кількість перевезених пасажирів, то бажано за розрахунковий період брати останні 3–4 місяці, тобто за період k).

Як відомо, час затримки поїздів безпосередньо впливає на їх загальний час слідування, тому використання запропонованої величини D найбільш доцільним буде для розрахунку загального часу в дорозі та складання розкладу руху поїздів. У формальному вигляді це виглядає таким чином:

$$t_{\text{чвд}} = \frac{L}{V_M}, \quad (3)$$

де $t_{\text{чвд}}$ – загальний час у дорозі міжнародного поїзда, хв; L – відстань між кінцевими станціями, км; V_M – маршрутна швидкість поїзда, км/год.

Зі свого боку, величина маршрутної швидкості обчислюється за формулою:

$$V_M = \frac{L_{\text{напр}}}{\frac{L_{\text{напр}}}{V_x} + \frac{\sum t_{\text{ст}} + \sum t_{\text{рз}}}{60}}, \quad (4)$$

де $L_{\text{напр}}$ – відстань між кінцевими станціями напрямку, що розглядається, км; $\sum t_{\text{ст}}$ – сумарний час стоянок поїзда, хв; $\sum t_{\text{рз}}$ – сумарний час на розгін та уповільнення, хв; V_x – ходова швидкість, км/год.

У цьому разі сумарний час стоянок поїзда розраховується за формулою:

$$\sum t_{\text{ст}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{ст}1} + t_{\text{ст}2} + \dots + t_{\text{ст}n}, \quad (5)$$

де $t_{\text{ст}}$ – час стоянки поїзда на проміжних станціях, хв; $t_{\text{пр}}$ – час стоянки поїзда на прикордонній станції, хв.

Відповідно час стоянки поїзда на прикордонній станції з урахуванням величини F обчислюється за формулою:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{оформ}} + F * N_{\text{прогноз}}, \quad (6)$$

де $t_{\text{оформ}}$ – закладений технічним нормуванням час на проходження митних операцій поїздом на прикордонній станції, хв; F – запропонована величина затримки поїзда, хв/пас.; $N_{\text{прогноз}}$ – прогнозована кількість пасажирів на наступний місяць (може визначатися за допомогою раніше запропонованого методу нейронних мереж [8] або іншого методу прогнозування), пас.

Варто зазначити, що впровадження технології розрахунку часу слідування пасажирського поїзда на основі використання величини F може значно покращити якість перевезень пасажирів і зменшити час очікування під час пересадки та зменшити кількість незручностей, викликаних цим. Проте, для того щоб ефект від цієї технології був кращим, існує необхідність інтегрування її до вже наявних математичних моделей, пов'язаних із формуванням раціонально узгодженого графіка мультимодального пасажирського перевезення. Однією з таких є математична модель, запропонована дослідниками в роботі [9]. Однак на момент публікації цієї наукової праці в країні ще не діяв воєнний стан і передбачені ним обмеження, тому існує необхідність у незначному коригуванні щодо часу прибуття й відправлення зі станції пересадки. Цей час не має потрапляти в період, що відповідає комендантській годині, а також за 30 хв до її початку й після завершення.

У формальному вигляді цільова функція та система обмежень цієї моделі описується таким чином:

$$\begin{aligned} & F(A_{k,i} D_{k,j} \tau_{i,j,k}) = \\ & = \sum_i^R \sum_j^R M_{i,j} \sum_k^K \mu_k \tau_{ijk} \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{cases} A_{k,i} \geq 0, D_{k,j} \geq 0, T_{max,i} \geq D_{k,j} - A_{k,i} > 0, \\ i, j \in [1, R], k \in [1, K], \forall M_{i,j} \geq 0 \Rightarrow i \neq j, \\ A_{k,i} + \tau_{i,j,k} \leq D_{k,j}, \\ \tau_{i,j,k} \in [T_{min,i}, T_{max,i}], \sum_k \mu_k = 1, \\ T_{кін. кг.} + 30 \leq A_{k,i}, D_{k,j} \leq T_{поч. кг.} - 30 \end{cases} \quad (8)$$

де $A_{k,i}$ – значення часу прибуття до станції пересадки кожного транспортного засобу k з маршруту прямування i ; $D_{k,j}$ – значення часу відправлення транспортного засобу зі станції пересадки на маршрут прямування j ; $M_{i,j}$ – елемент матриці пасажиропотоку пересадок з i -го на j -й маршрут прямування; τ_{ijk} – директивна тривалість операції з пересадки пасажирів у вузлі між транспортними засобами i -го та j -го маршрутів, яка обмежена мінімальним технологічним інтервалом $T_{min,i}$ (тривалістю пересадки пасажирів) і максимальною тривалістю оброблення $T_{max,i}$, що пов’язана з надходженням наступного транспортного засобу, хв; K – кількість поїздів (автобусів), що заплановано на маршруті; R – кількість можливих маршрутів прямування; μ_k – показник відносної «ваги» кожної категорії транспортних засобів (поїздів або автобусів); $T_{поч. кг.}$, $T_{кін. кг.}$ – відповідно час початку й кінця комендантської години.

Задачу (7)–(8) також запропоновано вирішити за допомогою теорії розкладів як задачу мінімізації цільової функції зваженого числа запізнених вимог [10].

Полігоном для випробування моделі взято один із найбільших транспортно-пересадкових вузлів України «Київ-Пасажирський», в якому задіяні міжнародні та внутрішні поїзди далекого сполучення, приміські поїзди, міські електропоїзди й автобуси, що прямують із привокзальної автостанції. Відкоригований графік мультимодального пасажирського перевезення для міжнародних поїздів зображено на рис. 7.

Показником ефективності мультимодального перевезення пасажирів, також як і в роботі [9], можуть бути повні витрати пасажирів з урахуванням загального часу поїздки, T :

$$T = 2t_{пк} + \sum_i \frac{60L_{i,j}}{v_{m,i}} + \tau_{ij} + \frac{1}{2} \left[I_p + \frac{\sigma_p^2}{I_p} \right], \quad (9)$$

де $t_{пк}$ – час, що характеризує доступність ТПВ на початку поїздки та в процесі її завершення. Досвід розвинутих країн показує, що ТПВ має задовільну доступність, якщо з 75 % пунктів у великому місті можливо досягти ТПВ за хв; L_{ij} – відстань поїздки пасажирів кожним видом

транспорту i -го та j -го маршрутів, км; V_m – маршрутна швидкість перевезень i -м транспортом на заданому напрямку, км/год; τ_{ij} – директивна тривалість операції з пересадки пасажирів у вузлі між транспортними засобами, хв; I_p – середній інтервал руху між транспортними засобами, хв; σ_p^2 – дисперсія інтервалу руху транспорту.

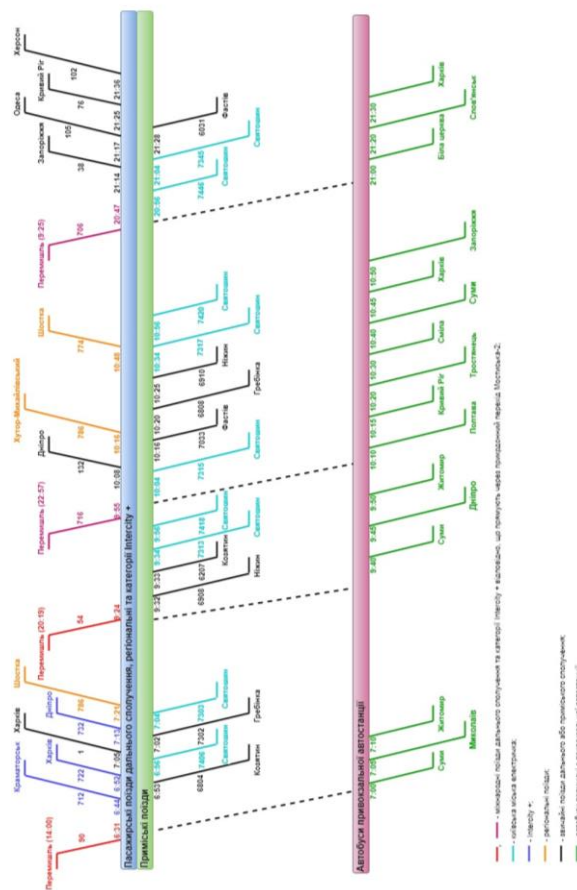


Рис. 7. Модель узгодженого графіка прибуття міжнародних пасажирських поїздів, що прямують через прикордонний перехід Могиська-2 на ТПВ «Київ-Пасажирський» (власна розробка)

Водночас інформацію для розроблення й аналізу варіантів взаємодії між різними категоріями поїздів і автобусами з метою отримання найбільш точного й ефективного результату рекомендовано брати з АСК ПП УЗ та диспетчерської системи автобусного терміналу, який пропонується використовувати для взаємодії із залізничним транспортом.

Наявність зазначеної інформації дасть змогу завчасно підготувати транспортні засоби, раціонально використовувати транспортну інфраструктуру, оперативно коригувати графік руху, завчасно інформувати пасажирів

про можливість поїздки з пересадкою. Крім того, у перспективі наведена технологія може бути використана як підґрунтя для впровадження системи користування єдиним квитком у разі прямування декількома видами транспорту у воєнний час.

Висновки

Отже, дослідження довели, що навіть в умовах воєнного часу можливе покращення роботи різних видів пасажирського транспорту й узгодженості графіків їх руху для більшого задоволення потреб та якості перевезень пасажирів.

Авторами статті проаналізовано стан і причини затримок пасажирських поїздів на прикордонному переході Мостиська-2, через який нині їдуть найбільші залізничні пасажирські потоки між Україною та країнами ЄС. На основі проведеного аналізу було виявлено залежність часу затримки поїзда на прикордонній станції від кількості пасажирів у ньому, та з метою зменшення тривалості таких затримок запропоновано вдосконалення наявної технології розрахунку часу слідування пасажирського поїзда шляхом упровадження й використання величини F , що відповідає часу затримки поїзда на прикордонній станції на одного пасажирів.

Упровадження та інтеграція запровадженої технології в наявні математичні моделі формування раціонально узгодженого графіка мультимодального пасажирського перевезення в подальшому дасть змогу значно скоротити час очікування пасажирів в пунктах пересадки, раціоналізувати місткість і населеність рухомого складу та збільшити фінансовий прибуток для перевізників. Крім того, запропонована технологія може бути запроваджена для розвитку ІТ-системи й застосування «єдиного квитка».

Література

1. У 2022 році Укрзалізниця перевезла рекордну кількість пасажирів у сполученні з ЄС. URL: <https://ukranews.com/ua/news/911375-u-2022-rotsi-ukrзалізниць-perevezla-rekordnu-kilkist-pasazhyriv-u-spoluchenni-z-yes> (дата звернення: 29.01.2023).
2. Ломотько Д.В., Філіпський О.В., Кравченко Д.М. Удосконалення роботи транспортно-пересадочних вузлів під час мультимодальних пасажирських перевезень за участю залізниць та автотранспорту. *Наукові праці ВНТУ*. 2019. № 4.
3. Шляхи удосконалення технології мультимодальних швидкісних пасажирських перевезень /

Д.В. Ломотько та ін. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2017. № 13. С. 59–66.

4. Альошинський Є.С., Примаченко Г.О., Калашник А.В. Дослідження технології впровадження мультимодального пасажирського напрямку Україна – Країни Європейського Союзу. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2018. № 83. С. 35–39.
5. Поздняков А.А., Мироненко В.К., Позднякова О.О. Інформаційна модель розвитку залізничної транспортної інфраструктури в системі мультимодальних пасажирських перевезень. *Science-based technologies*. 2019. № 42 (2).
6. Borecka J., Bešinović N. Scheduling multimodal alternative services for managing infrastructure maintenance possessions in railway network. *Transportation Research Part B: Methodological Volume*. 2021. No. 154. С.147–174.
7. Qiang Z.X., Shao B. Y., Zhi Dong A. H. A review on passenger emergency evacuation from multimodal transportation hubs. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. Vol. 9. Issue 4. P. 591–607.
8. Бутько Т.В., Примаченко Г.О., Тарасов К.О. Удосконалення існуючих методів організації пасажирських залізничних перевезень з урахуванням можливих ризиків руйнування залізничної інфраструктури. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2022. № 27(3). Р. 3–9.
9. Формування узгодженого графіка руху для мультимодальних пасажирських перевезень за участю залізничного транспорту / Д.В. Ломотько та ін. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. № 2. С. 49–58.
10. Lawler E.L., Moore J.M. A Functional Equation and its Application to Resource Allocation and Sequencing Problems. *Management Science*. 1969. Vol. 16. No. 1. P. 77–84.
11. Закон України про мультимодальні перевезення. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text> (дата звернення: 25.01.2023).
12. Wiseman Y., Giat Y. Multimodal passenger transportation security in Israel. *Multimodal Transport Security*. 2016. P. 246–260.
13. Araghi Y., van Oort N., Hoogendoorn S. Passengers preferences for using emerging modes as first/last mile transport to and from a multimodal hub case study Delft Campus railway station. *Case Studies on Transport Policy*. 2022. No. 10 (1). P. 300–314.
14. Integrated Door-to-Door Transport Services for Air Passengers: From Intermodality to Multimodality / D. Babić et al. *Sustainability*. 2022. No. 14 (11). 6503.

References

1. In 2022, Ukrzaliznytsia transported a record number of passengers in connection with the EU. URL: <https://ukranews.com/ua/news/911375-u-2022->

- rotsi-ukrzaliznytsya-perevezla-rekordnu-kilkist-pasazhyriv-u-spoluchenni-z-yes (last accessed 29.01.2023) [in Ukrainian].
2. Lomotko, D.V., Filipyskiy, O.V., Kravchenko, D.M. (2019) Improving the operation of transport interchanges during multimodal passenger transportation involving railways and motor vehicles. *Scientific works of VNTU*, no. 4. [in Ukrainian].
 3. Lomotko, D.V., Voskoboynikov, D.G., Listopad, M.S., Siradchuk, A.D. (2017) Ways to improve the technology of multimodal high-speed passenger transportation. *Transport systems and transportation technologies*, no. 13, pp. 59–66. [in Ukrainian].
 4. Alshinskyi, E.S., Primachenko, G.O., Kalashnyk, A.V. (2018) Research of the technology of introduction of the multimodal passenger route Ukraine – the countries of the European Union. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University*, no. 83, pp. 35–35. [in Ukrainian].
 5. Pozdnyakov, A.A., Myronenko, V.K., Pozdnyakova, O.O. (2019) Information model of the development of railway transport infrastructure in the system of multimodal passenger transportation. *Science-based technologies*, no. 42 (2). [in Ukrainian].
 6. Borecka, J., Bešinović, N. (2021) Scheduling multimodal alternative services for managing infrastructure maintenance possessions in railway network. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 154, pp. 147–174
 7. Qiang Z.X., Shao B.Y., Zhi Dong A.H. A review on passenger emergency evacuation from multimodal transportation hubs. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 9, issue 4, pp. 591–607
 8. Butko, T.V., Primachenko, G.O., Tarasov, K.O. (2022) Improvement of the existing methods of organizing passenger railway transportation, taking into account possible risks of destruction of the railway infrastructure. *Information and control systems in railway transport*, no. 27 (3), pp. 3–9. [in Ukrainian].
 9. Lomotko, D.V., Filipyskiy, O.V., Lomotko, M.D., Krasnoshtan, O.M., (2019) Formation of an agreed traffic schedule for multimodal passenger transportation involving rail transport. *Information and control systems in railway transport*, no. 2, pp. 49–58. [in Ukrainian].
 10. Lawler, E.L., Moore J.M. (1969) A Functional Equation and its Application to Resource Allocation and Sequencing Problems. *Management Science*, vol. 16, no. 1, pp. 77–84.
 11. Law of Ukraine on Multimodal Transportation. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text> (last accessed 01.25.2023). [in Ukrainian].
 12. Wiseman, Y., Giat, Y. (2016) Multimodal passenger transportation security in Israel. *Multimodal Transport Security*, pp. 246–260.
 13. Araghi, Y., van Oort, N., Hoogendoorn, S. (2022) Passengers preferences for using emerging modes as first/last mile transport to and from a multimodal hub case study Delft Campus railway station. *Case Studies on Transport Policy*, no.10 (1), pp. 300–314.
 14. Babić, D., Kalić, M., Janić, M., Dožić, S., Kukić, K. (2022). Integrated Door-to-Door Transport Services for Air Passengers: From Intermodality to Multimodality. *Sustainability*, no. 14 (11), 6503.
- Примаченко Ганна Олександрівна**¹, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем та логістики, gannaprymachenko@kart.edu.ua, тел. +38 066-567-97-72;
- Шкуренко Ольга Володимирівна**², д-р екон. наук, професор кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій, dondyu@ukr.net, тел. +38 050-146-18-73;
- Будник Вікторія Анатоліївна**², канд. екон. наук, професор кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій, victoria92929292@gmail.com, тел. +38 044-591-51-65;
- Корнійко Яна Русланівна**², канд. екон. наук, доцент кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій, blttduit@gmail.com, тел. +38 044-591-51-65;
- Тарасов Кирило Олександрович**¹, аспірант кафедри транспортних систем та логістики, kir.tarasov1998@gmail.com, тел. +38 099-098-08-11.
- ¹Український державний університет залізничного транспорту, 61050, Україна м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7;
- ²Державний університет інфраструктури та технологій, 04071, Україна, м. Київ, вул. Кирилівська, 9.

Improving multimodal passenger transportation technology under the wartime conditions in Ukraine

Abstract. Problem. Ukraine has a rather complex transport network, so the mismatch between the work of carriers when transferring from one mode of transport to another can create a large number of inconveniences for passengers. Issuance of various travel documents, the complexity of processing luggage and its movement between vehicles, a more thorough check of documents and luggage by employees of law enforcement agencies at border crossings and transfer points lead to an increase in travel time. On the other hand, ensuring the demand for some main directions of transportation can only be through the use of several modes of transport, so there is a need to improve the existing logistics technology for multimodal passenger transportation. **Goal.** The goal of this publication is to improve the technology of multimodal passenger transportation under martial law **Methodology.** Analytical research methods were used to form the relationship between the train delay at the border station and the number of passengers in it. Mathematical modulation methods were used in the

formation of a new agreed schedule for the arrival of international passenger trains at the Kyiv-Passenger transport hub. **Results.** The research has shown that even under the current wartime conditions, it is possible to improve the operation of various types of passenger transport and the consistency of their traffic schedules to better meet the needs and quality of passenger transportation. The authors of the article analyzed the state and causes of delays in passenger trains at the Mostyska-2 border crossing, through which the largest railway passenger flows between Ukraine and the EU countries currently follow. Based on the analysis, the dependence of the train delay time at the border station on the number of passengers in the train was revealed, and in order to reduce the duration of these delays, it was proposed to improve the existing technology for calculating the travel time of a passenger train by introducing and using value F , corresponding to the train delay time at the border station per passenger. **Originality.** It is suggested to improve the model for organizing the interaction of different types of transport in the transport interchange Kyiv-passenger hub, by introducing a new value φ based on the dependence of the train delay time at the border station on the number of passengers transported in it, taking into account the specifics of the introduction of martial law in Ukraine. **Practical value.** The introduction and integration of the proposed technology into the existing mathematical models for the formation of a rationally coordinated schedule of multimodal passenger transportation will significantly reduce the

waiting time for passengers at transfer points, rationalize the capacity and population of the rolling stock and increase the financial profit for carriers, it can also be used for the development of the system, information technologies and the use of a "single ticket".

Key words: multimodal transportation, passenger transportation, passenger transportation logistics, international transportation.

Prymachenko Hanna², Ph.D., Assoc. Prof., Transport systems and logistics Department, ganaprymachenko@kart.edu.ua, tel. +38 066-567-97-72;

Shkurenko Olga², professor, Doct. of Science, Business Logistics and Transport Technologies Department, dondy@ukr.net, tel. +38 050-146-18-73;

Budnyk Viktoriya², Ph.D., professor, Business Logistics and Transport Technologies Department, victoria929292@gmail.com, tel. +38 044-591-51-65;

Korniiko Yana², Ph.D., Assoc. Prof., Business Logistics and Transport Technologies Department, blttdui@gmail.com, tel. +38 044-591-51-65;

Tarasov Kyrylo¹, postgraduate student of the Department of Transport Systems and Logistics, kir.tarasov1998@gmail.com, tel. +38 099-098-08-11.

¹Ukrainian State University of Railway Transport, 61050, Ukraine, Kharkov, Feuerbach Square, 7;

² State University of Infrastructure and Technology, 04071, Ukraine, Kiev, Kirillovskaya street, 9.