

УДК 656.223

Д. В. Ломотько, д. т. н., проф.; О. В. Філіпський; Д. М. Кравченко

УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛІВ ПІД ЧАС МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ЗА УЧАСТЮ ЗАЛІЗНИЦЬ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

У статті запропоновано удосконалити технологію мультимодальних залізничних пасажирських перевезень за участю автотранспорту шляхом узгодження графіку руху всіх видів транспорту. Узгодження графіку здійснено в умовах транспортно-пересадочного вузла з використанням моделювання пасажиропотоків в процесі взаємодії різних видів транспорту. Це дозволило раціоналізувати місткість транспортних засобів, скоротити на 30% час очікування пасажирами у пунктах пересадки, зменшити вимоги до пропускної та переробної спроможності елементів транспортно-пересадочних вузлів.

Встановлено, що для планування та оптимізації маршрутів складних пасажирських перевезень необхідно налагодити систематичний збір інформації про пасажиропотоки шляхом використання сучасних засобів комп'ютерної техніки, зв'язку та супутникової навігації. Це дозволить створити мультимодальну технологію функціонування мережі пасажирських перевезень на приміських та міжміських маршрутах за участю залізниць та автомобільного видів транспорту. В свою чергу, ця технологія повинна базуватись на концепції «єдиного квитка» та наскрізної відповідальності за дотриманням умов перевезення пасажирів.

Проведені розрахунки для умов транспортно-пересадочного вузла міста Дніпро оцінили економічний ефект на рівні 3.2 млн. грн. в рік за зменшення навантаження на транспортну інфраструктуру на 9.2%. Це сприятиме створенню операторів мультимодальних пасажирських перевезень та привабливості транспортної галузі для інвесторів.

Ключові слова: пасажирські перевезення, залізниця, автобусні перевезення, транспортно-пересадочний вузол, мультимодальні перевезення, єдиний квиток, узгоджений графік руху.

Вступ. Функціонування усіх видів транспорту спрямовано на забезпечення потреб регіонів країни, тому освоєння пасажиропотоків на залізничному транспорті вимагає вирішення завдання впровадження комплексних транспортних послуг із належним рівнем сервісу [2]. Зараз транспортна інфраструктура країни потребує реформування, для чого потрібно оновлення транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ), вокзалів та рухомого складу, необхідно здійснити капітальні вкладення в технічну і технологічну складову пасажирських перевезень.

Постановка задачі та її актуальність. Організація перевезень пасажирів здійснюється різними видами сполучень (міжнародне, далеке, регіональне, приміське, Intercity) та відповідним рівнем сервісу під час надання основної послуги (бізнес-клас, економ-клас, тощо). Але завдання раціональної організації роботи ТПВ, засобів продажу проїзних документів, комфортних пересадок між маршрутами різних перевізників потребує застосування інноваційних технологій. Надання сучасних сервісних послуг пасажиром, створення єдиного інформаційного середовища, узгодження графіку руху транспортних засобів, продаж єдиних проїзних документів являються пріоритетними напрямками у сфері пасажирських перевезень.

У складних транспортних мережах за неузгодженої роботи перевізників пересадка з одного виду транспорту на інший завдає пасажиром велику кількість незручностей: оформлення різних проїзних документів, складність оформлення багажу та його переміщення між транспортними засобами, що призводить до збільшення витрат часу на поїздку. З іншого боку, попит на більшості напрямків перевезень може бути забезпеченим тільки за рахунок використання декількох видів транспорту, тому необхідно створити

передумови високоякісної системи перевезень декількома видами транспорту за логістичною технологією мультимодального пасажирського перевезення.

Аналіз досліджень і публікацій. Використання логістичних принципів в пасажирських перевезеннях, управління, прогнозування і контроль пасажиро- та поїздопотоків, створення інтелектуального інформаційного середовища в транспортних системах [3, 5, 8] – це один з основних напрямків в дослідженнях вітчизняних вчених.

Вокзальні комплекси на залізничному та інших видах транспорту часто перетворюються на багатофункціональні ТПВ, які забезпечують зручну та безпечну пересадку пасажирів [4, 5]. Для раціоналізації пасажиропотоків під час пересування по ТПВ пропонується підвищення рівня інформаційного забезпечення [3, 6, 9]. Це дозволить враховувати особливості мультимодальної технології перевезення пасажирів [8, 10], шляхом узгодження руху пасажирських транспортних засобів.

Створення математичних моделей оптимізації або синхронізації розкладів руху транспортних засобів в мережі описано в роботах багатьох авторів. Наприклад, для перевезень за участю автобусів використовується математична модель синхронізації лінійного цілочисельного програмування [13]. Оскільки найчастішим випадком є взаємодія транспортних засобів в системах з одним ТПВ, узгодження вирішується за допомогою відповідної системи рівнянь Колмогорова [14], із застосуванням теорії розкладів шляхом мінімізації цільової функції зваженого числа запізнених вимог [12] або використанням «одноприладових» методів зі зворотними критеріями максимізації [11].

Мета статті є дослідження та удосконалення умов, що необхідно створити на ТПВ для формування ефективних мультимодальних пасажирських перевезень за участю залізниць та автотранспорту за єдиним графіком.

Основна частина. Широкому впровадженню перевезень пасажирів за участю декількох видів транспорту заважає практично повна відсутність нормативно-правових актів, що регулюють цю сферу. Згідно [2] «мультимодальне перевезення – перевезення двома або більше видами транспорту за єдиним транспортним документом у внутрішньодержавному чи (та) міжнародному сполученнях». Для таких перевезень важливу роль у їх організації відіграє оператор мультимодального перевезення – «будь-яка особа, у тому числі експедитор, що укладає договір мультимодального перевезення та приймає на себе зобов'язання за таким договором як перевізник та експедитор» [2]. Таким оператором на сьогодні готовий бути залізничний перевізник відповідно до вимог ст. 913 [1]. Договір на перевезення пасажирів в прямому змішаному сполученні повинен стати самостійним видом договору перевезення та регулюватиме процес перевезення пасажирів за єдиним проїзним документом. Складність ситуації пояснюється різним технологічним рівнем кожного виду транспорту, відповідно до чого існує об'єктивна складність задоволення вимог пасажира одним видом транспорту. Таким чином, згідно ст. 913 [1] всі перевізники (початковий, наступні) розподіляють між собою обов'язки щодо перевезення пасажира, його багажу та забезпечують безпечну пересадку з одного виду транспорту до наступного.

Мультимодальне перевезення в пасажирському сполученні – це перевезення пасажирів на окремо взятому напрямку транспортними засобами одного або декількох перевізників на основі логістичних принципів [4]. Це перевезення базується на узгодженому інтегрованому графіку руху задіяних транспортних засобів, при цьому найбільш актуальним на сьогодні є перевезення пасажирів залізничним транспортом та автобусами. Тому інтегрований графік руху транспортних засобів повинен включати технологічний час на обробку поїздів, вагонів та автобусів, на пересадку пасажирів, а також резервний технологічний час з урахуванням очікування транспортних засобів в пункті пересадки.

Удосконалена класифікація основних типів пересадок пасажирів за участю залізничного транспорту наведено на рис. 1.

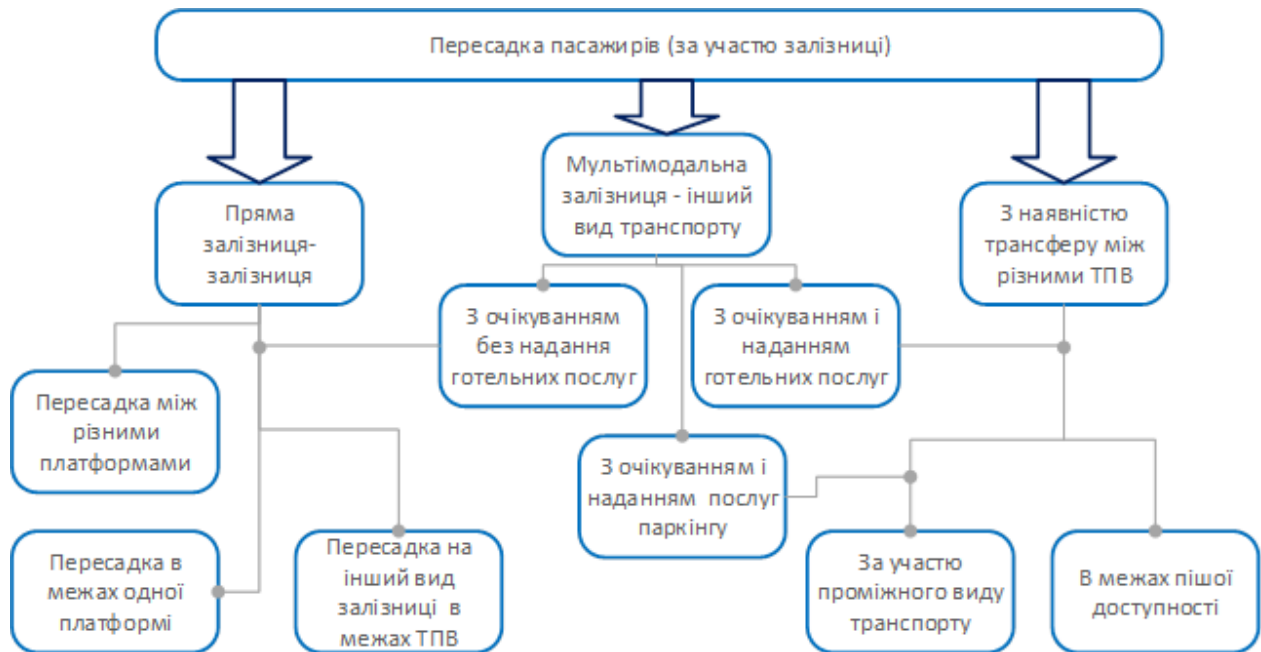


Рис. 1. Основні типи пересадок пасажирів при перевезенні за участю залізничного транспорту

В якості полігону дослідження обрано великий населений пункт – м. Дніпро, та його залізничний вокзал та автовокзали (рис. 2), що розглянуто як ТПВ мультимодального перевезення. Для умов ТПВ м. Дніпро стійкою тенденцією та особливістю є пересадка до іншого виду транспорту (міжміського автобусу) на іншому ТПВ без проміжного засобу трансферу у межах пішої доступності. Це створює передумови для використання мультимодальних технологій перевезення за «єдиним квитком» залізничним та автомобільним транспортом.

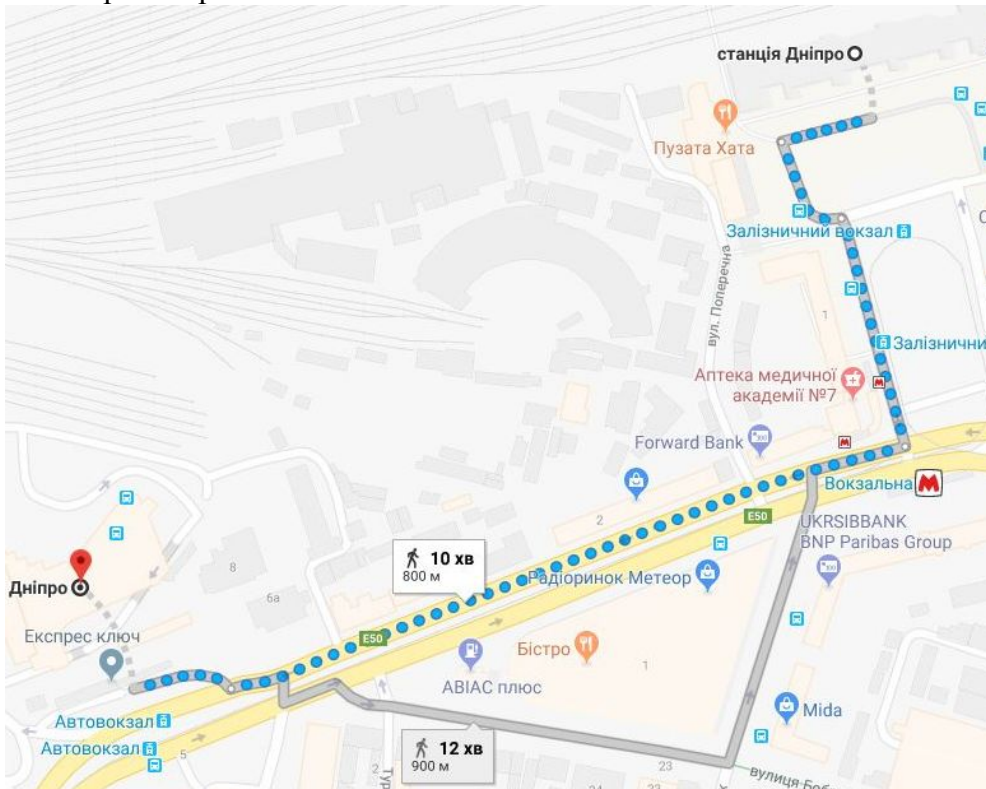


Рис. 2. Схема розташування основних залізничного та автовокзалів у ТПВ м. Дніпро

Реалізація узгоджених графіків руху транспортних засобів, що входять до мультимодального пасажирського маршруту, потребує врахування особливостей

пересадки пасажирів та передбачає окремі технологічні заходи щодо скорочення простою і підвищення зручності пересадки. На рис. 3 наведено структурно-логічні схеми пересадки із залізничного транспорту на автобуси (рис. 3а), з автобусів на поїзди (рис. 3б). Частки пасажиропотоку між окремими ланками пересадки визначено експертним методом.

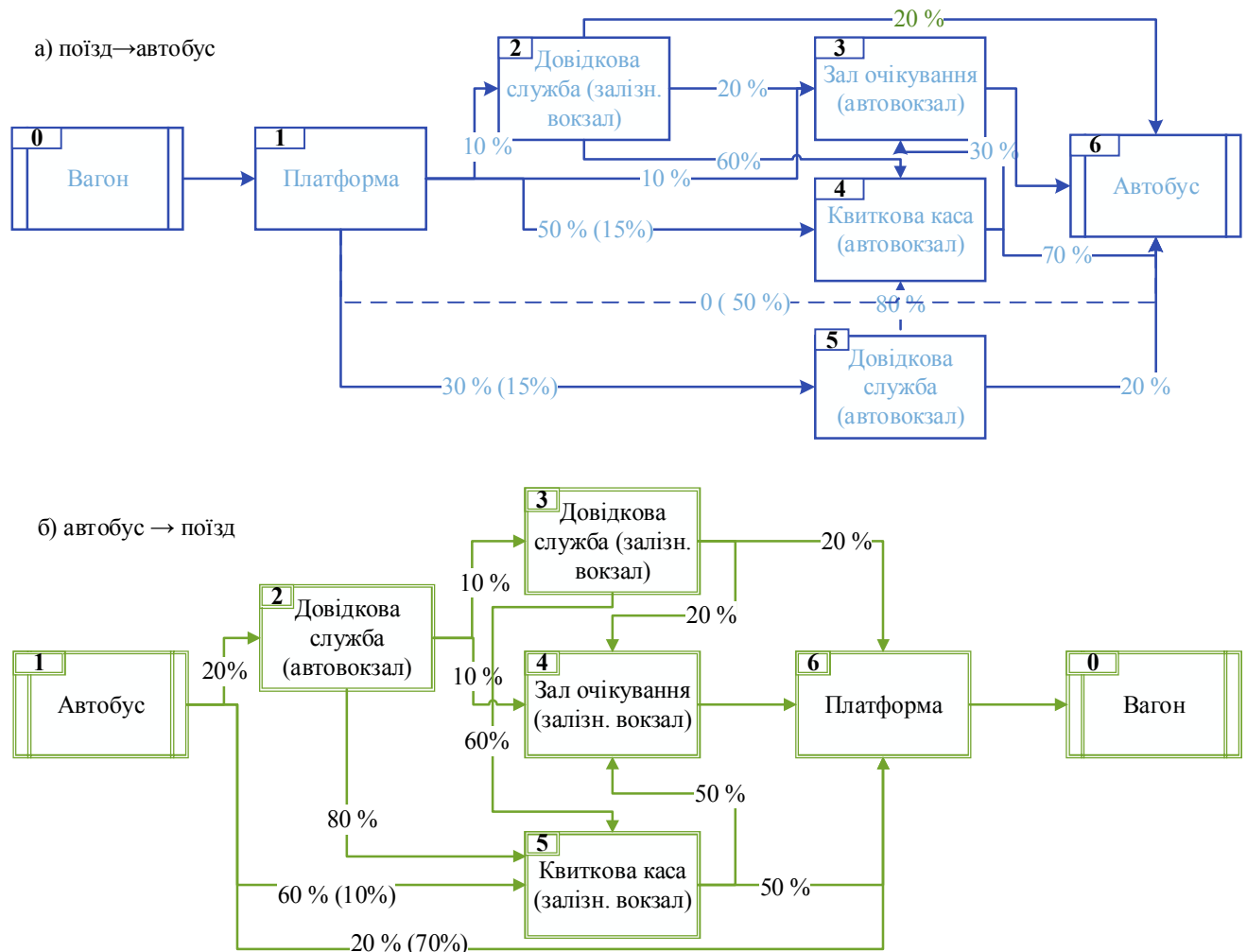


Рис. 3. Структурно-логічні схеми розподілу пасажиропотоку під час здійснення пересадки за участю залізничного транспорту на автобусів

В умовах ТПВ м. Дніпро ускладнено рух пасажирів з автовокзалу на залізничний вокзал і в зворотному напрямку, що збільшує час на пересадку $\tau_{пер}$ – пішохідний маршрут становить близько 800 м (рис. 1), що суперечить вимогами нормативів та будівельних норм, які рекомендують максимальну відстань пішої пересадки не більш ніж 400 м.

Тому на першому етапі для зручності орієнтування запропоновано на шляху прямування здійснити обладнання інформаційними знаками із зазначенням напрямку, поліпшити якість дорожнього полотна, нанести розмітку, створити рельєфні полоси для осіб зі слабким зором (рис. 3). Для інформування пасажирів рекомендовано використати аудіовізуальну рекламу на обох вокзалах та на екранах поїздів Intercity за 20, 10 та 5 хв. до часу прибуття в місто Дніпро.

На другому етапі передбачено використання міського транспорту із забезпеченням безкоштовного проїзду між вокзалами за наявності залізничного та автобусного квитків. Зараз це трамвай маршруту № 11 з графіком роботи з 5:30 до 23:36 та «плаваючим» на протязі доби інтервалом руху 2...7 хв. Одночасно пропонується впровадження сервісної

послуг із доставки багажу між вокзалами. В подальшому можливо задіяти низькопідлогові автобуси або електробуси, які передбачається використовувати в режимі «shuttle-bus».

На третьому етапі планується створення єдиного ТПВ шляхом об'єднання автовокзалів та залізничного вокзалів за рахунок створення підземних переходів, обладнаних ескалаторами, ліфтами для осіб з обмеженими фізичними можливостями, та з'єднаними з метрополітеном.

Скороченню тривалості пересадки сприяє процедура «секторизації» залізничної платформи, з позначенням зон, з яких раціонально здійснювати пересадку. У випадку пішої доступності тривалість пересадки $\tau_{пер}$ повинна враховувати час на самостійний підхід пасажирів та придбання квитків, що є характерним для ТПВ м. Дніпро. З урахуванням рекомендацій [8] графік руху кожного задіяного транспортного засобу повинен задовольняти вимогам одночасного прибуття до транспортно-пересадочного вузла задіяних транспортних засобів (поїзду, автобусу) та специфіку обробки пасажиропотоку за наявності технології «єдиного квитка».

Для економічної оцінки ефективності роботи ТПВ за участю залізничного транспорту критерієм оцінки якості вирішення транспортних потреб пасажирів запропоновано використати вартість 1 пас.-год повних витрат часу на мультимодальну поїздки.

Для умов ТПВ «залізничний вокзал – автовокзал» м. Дніпро для пасажирів характерним є:

- пересадка до іншого поїзду (автобусу) далекого сполучення;
- пересадка до іншого поїзду (автобусу) місцевого сполучення;
- пересадка до міського транспорту та метрополітену;
- пересадка до особистого автомобільного транспорту;
- рух пасажирів з вагона поїзда (автобусу) до квиткових кас або до готелю.

На прийняття рішення пасажиром про здійснення мультимодальної поїздки істотний вплив здійснює зручність пересадки у ТПВ. Розроблені структурно-логічні схеми розподілу пасажиропотоку під час здійснення пересадки за участю залізничного транспорту на автобусів (рис. 3) дають можливість кількісної оцінки привабливості мультимодального перевезення.

Процес пересадки із залізничного транспорту на автобуси будемо вважати марківським, тому цю технологію роботи ТПВ (рис. 3а) можливо записати у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова

$$\begin{cases} \frac{dp_2(t)}{dt} = -(\lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{26})p_2(t) + \lambda_{12}p_1(t) \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = -\lambda_{36}p_3(t) + \lambda_{13}p_1(t) + \lambda_{23}p_2(t) + \lambda_{43}p_4(t) \\ \frac{dp_4(t)}{dt} = -(\lambda_{43} + \lambda_{46})p_4(t) + \lambda_{14}p_1(t) + \lambda_{24}p_2(t) + \lambda_{54}p_5(t) \\ \frac{dp_5(t)}{dt} = -(\lambda_{54} + \lambda_{56})p_5(t) + \lambda_{15}p_1(t) \\ \frac{dp_6(t)}{dt} = -p_6(t) + \lambda_{26}p_2(t) + \lambda_{36}p_3(t) + \lambda_{46}p_4(t) + \lambda_{56}p_5(t) \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1 \end{cases}, \quad (1)$$

де λ_{ab} – інтенсивність потоку пасажирів з a -ої технологічної операції до операції b ; $p_i(t)$ – функція імовірності знаходження системи у i -ому стані.

Особливістю дослідження саме пасажиропотоку відбивається в тому, що для системи (1) сумарні інтенсивності потоків, що виходять із кожного стану технологічного елементу, дорівнюють сумарному потоку (у відносних одиницях дорівнюють 1). Тому для технологічної схеми (рис. 3а) в умовах ТПВ м. Дніпро система (1) буде мати вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_2(t)}{dt} = -p_2(t) + 0.2p_1(t) \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = -p_3(t) + 0.1p_1(t) + 0.2p_2(t) + 0.6p_4(t) \\ \frac{dp_4(t)}{dt} = -p_4(t) + 0.5p_1(t) + 0.6p_2(t) + 0.8p_5(t) \\ \frac{dp_5(t)}{dt} = -p_5(t) + 0.3p_1(t) \\ \frac{dp_6(t)}{dt} = -p_6(t) + 0.2p_2(t) + p_3(t) + 0.7p_6(t) + 0.2p_5(t) \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1 \end{array} \right. \quad (2)$$

Для пошуку фінальних ймовірностей стану систему рівнянь (2) перетворено на систему рівнянь у матричному вигляді

$$\begin{bmatrix} -0.2p_1 + p_2 + 0p_3 + 0p_4 + 0p_5 + 0p_6 \\ -0.1p_1 - 0.2p_2 + p_3 + 0.6p_4 + 0p_5 + 0p_6 \\ -0.5p_1 - 0.6p_2 + 0p_3 + p_4 - 0.8p_5 + 0p_6 \\ -0.3p_1 + 0p_2 + 0p_3 + 0p_4 + p_5 + 0p_6 \\ 0p_1 - 0.2p_2 - p_3 - 0.7p_4 - 0.2p_5 + p_6 \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Фінальні імовірності для наявних умов застосування технологічної схеми пересадки із залізничного транспорту на автобуси будуть дорівнювати $\bar{p}_1 = 0.281, \bar{p}_2 = 0.028, \bar{p}_3 = 0.101, \bar{p}_4 = 0.225, \bar{p}_5 = 0.084, \bar{p}_6 = 0.281$. Оцінку потрібної годинної переробної спроможності B_i кожного технологічного елемента пересадки оцінено як добуток $\bar{p}_i \eta_i$, де η_i кількісна оцінка потоку пасажирів за годину у «піковий» період.

З метою дослідження попиту та встановлення раціональної технології організації мультимодальних пасажирських перевезень в умовах ТПВ м. Дніпро досліджено загальні пасажиропотоки та їх основні напрямки (рис. 4). Аналіз показує, що основним напрямком в далекому сполученні є Київ, при цьому по усіх напрямках спостерігається незначна різниця між кількістю пасажирів по прибуттю та відправленню загалом за рік. Це підтверджується даними по маршрутах прямування швидкісних поїздів категорії Intercity (рис. 5).

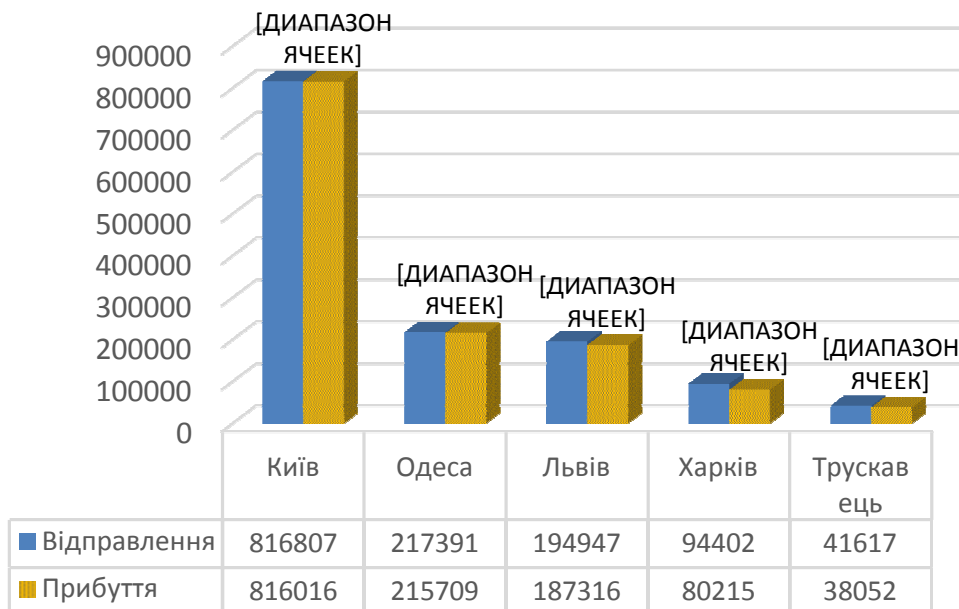


Рис. 4. Основні напрямки пасажиропотоку далекого сполучення ТПВ м. Дніпро (дані АТ «Укрзалізниця»), пас. /рік



Рис. 5. Основні напрямки руху пасажиропотоку на ТПВ м. Дніпро по маршрутах прямування швидкісних поїздів категорії Intercity у 2018 р, пас. /рік

Формування узгодженого графіку здійснено з урахуванням погодинної добової нерівномірності пасажиропотоків. Результати дослідження погодинного коливання пасажиропотоку далекого сполучення на ТПВ м. Дніпро, що наведено на рис. 6, показали наявність значної нерівномірності в розподілі показника у часі. При цьому характер нерівномірності є близьким до нерівномірності у приміському залізничному сполученні ([8] та рис. 8) та по автовокзалу ТПВ м. Дніпро (рис. 7) з наявністю ранкового (по прибуттю) та вечірнього (по відправленню) пікових періодів. Порівняння результатів розподілу пасажиропотоків по ТПВ м. Дніпро дало змогу встановити, що найбільша імовірність попиту на мультимодальну послугу з боку пасажирів буде спостерігатись з 06 год. до 10 год. ранку: в цей період прибуття пасажирів складає до 45 % добового обсягу залізницею та до 33% – автобусами. Таким чином, аналіз свідчить про необхідність режимної організації мультимодальних пасажирських перевезень у першу половину доби (з 06 год. до 10 год.) з переважною орієнтацією на пасажирів, що прибувають, а в другу половину дня (з 19 год. до 22 год.) – на пасажирів, що відправляються.

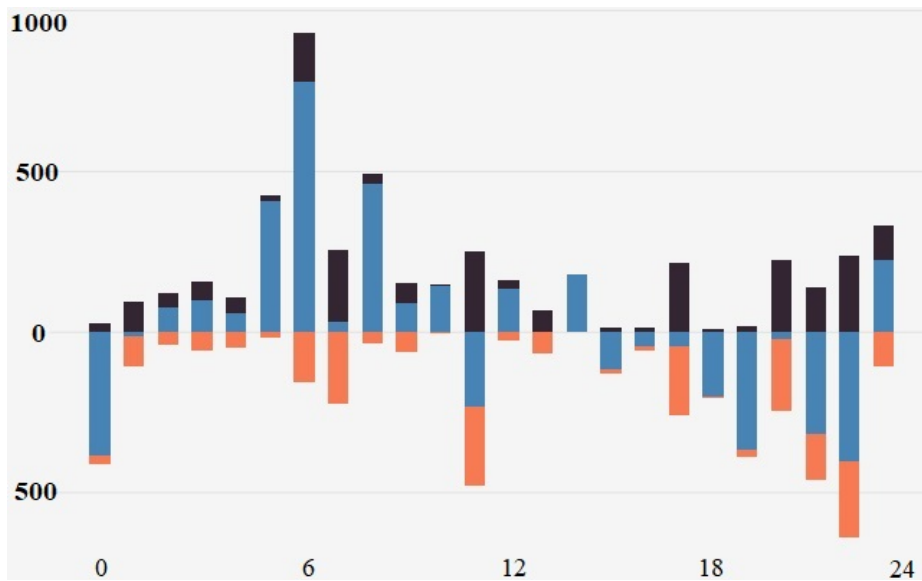


Рис. 6. Нерівномірність пасажиропотоку далекого сполучення на ТПВ м. Дніпро, пас./год. (дані Укрзалізниці)

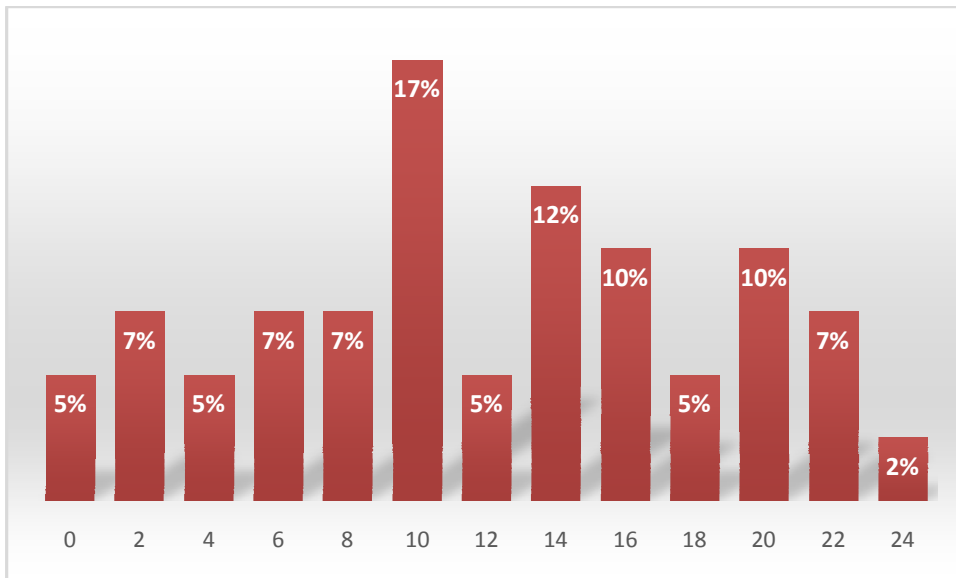


Рис. 7. Нерівномірність пасажиропотоку (відправлення) автовокзалу ТПВ м. Дніпро, пас./год. (дані ПАТ "ДОПАС")

Подальше дослідження можливості залучення частини місцевих пасажирів до мультимодального перевезення здійснено на прикладі найбільш значного напрямку місцевого пасажиропотоку ТПВ м. Дніпро в ранковий піковий часовий інтервал 6...10 год., який є найбільш складним з точки зору узгодження графіку руху (рис. 8). Внаслідок тижневої нерівномірності далеких та приміських пасажиропотоків слід враховувати характерну добу робочого (вихідного) дня, окремо для літнього і зимового періодів року, а також наявність внутрішньорічної нерівномірності. Математичне очікування середньодобової кількості пасажирів ТПВ м. Дніпро у далекому залізничному сполученні склало $N_{дал}=4244$ пас./добу, в приміському – $N_{прим}=11170$ пас./добу, в автобусному – $N_{авт}=2050$ пас./добу за коефіцієнтів варіації відповідно $v_{дал}=0,033$, $v_{прим}=0,027$ та $v_{авт}=0,138$.

Оцінку потоку пасажирів за годину у «піковий» період здійснено як:

$$\eta_i = \frac{1}{24} N_i (1 + v_i). \tag{4}$$

Таким чином, найімовірніша інтенсивність потоку пасажирів ТПВ м. Дніпро у далекому сполученні склало $\eta_{дал}=182.7$ пас./год, в приміському – $\eta_{прим}=478.0$ пас./год, в автобусному – $\eta_{авт} = 97.2$ пас./год.

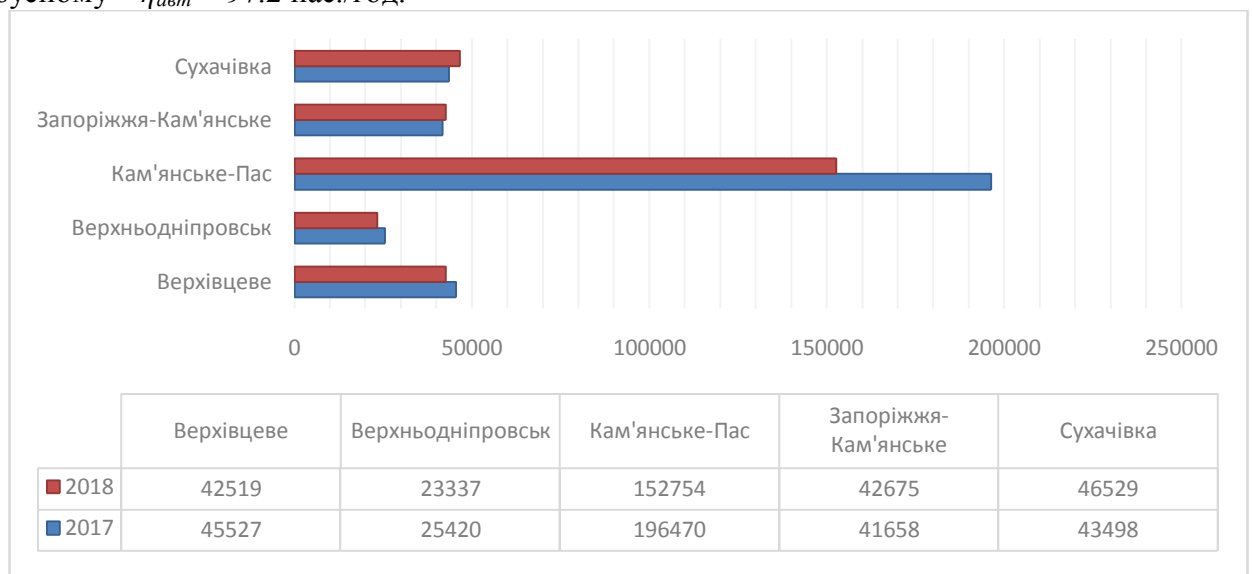


Рис. 8. Розподіл найбільш значного місцевого пасажиропотоку ТПВ м. Дніпро, пас./рік.

Існує особливість, яка істотно збільшує потрібний час на пересадку: під час пересадки «поїзд → автобус» практично відсутній пасажиропотік, що безпосередньо прямує до автобусу. Під час пересадки «автобус → поїзд» потік безпосередньо до платформи на поїзд існує, але він незначний. Цю особливість обрано в якості одного з напрямків удосконалення технології пересадки пасажирів під час організації мультимодального перевезення у ТПВ м. Дніпро шляхом застосування електронних засобів автоматизованого продажу квитків (платіжно-довідкових терміналів самообслуговування).

З урахуванням інтенсивності $\eta_{дал}$ в умовах ТПВ м. Дніпро для забезпечення пересадки між залізничним вокзалом та автовокзалом розраховано потрібна годинна переробна спроможність, результати якої зведені до табл. 1.

Удосконалена з урахуванням наведених вище заходів технологія пересадки під час мультимодального перевезення призведе до змін у системі рівнянь (2) для інтенсивності та напрямків руху пасажирів: $\lambda_{14} = 0.25, \lambda_{15} = 0.15, \lambda_{16} = 0.5$. Аналогічно встановлено фінальні імовірності та потрібна переробна спроможність елементів ТПВ м. Дніпро зведені до табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика технологічних елементів схеми пересадки із залізничного транспорту на автобуси (умови ТПВ м. Дніпро)

Технологічний показник	Довідкова служба залізничного вокзалу	Зал очікування автовокзалу	Квиткова каса автовокзалу	Довідкова служба автовокзалу	Всього
Наявна технологія					
Фінальна імовірність \bar{p}_i	0.028	0.101	0.225	0.084	-
Потрібна переробна спроможність, V_i , пас./год.	5.12	18.45	41.11	15.35	80.03
Мультимодальна технологія					
Фінальна імовірність \bar{p}_i	0.033	0.082	0.142	0.05	-
Потрібна переробна спроможність V_i , пас./год.	6.03	15.0	25.94	9.14	56.11
Зміни у потрібній спроможності	+17.8%	-17.6%	-36.9%	-40.5%	-30% (23.92 пас/год)

Відповідно до структурно-логічної схеми пересадки з автобусів на поїзди (рис. 3б) розраховані показники технологічних елементів схеми пересадки в умовах ТПВ м. Дніпро (табл. 2). Взагалі в умовах ТПВ м. Дніпро за рахунок впровадження мультимодальної схеми пасажирських перевезень загальна потрібна переробна спроможність вузла зменшується на $\Delta B_i = 40.24$ пас./год (на 14.4% від наявної).

Таблиця 2

**Характеристика технологічних елементів схеми пересадки з автобусів до залізничного транспорту
(умови ТПВ м. Дніпро)**

Технологічний показник	Довідкова служба автовокзалу	Довідкова служба залізничного вокзалу	Зал очікування залізничного вокзалу	Квиткова каса залізничного вокзалу	Всього
Наявна технологія					
Фінальна імовірність \bar{p}_i	0.059	0.006	0.120	0.227	-
Потрібна переробна спроможність, V_i , пас./год.	5.73	0.58	11.66	22.06	40.03
Мультимодальна технологія					
Фінальна імовірність \bar{p}_i	0.075	0.007	0.060	0.102	-
Потрібна переробна спроможність V_i , пас./год.	7.29	0.68	5.83	9.91	23.71
Зміни у потрібній спроможності	+27.2%	+17.2%	-50.0%	-55.1%	-40.8% (16.32 пас/год)

Показником ефективності мультимодального перевезення пасажирів можуть бути повні витрати пасажирів з урахуванням загального часу поїздки T

$$T = 2 t_{\text{пк}} + \sum_{i,j} \left(\frac{60 L_{ij}}{v_{mi}} + \tau_{ij} + \frac{1}{2} \left[I_p + \frac{\sigma_{I_p}^2}{I_p} \right] \right) \quad (5)$$

де $t_{\text{пк}}$ – час, що характеризує доступність ТПВ на початку поїздки та під час її завершення.

Досвід розвинених країн свідчить, що ТПВ має задовільну доступність, якщо з 75 % пунктів у великому місті можливо досягти ТПВ за $t_{\text{пк}} \leq 45$ хв.

L_{ij} – відстань поїздки пасажирів кожним видом транспорту i -го та j -го маршрутів, км. Для визначення середньої відстані поїздки L_{ij} для ТПВ м. Дніпро можливо скористатися статистичними даними АТ «Укрзалізниця» (рис. 4); v_{mi} – маршрутна швидкість перевезень i -им транспортом на заданому напрямку, км/год. τ_{ij} – директивна тривалість операції з пересадки пасажирів у вузлу між транспортними засобами, хв. I_p – середній інтервал руху між транспортними засобами, хв; $\sigma_{I_p}^2$ – дисперсія інтервалу руху транспорту.

Перехід до узгодженого розкладу руху залізничного та автобусів забезпечить збалансованість використання місць у всіх транспортних засобах під час мультимодального перевезення відповідно до прогнозного пасажиропотоку. Це дозволить раціонально використати місткість швидкісних поїздів, електропоїздів і автобусів та скоротити час очікування пасажирів у ТПВ до 30%. Згідно з [8] аналіз інтервалів руху між місцевими поїздами по основним ТПВ вітчизняного залізничного транспорту показав, що характерними є графіки з інтервалом I_p 8, 24 та 40 хв. між поїздами. Тому під час створення узгодженого графіку руху мультимодального пасажирського перевезення прийнято за максимальну тривалість ту, що пов'язана з надходженням наступного транспортного засобу T_{maxi} не більше 40 хв. На таку саму величину прийнято максимальний інтервал можливого корегування розкладу місцевих поїздів. Прийняття рішення про створення узгодженого графіку пасажирського руху декількох видів транспорту та його оцінка виконується за спеціально розробленої процедурою. Інформація, яка необхідна для аналізу варіантів обробки поїздів різних категорій та автобусів може бути отримана з автоматизованої системи керування пасажирськими перевезеннями Укрзалізниці та диспетчерської системи автобусного терміналу, що пропонується використовувати для взаємодії із залізничним транспортом. Наявність цих даних дозволяє завчасно підготуватися до обробки

транспортних засобів, раціонально використовувати транспортну інфраструктуру, оперативно корегувати графік руху, завчасно інформувати пасажирів про можливість поїздки з пересадкою, а в перспективі – про придбання єдиного квитка.

Висновок. Запропоновано технологію мультимодальних залізничних пасажирських перевезень за участю автотранспорту, що базується на узгодженому графіку руху всіх видів транспорту. Узгодження графіку здійснено в умовах ТПВ з використанням моделювання пасажиропотоків в процесі взаємодії різних видів транспорту. Це дозволить раціоналізувати місткість поїздів та автобусів, скоротити на 30% час очікування пасажирами у пунктах пересадки, зменшити вимоги до пропускної та переробної спроможності елементів ТПВ. За допомогою проведених розрахунків для умов ТПВ м. Дніпро стало можливим зменшення навантаження на транспортну інфраструктуру на 14.4%

Встановлено, що для планування та оптимізації маршрутів складних пасажирських перевезень необхідно налагодити систематичний збір інформації про пасажиропотоки шляхом використання сучасних засобів комп'ютерної техніки, зв'язку та супутникової навігації. Це дозволить створити мультимодальну технологію функціонування мережі пасажирських перевезень на приміських та міжміських маршрутах за участю залізниць та автомобільного видів транспорту. В свою чергу, ця технологія повинна базуватись на концепції «єдиного квитка» та наскрізної відповідальності за дотриманням умов перевезення пасажира. Це сприятиме створенню операторів мультимодальних пасажирських перевезень та привабливості транспортної галузі для інвесторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Цивільний кодекс України. №435-IV [Електронний ресурс] / Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15>.
2. Проект Закону України Про мультимодальні перевезення [Електронний ресурс] / Режим доступу : https://mtu.gov.ua/files/Dok_PROJEKT/3Y%20Про%20мультимодальні%20перевезенн.pdf.
3. Бутько Т. В. Удосконалення системи оперативного прогнозування пасажирських потоків на основі використання інтелектуальних технологій / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко // Збірник наукових праць – Харків: УкрДАЗТ. – 2007. – С. 161 – 171.
4. Мультимодальные пассажирские перевозки с участием АО «ФПК» : [учебное пособие] / Вакуленко С. П., Копылова Е. В., Куликова Е. Б., Колин А. В. – М. : МГУПС (МИИТ), 2015. – 110 с.
5. Журба О. О. Моделювання процесу поїздки пасажирів на залізничному вокзалі Харків–пас. за варіантом “пасажирський поїзд – міський транспорт” / О. О. Журба // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 119. – С. 60 – 66.
6. Ломотько Д. В. Formation of fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock initial location / Д. В. Ломотько, А. О. Ковальов, О. В. Ковальова // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Т. 6. – №. 3 (78). – С. 11 – 17. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.54496.
7. Rezer S. M. Logistics of passenger transportation by rail : Monograph / S. M. Rezer. – Moscow : VINITI RAN, 2007, 515 p.
8. Шляхи удосконалення технології мультимодальних швидкісних пасажирських перевезень / Д. В. Ломотько, М. С. Листопад, Д. Г. Воскобойников [та ін.] // Транспортні системи та технології перевезень. – 2017. – № 13. – С. 59 – 66. – DOI : 10.15802/tst2017/110770.
9. Прохорченко А. В. Удосконалення системи орієнтування пасажирів на залізничних вокзалах України в умовах упровадження швидкісного руху пасажирських поїздів / А. В. Прохорченко, В. В. Паламарчук // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2017. – Вип. 169. – С. 213 – 224.
10. Соколова О. Є. Теоретичні основи організації та розвитку мультимодальних перевезень в Україні / О. Є. Соколова, Т. А. Акімова, Л. О. Сулима // Економічний простір. – 2014. – № 83. – С. 91 – 103.
11. Aloulou M. A. Evaluation Flexible Solutions in Single Machine Scheduling via Objective Function Maximization: the Study of Computational Complexity / M. A. Aloulou, M. Y. Kovalyov, M. C. Portmann // RAIRO Oper. Res. – 2007. – № 41. – P. 1 – 18.
12. Lawler E. L. A Functional Equation and its Application to Resource Allocation and Sequencing Problems / E. L. Lawler, J. M. Moore // Management Science. – 1969. – Vol. 16. – №. 1. – P. 77 – 84.
13. Ceder A. Creating bus time table with maximal synchronization / A. Ceder, B. Golany, O. Tal // Transp. Res. Part A: Policy and Practice. – 2001. – Vol. 35. – № 10. – P. 913 – 920.
14. Mertens J.-F. Formulation of Bayesian analysis for games with incomplete information / J.-F. Mertens, S. Zamir // Int. J. Game Theory. – 1985. – № 14. – P. 1 – 29.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2019 р.
Стаття пройшла рецензування 28.04.2019 р.

Ломотько Денис Вікторович – д. т. н., професор кафедри «Транспортні системи та логістика»,
e-mail: den@kart.edu.ua.

Філіпський Олександр Вікторович – магістрант кафедри «Транспортні системи та логістика»,
e-mail: a.filipskyi@gmail.com.

Кравченко Дарія Михайлівна – магістрант кафедри «Транспортні системи та логістика»,
e-mail: tsl@kart.edu.ua.
Український державний університет залізничного транспорту.